



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PRODUÇÃO DE ABACAXI COM HORTELÃ EM PÓ POR *SPRAY DRYING*

VANESSA BRAGA

Patos de Minas-MG

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PRODUÇÃO DE ABACAXI COM HORTELÃ EM PÓ POR *SPRAY DRYING*

VANESSA BRAGA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Fernanda
Zotarelli

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de
Santana

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Patos de Minas-MG
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B813p
2019

Braga, Vanessa, 1991-

Produção de abacaxi com hortelã em pó por spray drying [recurso eletrônico] / Vanessa Braga. - 2019.

Orientadora: Marta Fernanda Zotarelli.

Coorientador: Ricardo Corrêa de Santana.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.353>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Alimentos - Indústria. 2. Abacaxi. 3. Hortelã. 4. Secagem em spray. I. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985- (Orient.). II. Santana, Ricardo Corrêa de, 1981- (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Alimentos - Patos de Minas

Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA

Ata de Defesa de Dissertação de Mestrado junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos – PPGEA, da Faculdade de Engenharia Química – FEQUI, da Universidade Federal de Uberlândia - UFU.

Defesa de Dissertação de Mestrado n. 04/2019 do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos (1.40.09.01) - PPGEA

Data:	20 de fevereiro de 2019
Horário de início:	08:30
Horário de encerramento:	10:06
Discente:	Vanessa Braga
Matrícula:	41712EAL011
Título do Trabalho:	Produção de Abacaxi com Hortelã em Pó por <i>Spray Drying</i>
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos

Reúne-se na Sala 22 do Prédio Pavonianos, campus Patos de Minas da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Profa. Dra. Marta Fernanda Zotarelli (Orientadora/UFU), Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Moraes de Souza (UFU) e Profa. Dra. Maurielen Guterres Dalcin (UNIFAL).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Profa. Dra. Marta Fernanda Zotarelli, apresentou a Banca Examinadora e a discente, agradeceu a presença do público e concedeu à última a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão secreta, atribuiu o conceito final, considerando a discente **APROVADA**.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos. O competente diploma será expedido após o cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às 10 horas e 06 minutos. Foi lavrada a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Patos de Minas, 20 de fevereiro de 2019.

Professora Doutora Marta Fernanda Zottarelli (FEQUI/UFU)

Professor Doutor Rodrigo Aparecido Moraes de Souza (FEQUI/UFU)

Professora Doutora Maurielen Guterres Dalcin (UNIFAL/MG)



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zottarelli**, **Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/02/2019, às 10:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maurielen Guterres Dalcin**, **Usuário Externo**, em 20/02/2019, às 10:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Aparecido Moraes de Souza, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/02/2019, às 10:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1006323** e o código CRC **1AF9B9CD**.

Referência: Processo nº 23117.087943/2018-64

SEI nº 1006323

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me dado fé e força para chegar até aqui. Aos meus pais Conceição e Vicente que nunca mediram esforços para me ajudar e sempre me apoiaram nas minhas escolhas, agradeço também pelo carinho e amor incondicionais que sempre me deram. Aos meus irmãos Thaís e Amir que para mim sempre foram grandes exemplos. Ao Dyego pelo amor, carinho e conselhos. A todos os professores que contribuíram para a realização desse trabalho em especial aos meus orientadores Marta Fernanda Zottarelli e Ricardo Correa Santana, agradeço por todo o aprendizado que me proporcionaram, pela ajuda e paciência que sempre tiveram comigo. Aos técnicos do laboratório que sempre se prontificaram em ajudar no que fosse necessário. Agradeço a todos os colegas e amigos que conquistei durante o mestrado e alunos de graduação que fizeram parte desse trabalho, vocês foram fundamentais nessa caminhada. Essa conquista não seria possível sem o apoio e colaboração de tantas pessoas especiais. Enfim, muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.1 Objetivos gerais:.....	3
2.2 Objetivos específicos:.....	3
3.1 Abacaxi.....	4
3.2 Hortelã	6
3.3 Mistura de sucos de fruta	8
3.4 Secagem de alimentos	8
3.4.1 Secagem em <i>spray dryer</i>	11
3.5 Transição Vítreia (Tg)	13
3.6 Maltodextrina	15
3.7 Atividade de água e isoterma de sorção.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Obtenção e preparo da matéria-prima	20
4.2 Caracterização físico-química do suco <i>in natura</i>.	21
4.2.1 Umidade	21
4.2.2 Atividade de água (a_w)	21
4.2.3 Cor	21
4.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	22
4.2.5 Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	22
4.2.6 Acidez Titulável.....	22
4.3 Secagem em <i>spray dryer</i>	22
4.3.1 Planejamento Composto Central Ortogonal	23
4.4 Secagem em <i>spray dryer</i> com maltodextrina.....	27
4.4.1 Planejamento fatorial para a secagem de suco de abacaxi com hortelã com maltodextrina	28

4.5 Caracterização físico-química dos pós de abacaxi com hortelã com e sem maltodextrina na formulação.....	29
4.5.1 Umidade	29
4.5.2 Atividade de água (a_w)	29
4.5.3 Cor	29
4.5.4 Solubilidade	29
4.5.5 Rendimento do processo de secagem	30
4.5.6 Higroscopidez	31
4.5.7 Isotermas de Sorção	31
4.5.8 Microscopia Eletrônica de Varredura	32
4.5.9 Tempo de Molhamento	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Caracterização físico-química do suco de abacaxi com hortelã <i>in natura</i> após a diluição da polpa em água.....	34
5.2 Resultados do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) para a secagem de suco de abacaxi com hortelã sem a adição de maltodextrina.	35
Rendimento	37
Umidade e atividade de água	45
Higroscopidez	47
Parâmetro L*	53
Parâmetro a*	55
Parâmetro b*	59
Solubilidade	62
5.3 Influência da maltodextrina no processo de secagem por atomização	63
Microscopia eletrônica de varredura.....	66
Tempo de molhamento	67
Rendimento	70
Solubilidade	71
Cor	72
Parâmetro L*	73
Parâmetro a*	74
Parâmetro b*	75
Umidade e atividade de água	77

Higroscopicidade	78
Isoterma de sorção e umidade.....	80
6.CONCLUSÃO.....	84
7.REFERÊNCIAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Abacaxis Pérola.....	4
Figura 2- Fotografia de folhas de hortelã verde	7
Figura 3- Curva típica da taxa de secagem em função da umidade.....	9
Figura 4- Esquema de um <i>spray dryer</i> de ciclo aberto e concorrente.	12
Figura 5- Diagrama da Tg para um material amorfo.	14
Figura 6- Isotermas típicas de sorção e dessorção de umidade em um alimento.	17
Figura 7- Fluxograma das principais etapas deste trabalho.	19
Figura 8- Polpas de abacaxi com hortelã, armazenadas em sacos de polipropileno.....	20
Figura 9- Fotografia do <i>spray dryer</i> utilizado para a secagem de suco de abacaxi com hortelã.	23
Figura 10- Esquema do dispositivo de agitação utilizado no teste de solubilidade.....	30
Figura 11- Esquema do dispositivo utilizado para determinar o tempo de molhamento..	33
Figura 12- Fotografia do interior da câmara de secagem no ensaio 5.	37
Figura 13- Resíduos em função dos valores preditos pelo modelo ajustado para o rendimento.	39
Figura 14- Fotografia do pó aderido no interior do frasco coletor, ensaio 9.	40
Figura 15- Superfície de resposta para o rendimento em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem.	42
Figura 16- Superfície de resposta para o rendimento em função da vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem.	43
Figura 17- Superfície de resposta para o rendimento em função da temperatura e vazão de alimentação da amostra.....	43
Figura 18- Superfície de resposta para higroscopicidade em função da temperatura e vazão do ar de secagem.....	49
Figura 19- Superfície de resposta para higroscopicidade em função da vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem.	50
Figura 20- Fotografias dos pós obtidos nos 16 ensaios.	52
Figura 21- Resíduos em função dos valores preditos pelo modelo ajustado para a luminosidade dos pós.....	54

Figura 22- Superfície de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e vazão de alimentação da solução no <i>spray dryer</i> , para uma vazão de ar de secagem de $1,75\text{ m}^3\text{min}^{-1}$ (nível zero para esta variável na forma codificada)	57
Figura 23- Superfície de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem, para uma vazão de alimentação de $0,6\text{ L.h}^{-1}$ (nível central para esta variável na forma codificada)	58
Figura 24- Superfície de resposta para b^* em função de temperatura e vazão de alimentação, para uma vazão de ar de secagem de $1,75\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ (nível zero para esta variável na forma codificada)	60
Figura 25- Superfície de resposta para b^* em função de temperatura e vazão do ar de secagem, para uma vazão de alimentação de $0,6\text{ L.h}^{-1}$ (nível central para esta variável na forma codificada)	61
Figura 26- Fotografias da análise de solubilidade do ensaio 3, em que (a) corresponde ao pó dissolvido através da agitação magnética e (b) Os sólidos obtidos após a filtração do líquido	62
Figura 27- Microscopia eletrônica de varredura obtida na secagem por <i>spray dryer</i> utilizando (a) 0%, (b) 3%, (c) 7% e (d) 15% de maltodextrina como agente carreador em função das variáveis independentes: temperatura de secagem de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, vazão de alimentação da amostra de $0,6\text{ L.h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem de $1,75\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, ampliação de $500\times$, $1000\times$ e $5000\times$ respectivamente.....	66
Figura 28- Resultados visuais dos pós, obtidos com e sem maltodextrina.....	72
Figura 29- Dados experimentais e o modelo de GAB ajustado aos dados de isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em <i>spray dryer</i>	81
Figura 30- Dados experimentais e o modelo de BET ajustado aos dados de isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em <i>spray dryer</i>	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição média do abacaxi Pérola por 100 gramas de parte comestível.....	5
Tabela 2- Composição média da hortelã verde (<i>Mentha spicata</i>), de acordo com a Tabela de Composição Química dos Alimentos.....	7
Tabela 3- Valores das variáveis independentes utilizados em cada nível do PCCO.....	24
Tabela 4- Matriz do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO)	25
Tabela 5- Matriz do Planejamento Fatorial com maltodextrina.	28
Tabela 6- Caracterização do suco in natura de abacaxi com hortelã	34
Tabela 7- Valores das respostas obtidas na produção de pós de abacaxi com hortelã obtidos no (PCCO) na secagem por <i>spray drying</i>	36
Tabela 8- Coeficientes de regressão e nível significância estatística (valor de p) dos fatores significativos do modelo para rendimento.	38
Tabela 9- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para rendimento, após retirar o ensaio 9.....	41
Tabela 10- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para atividade de água.	46
Tabela 11- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para higroscopicidade.....	48
Tabela 12- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para luminosidade (L*).	53
Tabela 13- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (a*).	56
Tabela 14- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (b*).	59
Tabela 15- Respostas obtidas na secagem por <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes: temperatura de secagem de 105 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h ⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m ³ .min ⁻¹	63
Tabela 16 - Valores das respostas do planejamento fatorial a dois níveis completo obtidas na produção de pós de suco de abacaxi com hortelã obtidos na secagem por <i>spray drying</i>	69
Tabela 17- Efeito e nível significância estatística (valor de p) dos fatores significativos do modelo para rendimento com maltodextrina.	70

Tabela 18 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para luminosidade (L^*) com maltodextrina.....	73
Tabela 19- Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (a^*) com maltodextrina	74
Tabela 20 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (b^*) com maltodextrina.....	76
Tabela 21 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para atividade de água.....	78
Tabela 22- Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para higroscopicidade.	79
Tabela 23 - Umidades de equilíbrio dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em <i>spray drying</i> com e sem agentes carreadores.	80
Tabela 24- Parâmetros de GAB e BET estimados a partir dos dados de sorção de umidade.....	81

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das condições do processo (temperatura do ar de secagem, vazão do ar de alimentação, vazão de alimentação da solução e concentração de maltodextrina na solução) de secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying* sobre as características físico-químicas dos pós obtidos. Para isso, foi realizado um Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) sem agentes carreadores, em que as variáveis estudadas e as faixas correspondentes à -1 e +1 foram: a temperatura do ar de secagem (90°C a 120°C), a vazão de alimentação da solução no secador ($0,4$ a $0,8 \text{ L.h}^{-1}$) e a vazão de ar de secagem ($1,60$ a $1,90 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$) e, as respostas foram: rendimento do processo (%), umidade (g água. g^{-1} sól. secos), atividade de água (a_w), higroscopicidade (%), solubilidade (%) e cor (L^* , a^* e b^*) do produto final. Além disso, analisou-se o efeito da adição de 0, 3, 7 e 15% de maltodextrina no suco antes do processo de secagem nas respostas estudadas, microscopia eletrônica de varredura e tempo de molhamento. Um segundo planejamento foi realizado avaliando-se as mesmas respostas e variáveis, acrescentando 3% de maltodextrina como agente carreador e considerando-a uma variável do processo. A secagem sem agente carreador nas condições dos pontos centrais: temperatura do ar de secagem (105°C), vazão de alimentação da solução no secador ($0,6 \text{ L.h}^{-1}$) e a vazão do ar de secagem ($1,75 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$) resultou em até 35% de rendimento, $0,185 \pm 0,003$ (g água. g^{-1} sól. secos) de umidade, a_w de $0,210 \pm 0,003$, 99,6% de solubilidade, além da obtenção de pós com a coloração visualmente verde, desejável em um pó de suco de abacaxi com hortelã. A presença da maltodextrina contribuiu para aumentar a luminosidade dos pós e diminuir a intensidade dos parâmetros a^* e b^* em relação aos pós sem o agente carreador secos nas mesmas condições. O agente carreador também diminuiu a higroscopicidade, umidade, a_w dos pós e aumentou o rendimento da secagem resultando em valores de até 54%, mesmo quando adicionado em baixa quantidade (3% em relação à massa total da amostra). Foi realizada a análise de isoterma de sorção de umidade e os pós com 3% de maltodextrina apresentaram maior valor de umidade na monocamada (X_m) e diminuiu a capacidade de adsorção dos pós armazenados em umidades relativas superiores a 50%, quando comparados aos pós sem agente carreador. Dessa maneira, a secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying* tanto com quanto sem maltodextrina foi possível, mas o uso do agente carreador mesmo em pequenas concentrações contribuiu para fatores importantes no processo de secagem como maior rendimento e também na estabilidade dos pós, pois reduziu a higroscopicidade dos mesmos em relação aos produtos sem a presença do agente.

Palavras-chave: Abacaxi, hortelã, planejamento composto central ortogonal (PCCO), maltodextrina, suco, pós.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the conditions of the drying process of pineapple juice with peppermint spray drying on the physicochemical characteristics of the powders obtained. For this, a central orthogonal composite planning (COCP) was performed, in which the variables studied and the bands corresponding to the -1 and +1 was: the temperature of the drying air (90°C to 120°C), the feed rate of the solution in the dryer ($0,4$ to $0,8 \text{ L.h}^{-1}$) and the drying air flow rate ($1,60$ a $1,90 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$) and the responses were: process yield (%), moisture, water activity (a_w), hygroscopicity (%), solubility (%) and color (L^* , a^* and b^*). In addition, the direction of the addition of 0, 3, 7 and 15% of maltodextrin in the juice before the drying process in the studied responses was, analyzed scanning electron microscopy and wetting time. A second planning was done evaluating the same responses and variables, adding 3% of maltodextrin as carrier agent and considering it a process variable. Drying without carrier at the conditions of the central points: drying air temperature (105°C), flow rate of the solution in the dryer ($0,6 \text{ L.h}^{-1}$) and the drying air flow rate ($1,75 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$) resulted in up to 35% yield, $0,185\pm0,003$ (g water. g^{-1} dry sol), $0,210\pm0,003$ water activity, 99.6% solubility, and obtaining powders with visually green coloration, desirable in a powder of pineapple juice with mint. The presence of maltodextrin contributed to increase the luminosity of the powders and to decrease the intensity of the parameters a^* and b^* in relation to the powders without the carrier agent dried under the same conditions. The carrier agent also decreased the hygroscopicity, moisture, a_w of the powders and increased the drying yield resulting in values up to 54% even when added in low amount (3% over the total sample mass). The powders with 3% maltodextrin also presented higher moisture value in the monolayer (X_m) and decreased the adsorption capacity of powders stored in relative moisture higher than 50% when compared to powders without carrier agent. Thus, drying of pineapple juice with peppermint spray drying as much as possible as maltodextrin was possible, but also the use of the carrier agent even in small quantities for the main components in the drying process such as increased yield and also in the stability of the pos, because it reduced the hygroscopicity of the same in relation to the products without the presence of the agent.

Key words: Central orthogonal composite planning (COCP), maltodextrin, juice, powder.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de frutas como o abacaxi tem diminuído como consequência dos novos hábitos dos consumidores, que estão cada vez mais optando por alimentos práticos e pouco perecíveis. Um dos fatores que contribuem para a alta perecibilidade das frutas é o fato de que quando atingem o estágio de maturação torna-se difícil sua comercialização e transporte *in natura*, causando grandes perdas ao longo de toda a cadeia de industrialização (FELLOWS, 2006).

Existem processos de secagem que contribuem para amenizar esse tipo de problema, eles são úteis para prolongar a vida útil dos produtos e permitir seu consumo em todas as regiões do país. Um desses, bastante utilizado na indústria de alimentos para transformar alimentos líquidos em pó, é a secagem por *spray drying* (ou secagem por atomização). O método consiste no contato da solução pressurizada, transformada em gotículas por meio da atomização, com uma corrente de ar quente no interior da câmara de secagem. As partículas secas são separadas em um ciclone e quando o equipamento é contínuo são encaminhadas para processos de finalização e acabamento no produto final, que podem ser a embalagem diretamente, dentre outros. No caso de equipamento em batelada estas são coletadas em um frasco coletor ao fim do processo. Mesmo em contato com altas temperaturas, as características nutricionais e sensoriais do produto podem ser preservadas, pois com a produção da nuvem de gotículas aumenta-se a área de contato destas com o ar de secagem, fazendo com que o processo aconteça de forma muito rápida. Além da possibilidade da produção contínua, o processo demanda baixos custos de mão-de-obra e manutenção simples do equipamento (FELLOWS, 2006; BHANDARI et al., 2008).

Apesar da secagem por atomização apresentar grande potencial econômico para transformar produtos líquidos em forma de pó, existem alguns inconvenientes, especialmente para alimentos ricos em açúcares, como sucos de frutas, mel, dentre outros (ADHIKARI et al., 2004). Os açúcares apresentam uma temperatura de transição vítreo (T_g) baixa, como a sacarose cuja T_g é de 62 °C, a frutose com T_g de 5 °C e glicose com T_g de 31 °C. Durante o processo de secagem, geralmente são utilizadas temperaturas superiores a essas, o que dificulta o manuseio de alimentos ricos nestes compostos, resultando em problemas como adesão às paredes do secador, aglomeração de partículas e baixos rendimentos, pois o produto tende a passar de um estado vítreo para “borrachoso” ou “pegajoso” durante a secagem. Para amenizar este tipo de problema, é

comum o uso de aditivos de alta massa molar, ou agentes carreadores, como as maltodextrinas, goma arábica, goma xantana, etc., que elevam o peso molecular da solução e, como consequência elevam também a Tg da solução a ser seca (BHANDARI et al., 2008; ROSS, 2010).

Na literatura estão disponíveis muitos estudos sobre secagem utilizando o *spray dryer* para a secagem de suco de frutas como açaí (TONON et al., 2011), amla (Mishra et al., 2014), goiaba (TAIP et al., 2015), manga (ZOTATELLI, 2017), mirtilo (ARAUJO-DÍAZ et al., 2017), romã (JAFARI et al., 2017) e tomate (SOUZA et al., 2018) com diferentes agentes carreadores e em diferentes concentrações. Mas, escassos são os estudos relacionados à secagem de suco de abacaxi com hortelã tanto com quanto sem a utilização de aditivos por esse método.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivos gerais:

- Investigar o processo de secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying*.

2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar o suco de abacaxi com hortelã *in natura* em relação à umidade, atividade de água, cor, pH, acidez e sólidos solúveis;
- Investigar o efeito das condições operacionais de secagem (temperatura do ar de secagem, vazão de entrada do ar de secagem e vazão da alimentação da solução) nas características físico-químicas (umidade, higroscopicidade, atividade de água, solubilidade, cor e rendimento) dos pós de suco de abacaxi com hortelã;
- Realizar a secagem de suco de abacaxi com hortelã pelo método de *spray drying* com adição de maltodextrina e, investigar a influência das condições operacionais de secagem e da maltodextrina nas características físico-químicas dos pós (umidade, higroscopicidade, atividade de água, solubilidade, cor e rendimento);
- A partir das condições que resultarem em características como o maior rendimento, melhor preservação da cor verde, menor umidade, atividade de água e higroscopicidade (com e sem maltodextrina) caracterizar os pós de suco de abacaxi com hortelã quanto a microscopia eletrônica de varredura, isotermas de sorção de umidade e tempo de molhamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Abacaxi

O abacaxi tem origem na América Central e do Sul. Sua distribuição pelos países americanos começou com a troca de conhecimentos entre diferentes tribos e com o descobrimento do continente americano, se espalhou para o restante do planeta quando foi levado para a Europa, Ásia e África (CRESTANI et al., 2010). O Brasil é terceiro produtor e consumidor do fruto no mundo, perdendo apenas para a China e Índia. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), em 2017 foram produzidos 1.502,5 milhões de abacaxis no Brasil. A região Sudeste foi a segunda maior produtora de abacaxis (411,467 mil frutos), perdendo apenas para o Nordeste (594,777 mil frutos). Minas Gerais é o segundo estado que mais produziu abacaxis em 2017, contando com mais da metade da produção da região sudeste (224,382 mil frutos), ficando atrás apenas do estado da Paraíba. Entre as cultivares mais produzidas destacam-se: Pérola, Jupi e *Smooth Cayenne* (CARVALHO et al., 2017).

Na Figura 1 está apresentada uma fotografia de abacaxis da cultivar Pérola, que é o mais abundante no Brasil.

Figura 1- Abacaxis Pérola.



Fonte: Arquivo pessoal.

O abacaxi é uma fruta muito apreciada, sendo consumido *in natura*, enlatado, congelado, em calda, cristalizado, em forma de passas, também é utilizado na confecção de doces, sorvetes, cremes, balas, bolos e geleias (devido a seu teor ácido). O fruto ainda pode ser consumido na forma de bebidas como suco, refresco, xarope, licor, fermentado,

vinagre e aguardente, serve de matéria-prima para a extração de álcool e seus resíduos podem ser utilizados pelas indústrias para fabricação de ração animal (TOKITOMO et al., 2005; COOK, 2011).

Na Tabela 1 está apresentada a composição média do abacaxi Pérola, de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2017).

Tabela 1- Composição média do abacaxi Pérola por 100 gramas de parte comestível.

Composição centesimal	Valor para 100g
Umidade (%)	87,1
Proteínas (g)	0,68
Lipídeos (g)	0,34
Carboidratos (g)	10,5
Cinzas (g)	0,36
Fibra Alimentar (g)	1,12
Cálcio (mg)	18,4
Magnésio (mg)	16,7
Fósforo (mg)	10,6
Vitamina C (mg)	33,2
Energia (kcal)	50

Fonte: TBCA (2017)

O fruto possui sais minerais como cálcio (IDR – 1.000 mg), fósforo (IDR – 700 mg) e magnésio (IDR – 260 mg). Sendo também uma importante fonte de Vitamina C por 100 g de abacaxi fornecer mais de 70% do valor diário recomendado de acordo com a Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que é de 45 mg. No entanto, como qualquer fruto, apresenta baixos teores de proteínas e gorduras, sendo inferiores a 0,7% (TBCA, 2017). O fruto contém elevada concentração da enzima bromelina, que auxilia o processo de digestão (BRUGNERA et al., 1999).

A coloração da polpa do abacaxi está relacionada com o conteúdo de carotenoides, sendo o β-caroteno responsável por cerca de 35% dos pigmentos totais do fruto. Os carotenoides β-caroteno, α-caroteno e criptoxantina presentes no abacaxi se destacam pela atividade pró vitamina A, sendo convertidos em vitamina A ou retinol após

a ingestão. Além disso, os carotenoides possuem ação antioxidante, protegendo as células e tecidos de danos causados pelos radicais livres. O fruto também contém compostos fenólicos que são responsáveis pelo amargor, adstringência, sabor e cor (FERREIRA et al., 2016).

3.2 Hortelã

A hortelã (*Mentha sp.*) é uma erva aromática, anual ou perene, de mais ou menos 30 cm de altura, semiereta, com ramos de cor verde escura a roxa-purpúrea. Folhas elíptico-acuminadas, denteadas e muito aromáticas. É originária da Europa de onde foi trazida no período de colonização do país, sendo muito cultivada como planta medicinal em canteiros de jardins e quintais em todo Brasil. Seu cultivo é feito a partir de pedaços dos ramos subterrâneos, devendo ser replantada a cada seis meses para garantir a boa qualidade da planta (LORENZI et al., 2008).

A *Mentha spicata* L., comumente chamada de hortelã-verde, pertence à família Lamiaceae, gênero *Mentha*, que compreende cerca de 25-30 espécies. É uma das variedades de hortelã mais cultivadas no Brasil e está bem adaptada ao clima subtropical (TOGNOLINI et al., 2006).

A hortelã verde, é também conhecida por possuir vários usos biológicos, para fins medicinais como analgésico estomacal e intestinal, estimulante das funções cardíacas, controle da azia, gastrite, cólicas e gases, tem a capacidade de melhorar a memória (ADSERSEN et al., 2006), possui antimicrobianos (OZGEN et al., 2006) e antioxidantes (CHOUDHURY et al., 2006), sendo altamente benéfica para a saúde (TOGNOLINI et al., 2006). Além disso, é rica fonte de mentol, o que possibilita sua aplicação na indústria em produtos de higiene bucal, flavorizantes, aromatizantes de alimentos e bebidas, na perfumaria, confeitoraria e produtos farmacêuticos. Seu óleo essencial está entre os 10 produtos mais vendidos no mundo (DOMIJAN et al., 2005; GRISI et al., 2006). Na Figura 2 está apresentada uma fotografia de folhas de hortelã verde.

Figura 2- Fotografia de folhas de hortelã verde.



Fonte: Arquivo pessoal.

As folhas de hortelã também podem ser utilizadas na culinária em combinação com diversos vegetais e pratos como: tomate, batata, salada de fruta, salada de vegetais, molhos, sucos dentre outros (CEYLAN; GUREL, 2016). Além disso, pode proporcionar um sabor agradável para sucos de fruta, como no caso do suco de abacaxi com hortelã. Na Tabela 2 está apresentada a composição média da hortelã verde (*Mentha spicata*).

Tabela 2- Composição média da hortelã verde (*Mentha spicata*), de acordo com a Tabela de Composição Química dos Alimentos.

Composição centesimal	Valor para 100g
Água	85,55
Proteínas (g)	3,29
Gorduras totais	0,73
Carboidratos (g)	8,41
Cinzas (g)	0,36
Fibra Alimentar (g)	6,8
Cálcio (mg)	199
Ferro (mg)	11,87
Magnésio (mg)	63
Potássio (mg)	458
Vitamina C	13,3
Energia (kcal)	44

Fonte: TABNUT (2016)

A hortelã possui potássio (IDR 4700 mg), cálcio (IDR – 1.000 mg), fibras, vitamina C, ferro (IDR – 14 mg), e é muito benéfica para a saúde. Também possui componentes bioativos como a clorofila, luteína (carotenoide presente em vegetais

verdes), β -caroteno, flavonoides, ácidos fenólicos, tocoferol. A degradação desses compostos é um problema que pode ocasionar a mudança de cor em vegetais, e limitar sua comercialização (LORANTY et al., 2010).

3.3 Mistura de sucos de fruta

O consumo de sucos de frutas e hortaliças processadas tem aumentado, devido aos novos hábitos dos consumidores, que com uma vida cotidiana mais atarefada, muitas vezes dispõem de pouco tempo para o preparo de suas refeições, buscando assim, produtos que sejam práticos. Por outro lado, os consumidores requerem e procuram por produtos que sejam saudáveis e nutritivos. Portanto, o desafio das indústrias de alimentos é o de fabricarem produtos que atendam a essas necessidades, ou seja, produzir produtos práticos com boas propriedades sensoriais e nutricionais (BRANCO, 2007). Os sucos de frutas integrais ou sucos de frutas integrais em pó para serem reidratados, podem ser uma alternativa interessante para atenderem a parte da demanda dos consumidores.

Nesse contexto, a combinação de diferentes tipos de frutas como fontes importantes de nutrientes e compostos bioativos naturais, como os *blends*, também pode ser utilizada de forma a potencializar vitaminas e nutrientes. Exemplos desse tipo de produto são os sucos de caju com extrato de guaraná (SOARES et al., 2001), de abacaxi com acerola (MATSUURA; ROLIM, 2002), de laranja com cenoura (BRANCO et al., 2007) e abacaxi com hortelã (FARIAS et al., 2008).

O suco de abacaxi com hortelã é altamente saboroso e nutritivo. A combinação das propriedades do abacaxi e da hortelã auxilia na digestão, além de proporcionar um sabor muito agradável.

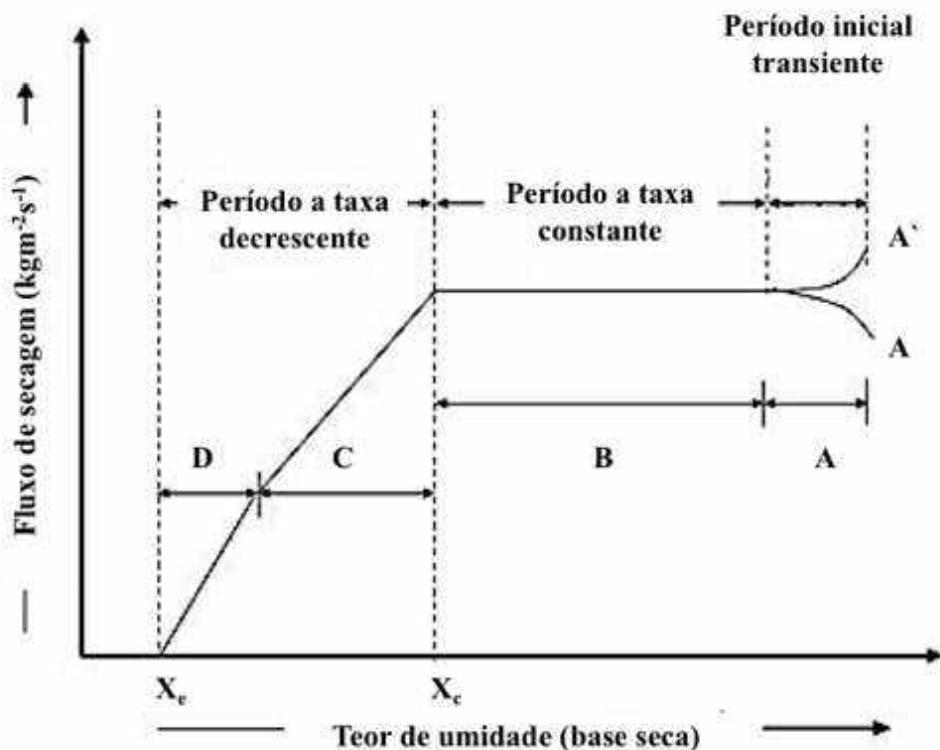
3.4 Secagem de alimentos

A secagem é tradicionalmente definida como a operação unitária que converte um material sólido, semissólido ou líquido em um produto sólido de umidade consideravelmente baixa. É o processo de transferência da água do material para uma fase gasosa não saturada. A remoção de água geralmente ocorre por evaporação, que consiste na aplicação de energia térmica, a qual provoca mudança de fase da água líquida para vapor (TADINI et al., 2016). No século XVIII houve os primeiros registros do uso de secagem artificial na conservação de alimentos. A tecnologia de secagem foi

aprimorada durante a Segunda Guerra Mundial, onde surgiram os secadores de tambor (*drum dryer*) e a secagem por atomização (*spray drying*), que são processos muito utilizados até hoje (VAN ARSDEL; COPLEY, 1963).

A rapidez com que o alimento perde umidade pode ser controlada pelas condições de secagem como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade de secagem. A velocidade de secagem, expressa em termos de taxa de secagem consiste em uma função da redução da umidade em relação ao tempo. Na Figura 3 está apresentada uma curva típica da taxa de secagem ($\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}$) em função da umidade ($\text{kg de água. Kg matéria seca}^{-1}$).

Figura 3- Curva típica da taxa de secagem em função da umidade.



Fonte: Adaptado de Jangam e Mujumdar, 2010.

Na Figura 3 é possível identificar basicamente 4 períodos de secagem. O segmento A-B refere-se a um período inicial, ou seja, uma fase de adaptação do alimento às condições de secagem, uma vez que o alimento pode ser colocado no secador com uma temperatura mais elevada que a do equipamento (trecho A'-B), ou mais baixa e aquecer, aproximando-se da temperatura do secador (trecho A-B). A temperatura e a velocidade de secagem do alimento entrarão em regime estacionário dependendo das condições de

umidade e estrutura do alimento. Se as temperaturas do sólido atingirem a temperatura de bulbo úmido do ar, tem-se o chamado período de taxa constante (trecho B-C), e durante esse período a secagem ocorre pela difusão do vapor a partir da superfície do material para a corrente de ar. O período de taxa decrescente se inicia a partir da umidade crítica X_c (ponto C). A partir desse ponto, há um aumento na resistência interna e o movimento de líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado (trecho C-D, que também é chamado de período de zona de superfície insaturada). O trecho (D-E) refere-se ao segundo período de velocidade decrescente, em que a umidade do alimento diminui até alcançar a umidade de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa do ar (ponto E). Quando a umidade de equilíbrio é atingida, tem-se o fim do processo de secagem (CELESTINO, 2010; TADINI et al., 2016). Nem todos os produtos alimentícios apresentam nítidos esses períodos de secagem, isso porque alimentos no geral são produtos complexos com estrutura heterogênea, com as moléculas de água ligadas por meio de diferentes tipos de interação, de modo que todos esses aspectos afetam a velocidade da transferência da água.

Existem vários métodos de secagem, que incluem a secagem solar, convectiva, liofilização, *spray drying*, leito fluidizado, etc. O método utilizado irá depender, entre outros fatores, do tipo de produto que se deseja secar, em termos de sensibilidade e formato do mesmo. Este pode ser inteiro, em pedaços ou líquido. No caso de um produto inteiro ou seco em pedaços (como uma fruta em pedaços), geralmente é diretamente consumido, ou então pode ser incorporado como ingrediente de outro produto, um exemplo são as frutas secas que podem ser incorporadas em cereais matinais. Quando o produto está na forma de pó, geralmente seu uso será realizado após a reidratação (GAVA et al., 2008).

A secagem natural utiliza a radiação solar para aumentar o potencial de secagem do ar. Sua desvantagem consiste na dependência das condições climáticas, maior risco de contaminação, além do maior tempo de processo. O método tem como principal vantagem o baixo custo, e nos casos de secagem de grãos como o café, a menor ocorrência de grãos trincados ou quebrados (SILVA; BERBERT 2004).

O processo de liofilização é baseado na sublimação, sob baixas pressões, da água congelada, o que resulta em produtos de alta qualidade devido às baixas temperaturas utilizadas no processo. Devido ao alto custo, tanto de capital quanto operacional, é mais utilizado na secagem de produtos de alto valor agregado. O processo de liofilização

consiste de duas etapas, a primeira envolve o congelamento inicial do produto, enquanto na segunda etapa o produto é seco por sublimação (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996). De acordo com Ordóñez (2005), o tipo e a velocidade de congelamento exercem influência na estrutura final do produto, e o congelamento mais lento proporciona uma estrutura mais porosa.

O *refractance window* é um processo utilizado na produção de alimentos desidratados em filme e/ou pó. O produto a ser seco, em forma de polpa ou purê, é espalhado sobre uma esteira plástica que flutua sobre água aquecida. Esta esteira é composta por um filme de poliéster transparente (*mylar*) à radiação infravermelha emitida pela água aquecida (ZOTARELLI et al., 2017). Alguns trabalhos da literatura verificaram que a contribuição da radiação, de acordo com o balanço de energia, a esse processo é pequena sendo a condução o mecanismo de transferência de calor mais predominante. Por isso, ele tem sido chamado por alguns pesquisadores de *cast-tape drying* (CTD) (DURIGON et al., 2016; ZOTARELLI et al., 2017).

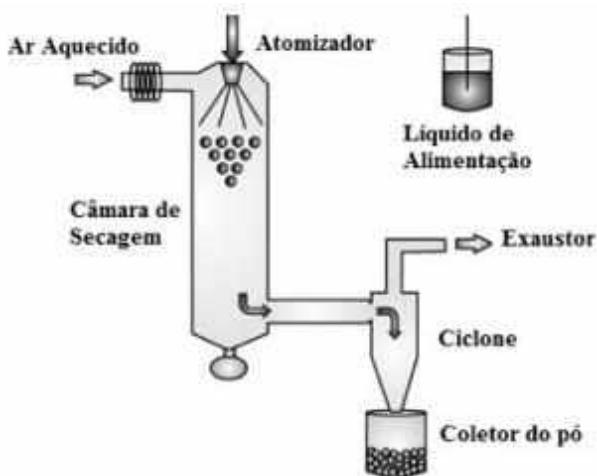
O processo de secagem a vácuo baseia-se na redução da pressão no interior do secador possibilitado a operação em temperaturas moderadas. O método promove uma rápida evaporação da água, oferecendo menores tempos de secagem e elevada qualidade do produto desidratado, quando comparado com o método sem o vácuo (LIU et al., 2012).

O método de secagem por *spray drying* utilizado nesse trabalho, bem como seu princípio de funcionamento, vantagens e desvantagens será descrito no item 3.4.1.

3.4.1 Secagem em *spray dryer*

A secagem por *spray drying* (ou secagem por atomização) é um método que consiste na transformação de um produto líquido (ou suspensão) em um sólido, em forma de pó, por meio de uma corrente de ar aquecida (FELLOWS, 2006). A secagem por atomização consiste na divisão do líquido em milhões de gotículas as quais formam uma nuvem ou *spray*. A secagem de 1 m³ de líquido origina aproximadamente 2×10^{12} gotículas uniformes de aproximadamente 100 µm de diâmetro, o que equivale a uma área superficial de 60.000 m² (MASTERS, 2002; BARBOSA-CÁNOVAS e JULIANO, 2005; INTIPUNYA e BHANDARI, 2010). Na Figura 4 está apresentado o esquema do *spray dryer* de ciclo aberto e concorrente.

Figura 4- Esquema de um *spray dryer* de ciclo aberto e concorrente.



Fonte: Sosnik e Seremeta, 2015.

A evaporação das gotículas de água é realizada pela transferência de calor entre o ar quente e o líquido atomizado, por meio de um balanço de temperatura e pressão parcial de vapor. A separação do produto seco do ar úmido ocorre quando as partículas mais densas são recuperadas na base da câmara de secagem, enquanto as mais leves passam por um ciclone, onde as mesmas são separadas do ar úmido (TADINI et al., 2016).

Os produtos obtidos a partir da secagem por atomização podem ser afetados pelas propriedades do líquido a ser atomizado, *design* do atomizador e seu desempenho, procedimento de funcionamento do atomizador, velocidade e temperatura (entrada e saída) do ar de secagem (GEANKOPOLIS et al., 2003; PHISUT, 2012).

As primeiras secagens por atomização foram feitas com ovos, em meados do século XVIII. A utilização do processo em secagem industrial iniciou-se na primeira metade do século XX, com a produção de leite e sabão (CANO-CHAUCA et al., 2005; QUEK et al., 2007). Atualmente o *spray dryer* é largamente utilizado, especialmente para a secagem de produtos termossensíveis, como alimentos e materiais de origem biológica. Isso ocorre devido ao pequeno tempo de residência do produto na câmara de secagem, que pode contribuir para manter a temperatura das partículas baixas, minimizando possíveis degradações térmicas. As características nutricionais e sensoriais do produto podem ser preservadas devido à formação das gotículas de volume muito pequeno, aumentando a área de contato, fazendo com que o processo aconteça de forma muito rápida. Dependendo das condições de secagem que forem utilizadas, das características físico-químicas dos produtos e das condições do ambiente como temperatura e umidade relativa, é possível preservar vitaminas, minerais, antioxidantes, proteínas,

microrganismos, corantes, enzimas, ácidos, aromatizantes, edulcorantes, lipídeos, dentre outros (BHANDARI et al., 2008).

Outras vantagens desse tipo de secagem são: a possibilidade de produção contínua, baixos custos de mão-de-obra, manutenção simples, possibilidade de se produzir produtos secos com algumas características específicas como tamanho, massa específica e umidade, por meio das condições de secagem que forem utilizadas. Além disso, como os produtos são convertidos diretamente a pó, não há a necessidade da etapa de moagem, mantendo a qualidade do produto durante o ciclo de produção (RÉ, 1998; FAVARO-TRINDADE et al., 2008; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010). O mesmo equipamento pode ser utilizado para uma variedade de materiais líquidos, e a operação e a manutenção da planta podem ser totalmente automatizadas, sendo este equipamento considerado de grande versatilidade (MASTERS, 2002; BHANDARI et al., 2008).

A tecnologia apesar de ser vantajosa, apresenta alguns inconvenientes como, os altos custos de instalação e as grandes perdas de voláteis devido às altas temperaturas do ar de secagem, embora a temperatura da maior parte das partículas possa permanecer na temperatura de bulbo úmido do ar (FILKOVÁ et al., 2006; NINDO e TANG, 2007). Além disso, a secagem por atomização, quando utilizada em alimentos ricos em açúcar, como os sucos de frutas, pode apresentar alta aderência dos produtos na parede do secador. Isso porque os açúcares de uma maneira geral têm uma temperatura de transição vítreia (T_g) baixa, passando de um estado vítreo para um estado “borrachoso” ou pegajoso durante a secagem, o que pode fazer com que o produto fique aderido nas paredes do equipamento e cause problemas operacionais (como a impossibilidade de secagem, entupimento do bico atomizador, etc.) levando a baixos rendimentos, principalmente nos secadores que operam em batelada. Para amenizar este tipo de inconveniente, é comum o uso de aditivos ou agentes carreadores que elevam a massa molar e a T_g da solução a ser seca, por exemplo, maltodextrina, goma arábica, goma xantana, etc. (BHANDARI, 2007).

3.5 Transição Vítreia (T_g)

O termo temperatura de transição vítreia se refere à temperatura, ou faixas de temperatura, em que ocorre a transição de um estado vítreo para um estado borrachoso ou gomoso, sendo a T_g considerada a mudança de estado mais importante, que é característica de materiais amorfos em alimentos (AGUILERA; STANLEY, 1999).

A transição vítreo consiste em uma pseudo transição de estado de segunda ordem, por apresentar características como mudança na tangente de expansão do volume (a primeira derivada da energia livre), a descontinuidade do coeficiente de expansão térmica e a descontinuidade do calor específico (segunda derivada da energia livre). Por ser afetada pela cinética de formação da forma vítreo (velocidades de aquecimento ou resfriamento), ela é considerada uma transição termodinâmica verdadeira (ROOS, 1995).

O estudo da Tg de alimentos desidratados é muito importante, uma vez que esse conhecimento serve como indicador de estabilidade e qualidade dos produtos principalmente quando associado a estudos sobre isotermas de sorção de umidade gerando os diagramas de estado (TONON et al., 2011; YOUSEFI et al., 2011; MESTRY et al., 2011).

Na Figura 5 está apresentado um diagrama genérico dos principais fatores que afetam a transição entre os estados vítreo e borrachoso para um material amorfó.

Figura 5- Diagrama da Tg para um material amorfó.



Fonte: Labuza et al. (2004) e Leite et al. (2005).

Por meio da Figura 5 observa-se que abaixo da Tg é esperado que o alimento seja mais estável, já acima dessa temperatura, a diferença entre a temperatura de estocagem e a Tg, ou seja T-Tg (segmento A-C) é responsável por controlar a taxa das mudanças físicas e químicas dos produtos (pegajosidade, empelotamento e colapso). Além disso, a mudança de estado também pode ocorrer quando o alimento ganha umidade (segmento ilustrado A-B), é o caso de biscoitos *cream cracker* que podem passar de um estado quebradiço, crocante para um estado “murcho” se ficarem expostos em um ambiente com elevada umidade. Assim sendo, a Tg é considerada uma temperatura de referência (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010).

Em geral, sucos de frutas contêm alta concentração de açúcares, que por sua vez

apresentam Tg baixa, como a sacarose cuja Tg é de 62 °C, a frutose com Tg de 5 °C e glicose com Tg de 31 °C. Durante o processo de secagem, geralmente são utilizadas temperaturas superiores a essas, o que resulta em problemas como adesão às paredes do secador, aglomeração e dificuldades de manuseio no caso de alimentos ricos nestes compostos (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2010; ROOS, 2010). Para tentar amenizar esses inconvenientes, costuma-se adicionar aos sucos de frutas a serem secos, materiais poliméricos, os agentes carreadores, como maltodextrina, goma arábica, goma xantana, etc. Esses agentes carreadores, de modo geral, apresentam elevado peso molecular, o que contribui para elevar a Tg das soluções em que são adicionados (BHANDARI et al., 2005; ROOS, 2010). Como consequência, têm-se o aumento do rendimento do processo e a melhor estabilidade do produto durante o armazenamento.

3.6 Maltodextrina

A maltodextrina $[(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \cdot \text{H}_2\text{O}]$ é um dos agentes carreadores mais utilizados na secagem de produtos no *spray dryer*, sendo que consiste em um polímero de unidades D-glicose unidas por ligações do tipo $\alpha 1 \rightarrow 4$ com peso molecular variado. Trata-se de um produto obtido a partir da hidrólise ácida e/ou enzimática parcial do amido, podendo ser obtida de amidos de diferentes fontes, como o milho, a batata, o arroz, a mandioca, o trigo e o sorgo, dependente da disponibilidade e do preço da matéria-prima produzida em cada país (SANTOS, 2013; SILVA et al., 2014).

As maltodextrinas são definidas também como produtos com valores de dextrose equivalente (DE) menores que 20. A DE é relacionada ao grau de polimerização, o que pode ser observado na Equação 1:

$$DE = \frac{100}{DP} \quad (1)$$

em que DE é dextrose equivalente (grau de hidrólise) e DP é o grau de polimerização. Ambos se referem a valores médios para uma população de moléculas. Desse modo, a DE de um produto de hidrólise está relacionada ao seu poder redutor com relação a dextrose pura (D-glicose), indicando deste modo sua estabilidade e funcionalidade (CARNEIRO, 2011).

Um dos fatores que contribuem para a conservação dos produtos é o fato da maltodextrina possuir baixa higroscopícidade, principalmente devido à sua estrutura

química, que contribui para a característica menos higroscópica de produtos que contêm maiores concentrações do agente (ADHIKARI et al., 2004). A maltodextrina também contribui para a capacidade de reidratação de produtos secos, devido à diminuição da pegajosidade das partículas, o que facilita sua solubilidade em água, uma vez que maior será a superfície de contato da partícula com a água (GOULA; ADAMAPOULOS, 2010).

3.7 Atividade de água e isotermia de sorção

Segundo Ordóñez e colaboradores (2005), a atividade de água (a_w) está relacionada à intensidade das forças que unem a água com outros componentes não-aquosos e, consequentemente, à água que estará disponível para possível crescimento de microrganismos e realização de diferentes reações químicas e bioquímicas. O crescimento microbiano é afetado em atividades de água inferiores a 0,9. Os bolores e as leveduras têm seu crescimento afetado abaixo de 0,8. De modo geral, o limite inferior para crescimento microbiano para todos os microrganismos é a_w inferior a 0,6. A perda da qualidade de produtos em pó começa a aumentar em a_w superiores a 0,3. A atividade de água varia de (0 a 1) sendo que um aumento de 0,1 diminui a vida de prateleira dos alimentos de duas a três vezes (RAHMAN, 2008).

A atividade de água é considerada uma propriedade termodinâmica, que em baixas pressões, como a atmosférica, pode ser aproximada pela razão entre a pressão de vapor da água no alimento (P_v) e a pressão de vapor da água pura (P_0) à mesma temperatura (T), como é apresentado na Equação 2.

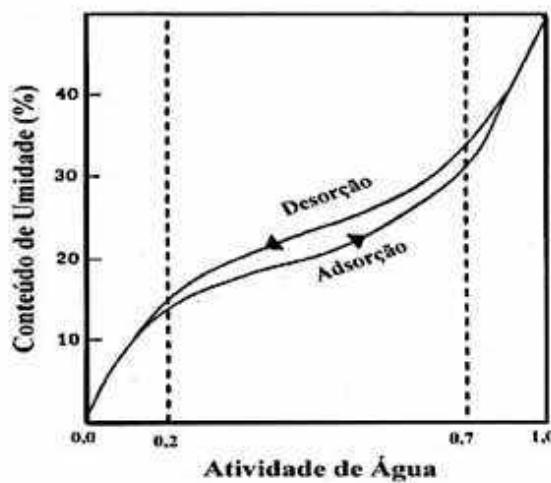
$$a_w = \left. \frac{P_v}{P_0} \right|_{T_{cte}} \quad (2)$$

Em sistemas constituídos por alimentos sólidos, o conhecimento das relações de equilíbrio entre fase gasosa e fase líquida é muito importante, uma vez que o vapor de água pode afetar a qualidade e conservação dos mesmos (TADINI et al., 2016). Muitos autores estudaram estabilidade de determinados produtos por meio de isotermas de sorção que representam a relação de equilíbrio entre atividade de água e a umidade de equilíbrio do produto a temperatura constante (AYROSA et al., 2005; BELLAGHA et al., 2008). O conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos tem aplicação na

predição do tempo de secagem, vida útil do produto, determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (ALEXANDRE et al., 2007).

A isoterma de sorção de umidade é determinada no produto com baixíssima umidade, que é acondicionado em ambientes herméticos com umidade relativa controlada. Pelo método gravimétrico, a umidade relativa pode ser controlada pelo uso de diferentes sais em solução saturada. Assim, durante o período de acondicionamento do produto ocorre a adsorção da umidade até que se atinja o equilíbrio, ou seja, até o produto não adsorver mais umidade. Este sendo atingido é então determinada a umidade de equilíbrio. Quando o produto tem umidade superior a umidade relativa do ambiente em que está acondicionado este perderá umidade, ou seja, estará acontecendo o fenômeno da dessorção. Sabe-se que os mecanismos envolvidos com a adsorção e a dessorção de umidade por um produto são diferentes, conforme pode ser observado na Figura 6, devido ao fenômeno de histerese (GREENSPAN, 1977).

Figura 6- Isotermas típicas de sorção e dessorção de umidade em um alimento.



Fonte: Park e Nogueira, 1992.

Esse fenômeno ocorre devido à isoterma de dessorção possuir valores de umidade de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção em uma mesma atividade de água, existindo dois diferentes caminhos entre as curvas. Os fatores que contribuem para a histerese (diferença de comportamento entre a adsorção e a dessorção) não estão muito conclusivos na literatura, podendo ser devido às mudanças na estrutura física do material como encolhimento e deformações que ocorrem durante a secagem, as quais reduzem o número de sítios polares para a ligação da água no ciclo de adsorção. A histerese sugere

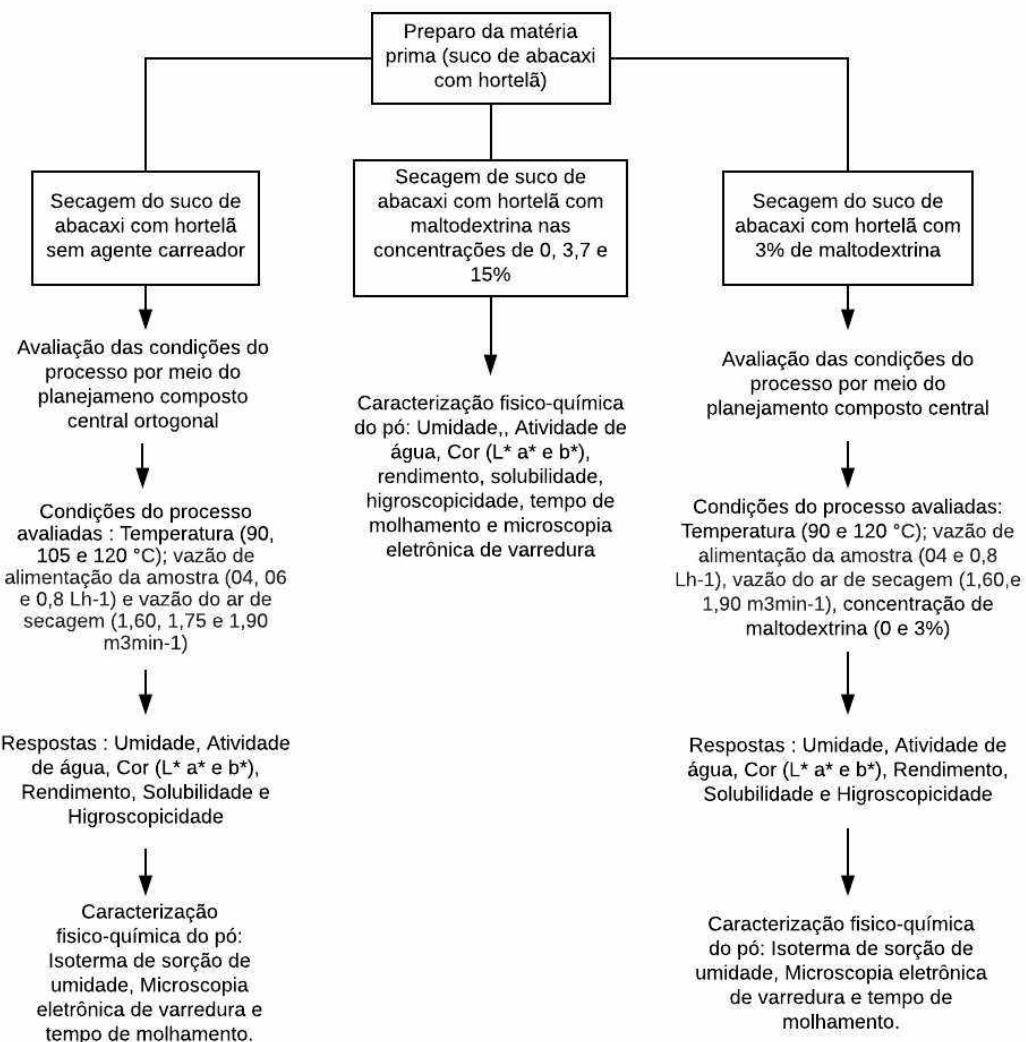
que os sistemas não estão em equilíbrio, mas sim em um estado de ‘pseudo equilíbrio’ (RAHMAN, 1995; TADINI et al., 2016). Além disso, é um fator importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de umidade e pode ser usado para estimar a possibilidade de deterioração por reações químicas e microrganismos (FRANKOWICZ; CHRENOWSKI, 2006; FELLOWS, 2006).

Na literatura estão disponíveis vários modelos matemáticos propostos para descrever as isotermas de sorção de umidade em alimentos, os quais podem ser baseados em teorias sobre os mecanismos de sorção ou em experimentos. Os modelos considerados mais versáteis como o de Brunauer, Emmett, Teller (BET) e Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) são os mais utilizados, e relacionam o processo de sorção da água com fenômenos físicos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Conforme apresentado nos objetivos, esse trabalho consistiu na investigação do processo de secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying* e foi dividido em duas etapas, sendo a primeira a investigação do processo de secagem do suco de abacaxi com hortelã por *spray drying* e na segunda etapa foi feita a secagem com a adição de maltodextrina como agente carreador. Portanto, a descrição da seção Material e Métodos seguiu a lógica da Figura 7. A Figura 7 apresenta um fluxograma com as principais etapas realizadas neste trabalho.

Figura 7- Fluxograma das principais etapas deste trabalho.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.1 Obtenção e preparo da matéria-prima

Foram utilizados abacaxis da cultivar Pérola, bem como hortelã (*Mentha spicata*), adquiridos no comércio local da cidade de Patos de Minas, estado de Minas Gerais. O abacaxi foi selecionado de acordo com o seu grau de maturação, por meio de análise visual, levando-se em conta também a aparência e o tamanho do produto. Os abacaxis foram lavados, descascados manualmente, cortados e triturados em um liquidificador industrial de alimentos (Camargo, Brasil). As folhas de hortelã foram selecionadas de acordo com sua aparência e tamanho e, em seguida foram devidamente higienizadas com água corrente e adicionadas na proporção de 50:1 (g de abacaxi: g de hortelã). A polpa contendo abacaxi com hortelã foi processada em liquidificador industrial, para redução das partículas de hortelã e em sequência peneirada em uma peneira de 16 *mesh* Tyler para a retirada de partículas maiores, que foram descartadas. Posteriormente as polpas foram acondicionadas em sacos plásticos de polipropileno, com conteúdo de 500 mL (conforme apresentado na Figura 8), e armazenadas em *ultra freezer* (Indrel, IULT CRP 335D) na temperatura de -55 °C, onde permaneceram até preparação (diluição) e utilização do suco.

Figura 8- Polpas de abacaxi com hortelã, armazenadas em sacos de polipropileno.



Fonte: Arquivo pessoal.

Antes da secagem, o suco foi preparado adicionando-se 200 mL de água para cada 500 mL de polpa. Em seguida, o conteúdo foi processado em liquidificador industrial e novamente peneirado para retirada de partículas maiores do abacaxi com hortelã, que poderiam prejudicar o processo de secagem em *spray dryer* e ocasionando eventual entupimento do bico atomizador. Posteriormente, foi feita a análise físico-química do suco *in natura* (umidade, cor, atividade de água, pH, sólidos solúveis e acidez) e o mesmo foi utilizado no processo de secagem por atomização.

4.2 Caracterização físico-química do suco *in natura*.

4.2.1 Umidade

A umidade das amostras foi determinada por método gravimétrico. Inicialmente cápsulas de porcelana de 30 mL foram colocadas em estufa de circulação de ar forçado a temperatura de 105 °C, por cerca de 30 min. Em seguida, as cápsulas secas foram pesadas em balança analítica (Shimadzu - AUW320, Brasil), e aproximadamente 5 g da amostra foram inseridos na cápsula. Na sequência, as cápsulas de porcelana contendo as amostras ficaram na estufa por 24 horas. O percentual de umidade das amostras, em base úmida (%), foi calculado de acordo com a Equação 3:

$$X_u = \frac{M_s - M_{ss}}{M_s} \cdot 100 \quad (3)$$

em que, X_u a umidade do produto em base úmida, M_s é a massa de sólido úmido (sólidos e umidade) e M_{ss} é a massa de sólidos secos.

4.2.2 Atividade de água (a_w)

A determinação da atividade de água das amostras foi realizada utilizando-se o higrômetro digital Aqualab Lite (Decagon Devices, EUA).

4.2.3 Cor

Os parâmetros de cor das amostras de suco de abacaxi com hortelã foram analisados por reflectância por meio de um colorímetro (Konica Minolta CR-400/410), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As amostras foram analisadas a 25 °C e as medidas de coloração expressas em termos da luminosidade L^* ($L^* = 0$ escuro e $L^* = 100$ claro) e da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ = vermelho e $-a^*$ = verde) e b^* ($+b^*$ = amarelo e $-b^*$ = azul).

4.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH), indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de produtos como o suco de abacaxi com hortelã. O pH foi medido utilizando-se um potenciômetro (TECNOPON mPA 210, Brasil).

4.2.5 Sólidos Solúveis Totais (°Brix)

Foi feita a análise do teor de sólidos solúveis (°Brix) utilizando-se um refratômetro óptico manual (Edutec, EEQ9029, Brasil).

4.2.6 Acidez Titulável

A acidez do suco de abacaxi com hortelã foi determinada pela metodologia A.O.A.C (2006) com modificações descritas na sequência. O método baseia-se na adição de 15 mL da amostra em um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Em seguida foram adicionadas 3 gotas do indicador ácido base fenolftaleína 1%. A amostra foi titulada com hidróxido de sódio 0,1 N, até a mudança da coloração. A porcentagem de acidez foi expressa em g ácido cítrico 100 g de suco⁻¹ e foi calculada utilizando a Equação 4.

$$ATT_{(g \cdot 100g^{-1})} = \frac{n.N.Eq}{10.V} \quad (4)$$

em que N é a normalidade da solução de hidróxido de sódio; n é o volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL, Eq representa o equivalente-grama do ácido, em que o ácido cítrico corresponde a 64,02.

4.3 Secagem em *spray dryer*

O processo de secagem por atomização foi realizado utilizando-se um *spray dryer* (LM MSD 1.0, LabMaq, Brasil) com capacidade nominal de 1 L.h⁻¹, instalado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, na Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas. Na Figura 9 está apresentada uma fotografia do modelo de *spray dryer* utilizado neste trabalho.

Figura 9- Fotografia do *spray dryer* utilizado para a secagem de suco de abacaxi com hortelã.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.3.1 Planejamento Composto Central Ortogonal

O planejamento das condições experimentais deste estudo foi realizado utilizando a técnica do planejamento fatorial de experimentos (BOX et al., 1978). Entre as vantagens para a utilização da técnica de planejamento fatorial de experimentos combinada com a metodologia de superfície de resposta, têm-se a ampla investigação das condições ótimas das variáveis e de seus efeitos nas respostas do processo, assim como a obtenção de modelos estatísticos não lineares multivariáveis de forma a facilitar a visualização da influência das variáveis (SANTANA, 2011).

Neste sentido, um Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) foi realizado com objetivo de investigar a influência das variáveis de processo na secagem de suco de abacaxi com hortelã. O PCCO com 3 variáveis independentes contou com 8 pontos referentes ao planejamento fatorial completo (2^3) mais 8 pontos adicionais (sendo 2 réplicas no nível central), totalizando 16 ensaios. Os resultados obtidos foram analisados com auxílio do software STATISTICA®. As variáveis independentes estudadas foram: temperatura do ar de secagem (T), vazão de alimentação da solução no secador (V) e vazão do ar de secagem (U).

Na Tabela 3 estão apresentados os níveis utilizados para cada variável. As faixas de estudo foram definidas baseadas na revisão da literatura e em função dos limites do *spray dryer*. Além disso, testes preliminares foram realizados para identificar as faixas de

temperatura, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem, viáveis e de interesse para a operação.

Tabela 3- Valores das variáveis independentes utilizados em cada nível do PCCO.

Variáveis	- α	-1	0	+1	+ α
Temperatura (°C)	85,7	90	105	120	124,3
Vazão de alimentação (L.h ⁻¹)	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
Vazão de ar (m ³ .min ⁻¹)	1,56	1,60	1,75	1,90	1,94

Na Tabela 4 está apresentada a matriz do planejamento experimental, com as condições utilizadas em cada ensaio de secagem (níveis reais e codificados).

Tabela 4- Matriz do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO)

Ensaios	Temperatura (°C) (x_1)	Vazão de Alimentação (L h ⁻¹) (x_2)	Vazão de Ar (m ³ min ⁻¹) (x_3)	x_1	x_2	x_3
1	90	0,4	1,60	-1	-1	-1
2	90	0,4	1,90	-1	-1	1
3	90	0,8	1,60	-1	1	-1
4	90	0,8	1,90	-1	1	1
5	120	0,4	1,60	1	-1	-1
6	120	0,4	1,90	1	-1	1
7	120	0,8	1,60	1	1	-1
8	120	0,8	1,90	1	1	1
9	85,7	0,6	1,75	-1,2871	0	0
10	124,3	0,6	1,75	1,2871	0	0
11	105	0,3	1,75	0	-1,2871	0
12	105	0,9	1,75	0	1,2871	0
13	105	0,6	1,56	0	0	-1,2871
14	105	0,6	1,94	0	0	1,2871
15	105	0,6	1,75	0	0	0
16	105	0,6	1,75	0	0	0

Durante os experimentos de secagem, a vazão de ar comprimido para a atomização foi mantida constante em todos os ensaios, sendo 40 L.min⁻¹, valor recomendado pelo fabricante do *spray dryer*. Também, visando manter as partículas em suspensão (evitando sedimentação), a amostra a ser seca (suco) foi mantida sob agitação magnética. Além disso, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram monitoradas durante todo o processo por meio um termo-higrômetro digital (ITHT 2200, Instrutemp).

Para verificar a existência de diferença significativa entre os ensaios, e os efeitos das variáveis (temperatura, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem), as seguintes respostas foram avaliadas: rendimento, umidade (g água. g⁻¹ sól. secos), atividade de água (a_w), higroscopicidade (%), solubilidade (%) e cor (L*, a* e b*). É importante ressaltar que nesse PCCO, as secagens foram realizadas sem adição de agentes carreadores, devido à viabilidade da secagem mostrada nos testes preliminares sem o uso destes aditivos.

A análise estatística permite quantificar os efeitos de cada variável independente nas respostas estudadas. Desta forma, foi efetuada uma regressão múltipla, obtendo-se os parâmetros relacionados às variáveis isoladas, às interações e aos termos quadráticos. A

Equação 5 foi usada para representar as respostas em função das variáveis independentes estudadas. Os coeficientes da equação de segunda ordem ajustada foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados e a avaliação da correlação feita estatisticamente por meio do quadrado do coeficiente de correlação, com testes de hipótese usando as distribuições F (modelo) e t de *Student* (efeitos) e pela análise de resíduos. Por meio da Equação 5 foi possível obter valores das variáveis independentes (T, V e U) que exploraram as respostas.

$$y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 V + \beta_3 U + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} V^2 + \beta_{33} U^2 + \beta_{12} TV + \beta_{13} TU + \beta_{23} VU \quad (5)$$

Os coeficientes do polinômio estão representados por β_0 (termo constante, média); β_1 , β_2 e β_3 (efeitos de primeira ordem); β_{11} , β_{22} e β_{33} (efeitos de segunda ordem) e β_{12} , β_{13} e β_{23} (interação entre os efeitos). A determinação dos parâmetros significativos da regressão foi realizada por meio de um teste de hipótese utilizando uma t de *Student* com nível de significância de 10%, sendo desconsiderados os parâmetros com nível de significância maior que este valor.

A superfície ajustada (Equação 5) também pode ser escrita na forma matricial, conforme a Equação (6), representando a resposta estudada (\hat{y}) em função das variáveis independentes (x). Pela Equação 6, \underline{b} é a matriz dos parâmetros relacionados às variáveis isoladas e \underline{B} é a matriz dos parâmetros relacionados às interações e aos termos quadráticos.

$$\hat{y} - \mathbf{b}_0 + \underline{x}\underline{b} + \underline{x}\underline{B}\underline{x} \quad (6)$$

na qual:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad \underline{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \quad \underline{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & \frac{b_{12}}{2} & \dots & \frac{b_{k1}}{2} \\ \frac{b_{21}}{2} & b_{22} & \dots & \frac{b_{2k}}{2} \\ \dots & \ddots & \ddots & \dots \\ \frac{b_{k1}}{2} & \frac{b_{k2}}{2} & \dots & b_{kk} \end{bmatrix}$$

As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostram as Equações 7, 8 e 9. Estas variáveis são: x_1 , que se refere à temperatura de

secagem (T); x_2 , que se refere à vazão de alimentação da amostra (V); e, x_3 , que se refere à vazão do ar de secagem (U).

$$x_1 = \frac{T - 105^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C}} \quad (7)$$

$$x_2 = \frac{V - 0,6\text{L.h}^{-1}}{0,2\text{L.h}^{-1}} \quad (8)$$

$$x_3 = \frac{U - 1,75 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}}{0,15 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}} \quad (9)$$

Já o valor da estatística F de Fisher foi usado para a realização de um teste de hipótese para verificação da adequação da equação do modelo ajustado aos dados experimentais. Se o resultado de F calculado for superior ao tabelado, tem-se que o modelo é significativo, considerando um nível de significância de 1%. A hipótese de nulidade (H_0) diz que o modelo não é significativo, enquanto que a hipótese alternativa (H_1) afirma que o modelo é significativo.

4.4 Secagem em *spray dryer* com maltodextrina

Embora os experimentos executados sem adição de agente carreador tenham conduzido à resultados satisfatórios para algumas características do processo e do produto obtidos, realizou-se testes exploratórios com o uso de maltodextrina, buscando melhores resultados. A maltodextrina MOR-Rex® 1910 (10DE) gentilmente doada pela fabricante Ingredion (Mogi Guaçu-SP, Brasil) foi utilizada como agente carreador, que é amplamente utilizado para a secagem de sucos de frutas por *spray drying*. A maltodextrina foi adicionada ao suco de abacaxi com hortelã até a completa dissolução.

O processo de secagem por atomização foi realizado adicionando-se 0, 3, 7 e 15% de maltodextrina e utilizando as condições centrais (temperatura de 105 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m³.min⁻¹) obtidas no planejamento experimental descritas no item 4.3.1, que resultaram em características físico químicas desejáveis para os pós de abacaxi com hortelã como o maior rendimento da secagem e preservação da cor verde. Foram realizadas as seguintes análises físico-químicas: umidade, atividade de água, rendimento, cor, solubilidade higroscópica, microscopia eletrônica de varredura e tempo de molhamento.

4.4.1 Planejamento fatorial para a secagem de suco de abacaxi com hortelã com maltodextrina

Um planejamento fatorial a dois níveis completo foi realizado com objetivo de investigar a influência das variáveis de processo na secagem de suco de abacaxi com hortelã, bem como a influência da maltodextrina (10DE) nas características físicas-químicas dos pós. O planejamento 2^k com 4 variáveis independentes contou com 16 ensaios referentes ao planejamento fatorial completo (2^4). As variáveis independentes estudadas bem como as respostas analisadas são as mesmas descritas no item 4.3, acrescentando a maltodextrina como variável independente do processo. Os níveis de -1 e +1 da maltodextrina corresponderam à 0 e 3%. Na Tabela 5 está apresentada a matriz do planejamento fatorial a dois níveis completo (2^4), com os níveis utilizados em cada ensaio de secagem (níveis reais e codificados).

Tabela 5- Matriz do Planejamento Fatorial com maltodextrina.

Ensaios	Temperatura (°C) (x_1)	Vazão de Alimentação (L.h ⁻¹) (x_2)	Vazão de Ar (m ³ .min ⁻¹) (x_3)	Maltodextrina (%) (x_4)	Maltodextrina			
					x_1	x_2	x_3	x_4
1	90	0,4	1,60	0	-1	-1	-1	-1
2	120	0,4	1,60	0	1	-1	-1	-1
3	90	0,8	1,60	0	-1	1	-1	-1
4	120	0,8	1,60	0	1	1	-1	-1
5	90	0,4	1,90	0	-1	-1	1	-1
6	120	0,4	1,90	0	1	-1	1	-1
7	90	0,8	1,90	0	-1	1	1	-1
8	120	0,8	1,90	0	1	1	1	-1
9	90	0,4	1,60	3	-1	-1	-1	1
10	120	0,4	1,60	3	1	-1	-1	1
11	90	0,8	1,60	3	-1	1	-1	1
12	120	0,8	1,60	3	1	1	-1	1
13	90	0,4	1,90	3	-1	-1	1	1
14	120	0,4	1,90	3	1	-1	1	1
15	90	0,8	1,90	3	-1	1	1	1
16	120	0,8	1,90	3	1	1	1	1

Os resultados foram analisados por meio de regressão múltipla, quantificando os efeitos relacionados às variáveis isoladas e às interações.

4.5 Caracterização físico-química dos pós de abacaxi com hortelã com e sem maltodextrina na formulação

4.5.1 Umidade

A determinação da umidade dos pós de suco de abacaxi foi realizada conforme descrito no item 4.2.1. A umidade do produto em base seca (b.s) é definida pela razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos (GEANKOPLIS, 2003), e pode ser determinada por meio da Equação 10.

$$X_t = \frac{M_s - M_{ss}}{M_s} \quad (10)$$

em que, X_t a umidade do produto em base seca (b.s.), M_s é a massa de sólido úmido (sólido e umidade) e M_{ss} é a massa de sólidos secos.

4.5.2 Atividade de água (a_w)

A determinação da atividade de água das amostras foi realizada conforme apresentado no item 4.2.2.

4.5.3 Cor

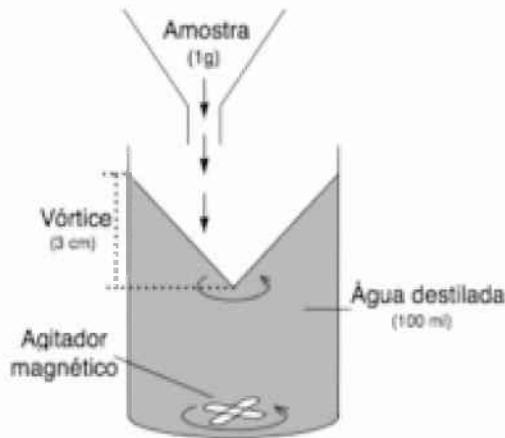
Os parâmetros de cor das amostras em pó foram determinados utilizando-se a metodologia descrita no item 4.2.3.

4.5.4 Solubilidade

A solubilidade dos pós de abacaxi com hortelã foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Dacanal e Menegalli (2010), com algumas modificações. O teste foi baseado na metodologia padrão para medir a dissolução de pó na indústria láctea e consiste na determinação da porcentagem de material não solubilizado após 1 minuto de agitação. O dispositivo utilizado foi composto por um béquer, agitador magnético, funil para inserção da amostra e sistema de filtração, conforme ilustrado na Figura 10. Adicionou-se 100 mL de água destilada (temperatura ambiente), em um béquer. Utilizando-se um agitador magnético, a agitação do líquido foi iniciada mantendo a altura

do vórtice em torno de 30 mm. Com a agitação do líquido estabilizada, adicionou-se cerca de 1 g de amostra através de um funil, mantido a uma altura de 20 mm do vórtice.

Figura 10- Esquema do dispositivo de agitação utilizado no teste de solubilidade.



Fonte: Niro (2005), adaptado por Dacanal; Menegalli (2009).

Imediatamente após a inserção de amostra, iniciou-se a contagem do tempo, utilizando-se um cronômetro. Exatamente após 1 minuto de agitação, a solução foi rapidamente filtrada em um sistema de filtração a vácuo com o auxílio da bomba de vácuo (NOF-650, New Pump) e papel filtro qualitativo previamente pesado. O filtro de papel com o material retido foi seco em estufa à temperatura de 105 °C, por 24 horas. A massa seca de amostra retida no filtro foi determinada e o percentual de solubilidade do pó foi calculado de acordo com a Equação 11.

$$SOL = 100 - \left[\frac{m_2^2}{m_1(1-UBU)} \cdot 100 \right] \quad (11)$$

em que m_1 é a massa inicial das amostras, m_2 é a massa de amostra remanescente no filtro e UBU é a umidade inicial da amostra analisada, em base úmida.

4.5.5 Rendimento do processo de secagem

O rendimento do processo de secagem foi calculado pela razão entre a massa de sólidos do produto em pó coletado e a massa de sólidos alimentados ao secador de acordo com a Equação 12:

$$RS(\%) = \frac{M_{pó}(1-X_{wpó})}{M_{suco}(1-X_{wsuco})} \cdot 100 \quad (12)$$

em que $M_{pó}$ é a massa (g) de pó coletada na base do ciclone após o processo de secagem por atomização em *spray dryer*, M_{suco} a massa (g) alimentada no *spray dryer*, $X_{w,pó}$ e $X_{w,suco}$ são as frações de umidade do pó e do suco em base úmida, respectivamente.

4.5.6 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, baseadas no estudo de Tonon e colaboradores (2011) e descritas na sequência. Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e calculada conforme apresentado na Equação 13.

$$H = \frac{m_i}{x} \cdot 100 \quad (13)$$

em que: H representa a higroscopicidade ($\text{g de água absorvida} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de sólidos); m_i é a massa inicial da amostra (g); x é a massa de umidade absorvida (g).

4.5.7 Isotermas de Sorção

Determinou-se as isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã com e sem maltodextrina, como um indicativo da estabilidade desses produtos. As isotermas de sorção foram determinadas por meio do método gravimétrico estático. Oito soluções salinas saturadas foram preparadas para fornecer valores de umidade relativa de 11,3%, 32,8%, 52,9%, 65,4%, 68,9%, 75,3%, 84,3% e 90,3%, LiCl, MgCl₂, Mg(NO₃)₂, NaNO₂, KI, NaCl, KCl e BaCl₂ respectivamente, na temperatura de 25 °C em câmara B.O. D. (Q315M26, Quimis, Brasil) (GREENSPAN, 1977). Amostras de aproximadamente 1 g de abacaxi com hortelã em pó foram pesadas em cápsulas de plástico em balança analítica e acondicionadas em potes herméticos com as respectivas

soluções salinas para cada valor de umidade relativa desejada, a 25 °C, em intervalos regulares até atingirem o equilíbrio.

Depois de atingido o equilíbrio, a umidade foi determinada por método gravimétrico, conforme descrito anteriormente no item 4.5.1. A umidade de equilíbrio das amostras foi calculada somando-se a quantidade de água adsorvida à umidade inicial de cada amostra. Os modelos de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), Equação 14, e BET (Brunauer, Emmett e Teller), Equação 15, foram ajustados aos dados de sorção de amostras de pó de abacaxi com hortelã (com e sem maltodextrina).

$$\text{GAB} \quad X = \frac{X_m C K a_w}{[(1 - K a_w) * (1 - K a_w + C K a_w)]} \quad (14)$$

$$\text{BET} \quad X = \frac{X_m C a_w}{[(1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w)]} \quad (15)$$

em que X é a umidade (b.s.), X_m é a umidade na monocamada (b.s.), C e K são parâmetros relacionados aos modelos. Estes parâmetros foram estimados por regressão não linear utilizando o software MATLAB (2017b). A adequação do modelo aos dados experimentais foi avaliada utilizando-se o quadrado do coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio quadrático (RMSE).

4.5.8 Microscopia Eletrônica de Varredura

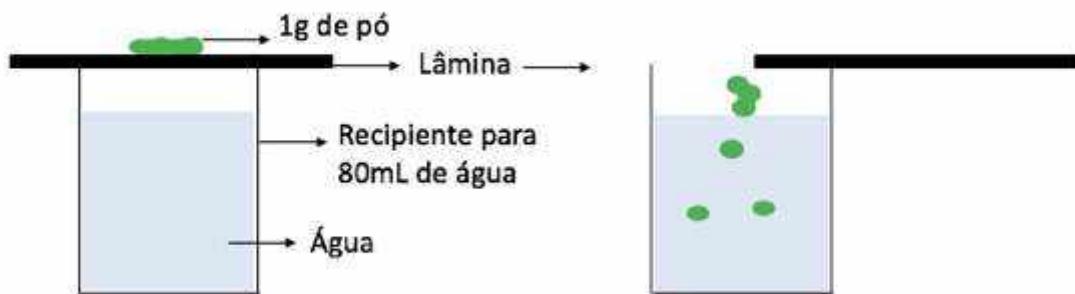
As microscopias das amostras de pó de abacaxi com hortelã (com e sem maltodextrina) foram realizadas utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (Modelo EVO MA 10, ZEISS) disponível na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI - UFU).

4.5.9 Tempo de Molhamento

Determinou-se o tempo de instantaneização, ou tempo de molhamento, que consiste no tempo necessário para que uma amostra de pó fique completamente submersa após ter sido colocada sobre a superfície de um líquido. O tempo de molhamento foi avaliado e adaptado de acordo com o método descrito por Dacanal e Menegalli (2010) e consistiu na queda de 1 g de pó sobre 50mL de água destilada a 25 °C, em um recipiente

de 80mL. Foi utilizado um cronômetro para a medição do tempo necessário para que todas as partículas molhassem.

Figura 11- Esquema do dispositivo utilizado para determinar o tempo de molhamento.



Fonte: Arquivo pessoal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química do suco de abacaxi com hortelã *in natura* após a diluição da polpa em água.

As características físico-químicas do suco de abacaxi com hortelã *in natura* após a diluição da polpa em água, foram analisadas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Caracterização do suco *in natura* de abacaxi com hortelã

Componente	Média ± Erro padrão
Umidade (% b.u)	91,937±0,025
Atividade de água	0,953±0,008
(L*)	34,58±0,070
(a*)	-2,31±0,046
(b*)	6,65±0,102
pH	3,70±0,021
Sólidos Solúveis (^o Brix)	8,1±0,002
Acidez (g ac cítrico.100g ⁻¹ produto)	0,277 ± 0,046

A umidade do suco de abacaxi com hortelã *in natura* apresentou valor elevado, correspondente a 91,93%. Ponciano (2017) obteve resultado semelhante, 92% de umidade para o suco de abacaxi com hortelã *in natura*.

O suco apresentou atividade de água de 0,953, valor elevado levando-se em conta que a atividade de água varia de 0 a 1. Schaidt (2018) encontrou um valor de 0,990 de atividade de água para polpa de abacaxi. Esse elevado valor de atividade de água é um fator decisivo para a busca de métodos para conservação desse produto, como a secagem.

O suco apresentou tendência à cor amarela esverdeada uma vez que apresentou valores de b* de 6,65. Também apresentou luminosidade (L*) relativamente baixa, levando-se em conta a escala de (0 a 100). Se tratando de um suco *in natura*, a água pode estar ligada aos solutos presentes no abacaxi com a hortelã, explicando a tendência à menor luminosidade (FERRARI et al., 2012). A cor amarela é devida ao abacaxi, que naturalmente apresenta essa coloração devido à presença de carotenoides (pigmentos responsáveis pela cor amarela) (FERREIRA et al., 2016). O valor encontrado para o parâmetro a* do suco *in natura* foi de -2,31, que indica a prevalência da cor verde, o que era esperado, uma vez que é a cor predominante do suco de abacaxi com hortelã,

principalmente devido à adição da hortelã. Além disso, esse produto não passou por nenhum tipo de tratamento térmico, o que consequentemente, proporcionou a preservação da cor verde, naturalmente presente em vegetais verdes folhosos.

Para Franco e Landgraf (2008), alimentos com pH, entre 3,7 e 4,5 são considerados ácidos. Portanto, o suco de abacaxi com hortelã se enquadra nessa categoria, com valor de 3,70, e a acidez titulável do suco de abacaxi com hortelã foi de 0,277 g ácido cítrico. 100 g^{-1} produto. O conteúdo de sólidos solúveis obtido foi de 8,1°Brix, valor próximo ao encontrado por Cunha e colaboradores (2014), que ao estudarem a estabilidade do ácido ascórbico em suco de fruta frescas, encontrou o valor de sólidos correspondente à 8,3 °Brix para o suco de abacaxi com hortelã.

5.2 Resultados do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) para a secagem de suco de abacaxi com hortelã sem a adição de maltodextrina.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos dos experimentos do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO), para a secagem por *spray drying* de suco de abacaxi com hortelã sem agentes carreadores, levando em conta as seguintes respostas: rendimento, umidade (g água. g^{-1} sólidos secos) atividade de água (a_w) higroscopidade (%), solubilidade (%) e cor (L^* , a^* e b^*).

Tabela 7- Valores das respostas obtidas na produção de pós de abacaxi com hortelã obtidos no (PCCO) na secagem por *spray drying*.

Ensaio	Planejamento Experimental			Respostas								
	T	V	U	R	Umi	a _w	H	S	Cor			
									L*	a*	b*	
1	90 (-1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	34,41	0,117±0,000	0,203±0,002	29,38±0,309	98,27±0,182	38,68±0,883	-1,95±0,030	10,57±0,090	
2	90 (-1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	29,35	0,130±0,000	0,211±0,008	31,59±1,275	99,69±0,158	45,22±0,724	-1,67±0,066	10,08±0,105	
3	90 (-1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	20,70	0,135±0,002	0,273±0,004	30,03±0,857	99,10±0,179	32,70±0,576	-2,93±0,043	12,18±0,045	
4	90 (-1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	20,72	0,128±0,002	0,250±0,003	25,14±0,566	98,61±0,487	35,38±0,677	-2,61±0,030	12,71±0,355	
5	120 (+1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	13,38	0,121±0,000	0,219±0,004	25,92±0,274	98,61±0,487	30,64±1,313	4,52±0,080	12,38±0,138	
6	120 (+1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	19,15	0,115±0,001	0,203±0,002	35,80±0,243	95,51±1,279	29,06±0,041	1,26±0,006	10,25±0,011	
7	120 (+1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	17,20	0,097±0,000	0,213±0,002	28,75±0,237	98,60±0,253	30,20±0,892	2,57±0,104	12,62±0,150	
8	120 (+1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	27,79	0,089±0,000	0,239±0,014	32,05±0,016	98,28±0,333	35,36±0,488	-1,00±0,015	11,15±0,343	
9	85,7(-1,287)	0,6 (0)	1,75 (0)	19,40	0,306±0,011	0,303±0,007	33,17±0,705	98,29±0,125	33,17±0,049	-2,34±0,026	13,23±0,023	
10	124,3(+1,287)	0,6 (0)	1,75 (0)	25,78	0,094±0,000	0,192±0,003	33,87±0,181	98,35±0,623	35,33±0,133	-0,48±0,010	10,40±0,005	
11	105 (0)	0,3 (-1,287)	1,75 (0)	33,43	0,090±0,002	0,181±0,006	33,14±0,166	98,90±0,039	34,46±0,348	0,05±0,036	10,32±0,150	
12	105 (0)	0,9 (+1,287)	1,75 (0)	18,36	0,135±0,000	0,253±0,005	27,33±0,781	98,24±0,510	37,61±0,011	-2,44±0,015	13,00±0,005	
13	105 (0)	0,6 (0)	1,56 (-1,287)	32,47	0,115±0,000	0,196±0,004	33,55±0,580	98,92±0,752	35,38±0,225	-2,47±0,037	10,87±0,060	
14	105 (0)	0,6 (0)	1,94 (+1,287)	28,45	0,071±0,008	0,205±0,003	37,81±0,630	99,01±0,258	37,92±0,026	-1,71±0,005	10,37±0,000	
15	105 (0)	0,6 (0)	1,75 (0)	35,21	0,183±0,003	0,210±0,006	31,91±1,190	99,33±0,318	33,23±0,807	-2,10±0,101	10,50±0,376	
16	105 (0)	0,6 (0)	1,75 (0)	35,27	0,185±0,003	0,210±0,003	31,37±1,618	99,61±0,025	34,07±0,356	-2,06±0,020	10,92±0,340	

Em que T é a temperatura (°C), V é a vazão e alimentação da amostra (L.h⁻¹), U é a vazão do ar de secagem (m³.min⁻¹), R o rendimento (%), Umi é a umidade (g água.g⁻¹ sólidos secos), a_w a atividade de água , H a higroscopicidade (%) e S a solubilidade dos pós (%). Os termos em negrito correspondem aos maiores e menores valores das respostas obtidas.

Rendimento

O maior rendimento de pó de suco de abacaxi com hortelã observado foi de 35%, enquanto o menor rendimento foi de 13%. De acordo com Wang; Langrish (2009), a quantidade de material que fica depositado no interior do secador, afeta diretamente o rendimento de um processo de *spray drying*. Na Figura 12 está apresentada uma fotografia do interior da câmara de secagem, evidenciando o depósito de material nas paredes do secador, problema ocorrido em todos os ensaios experimentais (em maior ou menor intensidade, a depender das condições experimentais) e que resulta na redução do rendimento.

Figura 12- Fotografia do interior da câmara de secagem no ensaio 5.



Fonte: Arquivo pessoal.

Como observado por meio da Figura 12, a câmara de secagem utilizada no planejamento foi em escala laboratorial, geralmente esse tipo de câmara é pequena e possui pouca capacidade evaporativa (cerca de 1 L.h^{-1}). Suas dimensões não garantem que as partículas estejam totalmente secas ao colidir nas paredes do secador, ocasionando depósito de material molhado, afetando consideravelmente o rendimento da secagem (TRUONG et al., 2005, TADINI et al., 2016). Além disso os sucos de fruta em geral apresentam uma baixa T_g devido à presença de açúcares e ácidos de baixo peso molecular, resultando em pós com aspecto pegajoso que podem ficar aderidos às

paredes do secador, ocasionando o baixo rendimento. É importante salientar também que o cálculo de rendimento para esse tipo de processo é bastante relativo, uma vez que esse *spray dryer* operou em regime descontínuo (ou batelada), mas que em processos contínuos após perdas iniciais por aderência a câmara de secagem o processo tende a ter maiores rendimento por entrar em um estado estacionário.

Machado (2010) investigou a secagem de polpa de tomate. A autora relatou rendimento médio baixo, de cerca de 23%, mesmo com adição do agente carreador (5 e 10% de maltodextrina) e atribuiu esse fator à quantidade de material que ficou depositado no interior do secador.

Para avaliar a influência das variáveis independentes analisadas (temperatura, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem) no rendimento dos pós de abacaxi com hortelã foi realizada regressão múltipla, sendo que foram desconsiderados os parâmetros que apresentaram nível de significância maior que 10 %, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os resultados com os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8- Coeficientes de regressão e nível significância estatística (valor de p) dos fatores significativos do modelo para rendimento.

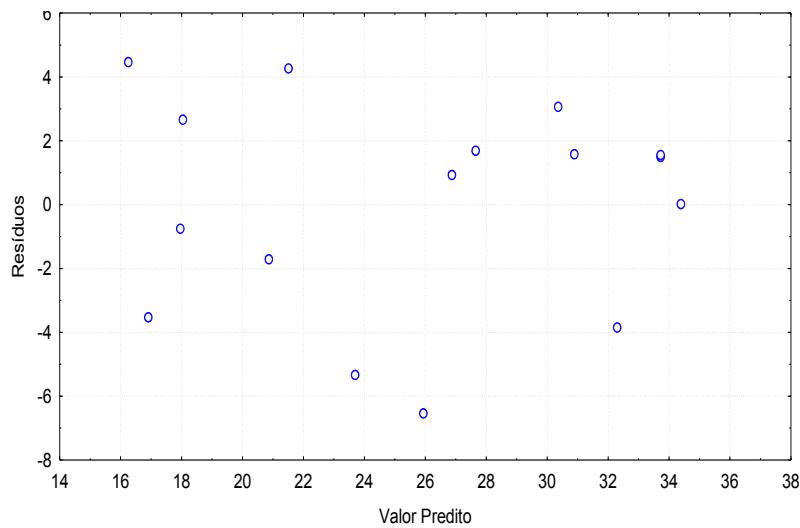
Fator	Coeficiente de Regressão	Valor de p
Média	29,958	0,000
$T \times T$	-6,032	0,031
$T \times V$	4,351	0,056

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de secagem e V à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,4394, mostrando que o modelo empírico explicou apenas 43,94% da variabilidade dos dados observados de rendimento.

Na Figura 13 está apresentada a análise de resíduos para o ajuste do rendimento, a fim de verificar a possível causa da falta de ajuste.

Figura 13- Resíduos em função dos valores preditos pelo modelo ajustado para o rendimento.



Para que o modelo seja válido e adequado para representar o fenômeno, os resíduos da regressão devem ser aleatórios e normalmente distribuídos em torno de uma média igual a zero e com variância constante. Analisando os resíduos da regressão para o rendimento (Figura 13) visualiza-se que os mesmos estão aleatoriamente distribuídos e com variância constante, com exceção de um ponto, com valor do resíduo menor que "-6". Este maior valor (em módulo) de resíduo em relação à faixa em que os demais se encontram é refletido em um quadrado do coeficiente de correlação da regressão baixo. Esse ensaio, corresponde ao experimento 9. Neste experimento a variável temperatura está no nível “- α ” ($85,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), que resultou em elevados valores de umidade e atividade de água, de $0,3057\text{ g água. g}^{-1}$ sólidos secos e $0,303$, respectivamente. Neste caso, a secagem pode não ter sido eficiente, pois a temperatura pode não ter sido suficiente para que a água fosse evaporada, ocasionando menor transferência de calor e massa e maior umidade e atividade de água.

Grassi e colaboradores (2016) ao estudarem a secagem de claras de ovo por atomização observaram que a desidratação de claras de ovos a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentou menor remoção de umidade e causou aderência do produto final na câmara de secagem, resultando em menor rendimento.

Na Figura 14 está apresentada a fotografia do interior do coletor no ensaio 9, cujos parâmetros são: temperatura de secagem $85,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, vazão de alimentação $0,6\text{ L.h}^{-1}$ e vazão de ar $1,75\text{ m}^3.\text{min}^{-1}$.

Figura 14- Fotografia do pó aderido no interior do frasco coletor, ensaio 9.



Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 14 evidencia a aderência do pó no coletor do ensaio 9, que ocorreu, provavelmente, devido à elevada umidade e atividade de água, que dificultaram a obtenção e retirada do pó do interior do coletor, ocasionando o baixo rendimento do processo. Assim, pela análise residual, eliminou-se o ensaio 9, e realizou-se novamente a regressão múltipla, desconsiderando os termos não significativos ($p > 0,10$). O valor de R^2 foi de 0,8851, indicando melhor ajuste do modelo. Observa-se que 88,51% da variação dos dados foram explicados pelo modelo, e não apenas 43,94% conforme tratamento de dados inicial, considerando o ensaio 9. Além disso, o valor de F de Fisher calculado correspondente a 7,704 foi superior ao tabelado de 6,993 considerando um nível de significância de 1%. Os resultados do teste F mostraram que pode-se rejeitar H_0 no nível de significância de 1 %, ou seja, tem-se uma confiança de 99% que o modelo é significativo.

Na Tabela 9 estão mostrados os novos fatores significativos encontrados, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 9- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para rendimento, após retirar o ensaio 9.

Fator	Coeficiente de Regressão	Valor de p
Média	35,517	0,000
T	-3,391	0,026
V	-2,586	0,042
$T \times T$	-3,488	0,087
$V \times V$	-5,929	0,008
$U \times U$	-3,175	0,095
$T \times V$	4,351	0,010
$T \times U$	2,674	0,068

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$), V à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}) e U representa a vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Sendo assim, a forma matricial da superfície ajustada (por meio da metodologia de superfície de resposta) da resposta investigada (\hat{y}) em função das variáveis independentes (x), é mostrada na Equação 16, para o rendimento (\hat{y}_1). A equação empírica foi obtida por regressão múltipla para representar a variação do rendimento do pó resultante do processo de secagem de abacaxi com hortelã. As variáveis independentes em função da Equação 16 foram a temperatura de secagem, vazão de alimentação da amostra e vazão de ar de secagem. Tem-se que \underline{b} é a matriz dos parâmetros relacionados às variáveis isoladas e $\underline{\beta}$ é a matriz dos parâmetros relacionados às interações e aos termos quadráticos.

$$\hat{y}_1 = 35,52 + \underline{b}_1 + \underline{x} \underline{B}_1 \underline{x} \quad (16)$$

na qual:

$$\underline{b}_1 = \begin{pmatrix} -3,39 \\ 2,58 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ e } \underline{B}_1 = \begin{pmatrix} -3,50 & 2,18 & 1,34 \\ 2,28 & 5,92 & 0 \\ 1,34 & 0 & -3,17 \end{pmatrix} \underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

No que diz respeito à análise dos parâmetros da equação de regressão, nota-se que todas as demais variáveis influenciaram o rendimento, seja através dos parâmetros relacionados às variáveis isoladas, ou às suas interações, ou ainda aos termos quadráticos. Apenas a vazão do ar de secagem de forma isolada não foi significativa, o que pode ser explicado pela pequena faixa de variação ($-\alpha$) e ($+\alpha$) utilizada no planejamento composto central (PCCO), que correspondem à $1,60$ e $1,90 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Em

testes preliminares não foi possível realizar a secagem com vazões de ar inferiores a $1,60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, além disso, o equipamento suporta uma vazão máxima de $1,95 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Apesar de não ser significativa de forma isolada, a vazão do ar de secagem em interação com a temperatura e vazão de alimentação apresentou efeito significativo ($p \leq 0,10$).

Para facilitar a visualização do efeito das variáveis sobre o rendimento do pó resultante do processo de secagem de abacaxi com hortelã, superfícies de resposta foram construídas a partir da equação de regressão e são mostradas nas Figuras 15, 16 e 17. Em todas as superfícies apresentadas as demais variáveis encontram-se no nível zero em sua forma codificada. Estas figuras foram obtidas a partir da equação de regressão (Equação 16).

Figura 15- Superfície de resposta para o rendimento em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem.

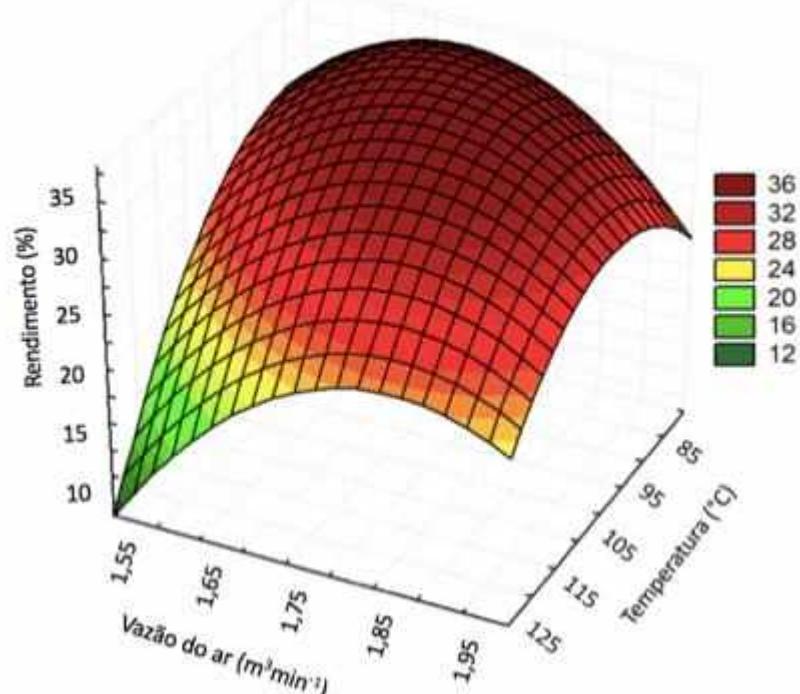


Figura 16- Superfície de resposta para o rendimento em função da vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem.

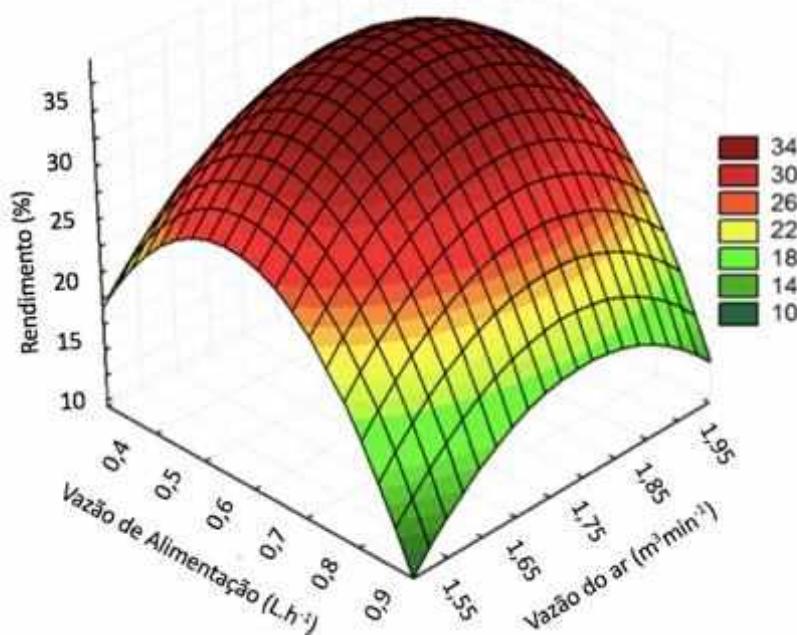
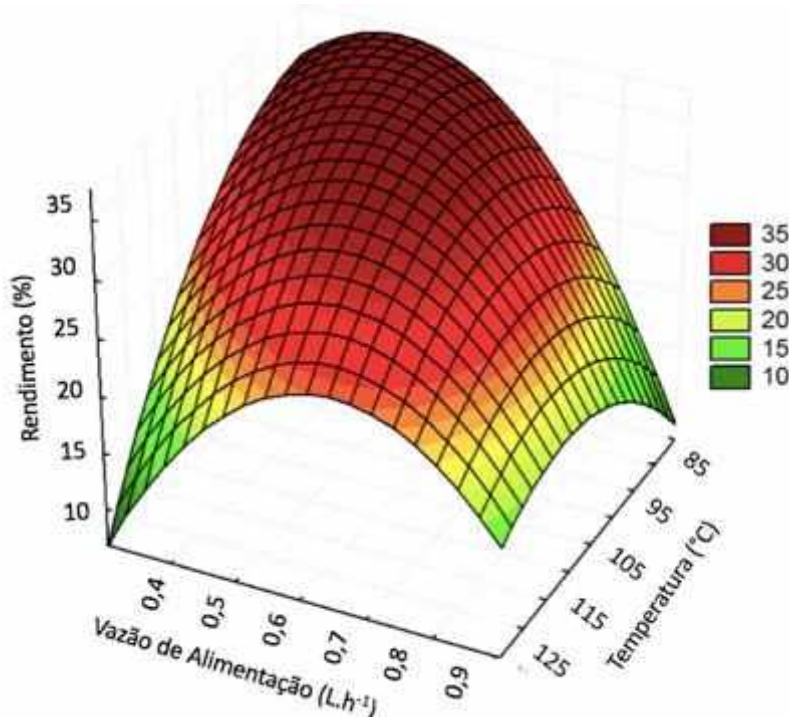


Figura 17- Superfície de resposta para o rendimento em função da temperatura e vazão de alimentação da amostra.



Por meio das Figuras 15, 16 e 17 é possível notar que os experimentos realizados com as variáveis em seus níveis centrais, em que os parâmetros independentes estudados correspondem à vazão de alimentação da amostra de $0,6 L.h^{-1}$,

temperatura de secagem de 105 °C e vazão do ar de secagem de $1,75 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$, tenderam ao maior rendimento do planejamento experimental com valores de 35% (ensaios 15 e 16). Muitos trabalhos na literatura como a secagem por *spray drying* de açaí (TONON et al., 2011), tamarindo (MUZAFFAR e KUMAR, 2016) e romã (JAFARI et al., 2017) resultaram em rendimentos inferiores a este mesmo com a utilização de agentes carreadores.

Temperaturas inferiores a 105 °C podem não ser suficientes para que ocorra o processo de secagem, resultando em uma menor taxa de transferência de calor, aderência do pó no coletor e baixo rendimento (Figura 14), já temperaturas superiores a esta podem diminuir e/ou eliminar compostos sensíveis ao calor, produzir pós com aspecto ‘queimado’ e provocar aderência dos pós nas paredes da câmara de secagem, ocasionando também baixo rendimento no processo de secagem. Do mesmo modo, maiores vazões de alimentação (superiores a $0,6 \text{ L.h}^{-1}$) produzem gotículas de maior tamanho, o que pode contribuir para que não se tenha um tempo adequado de interação entre as gotículas e o ar quente. Um menor tempo de contato faz com que as transferências de calor e massa sejam menos eficientes, reduzindo a evaporação de água e, consequentemente, mantendo a umidade e a atividade de água do produto final também elevada. Esse fato contribui para a obtenção do baixo rendimento na secagem e grande aderência do produto nas paredes do secador. Já uma vazão de alimentação mais baixa produz gotículas de tamanho reduzido e aumenta a superfície de contato com o ar, por outro lado demanda maior tempo e baixo rendimento. Já a baixa vazão do ar de secagem (inferior a $1,75 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$) pode não fornecer energia suficiente para a evaporação da água, visto que a energia necessária para a evaporação da água depende do fornecimento de ar para a câmara de secagem. A vazão de ar de secagem superior a esta, pode fazer com que a corrente de ar passe muito rapidamente pelas gotículas, podendo fazer com que o contato não seja suficiente para resultar em um produto seco. Goula e Adamopoulos (2010) afirmam que o tempo de secagem contribui para a maior evaporação da água. Esse conjunto de fatores pode ter contribuído para que a combinação com experimento no nível central, resultassem em pós com maior rendimento.

Umidade e atividade de água

A umidade do suco de abacaxi com hortelã em pó variou de 0,07 até 0,30 g água. g⁻¹ sólidos secos. Por meio dos resultados obtidos, observa-se que a temperatura exerceu influência na umidade dos pós, ou seja, temperaturas mais elevadas resultam em um produto mais seco devido à maior taxa de transferência de calor. De acordo com Geankoplis (2003), o uso de temperaturas mais altas implica em maior gradiente de temperaturas entre o produto atomizado e o ar de secagem, o que proporciona uma maior força motriz para a evaporação da água contida na solução, obtendo-se pós com umidade reduzida e, consequentemente, com menor atividade de água. No entanto, altas temperaturas podem conduzir a uma degradação das propriedades do alimento e causar formação instantânea de crosta na superfície da partícula, dificultando a evaporação da água. Sendo assim, a escolha da temperatura de secagem é um fator importante no processo de secagem por atomização (TONTUL; TOPUZ, 2017). A temperatura de 105 °C é interessante nesse processo, uma vez que resultou em pós com umidade reduzida e com a preservação de propriedades como a cor verde do suco de abacaxi com hortelã.

Souza e colaboradores (2015) ao estudarem o feito da secagem por atomização nas propriedades físico-químicas de pós obtidos a partir de subprodutos da vinificação da uva Bordo (*Vitis labrusca*) observaram uma diminuição na umidade com o aumento da temperatura do ar de secagem. Para os autores isso ocorreu devido às altas temperaturas utilizadas, o que levou a uma maior energia transferida para a mistura e à evaporação de maiores quantidades de água.

Como esperado, levando-se em conta a baixa umidade obtida nos ensaios, os pós também apresentaram baixa atividade de água, com valor máximo de 0,303±0,007, o que favorece consideravelmente sua estabilidade. De acordo com Fennema (1996) e Ross (2005) o poder de aglomeração de alimentos em pó aumenta em valores de atividade de água acima de 0,4, e baixos valores impedem e/ou retardam a multiplicação de microrganismos. Os resultados mostraram que os valores de atividade de água encontrados foram satisfatórios pois encontram-se abaixo de 0,4.

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros estimados por regressão múltipla para representar a variação da atividade de água para os pós obtidos na secagem do suco de abacaxi com hortelã em função das variáveis independentes, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 10- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para atividade de água.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Estatística (p)
Média	0,208	0,000
T	-0,018	0,058
V	0,025	0,037
$T \times T$	0,020	0,008

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e V à vazão de alimentação da amostra ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$).

Para equação da atividade de água foi encontrado um valor de 0,6781 para o quadrado do coeficiente de correlação da regressão, indicando que o modelo empírico ajustado explicou apenas 67,81% da variabilidade dos dados observados. Por outro lado, o valor de F de Fisher calculado correspondente a 8,428 foi superior ao tabelado de 5,953 considerando um nível de significância de 1%. Os resultados do teste F mostraram que pode-se rejeitar H_0 no nível de significância de 1%, ou seja, tem-se uma confiança de 99% que o modelo é significativo.

Por meio dos efeitos estimados (o efeito é o dobro do valor do parâmetro), observa-se a diminuição da atividade de água em temperaturas elevadas e baixas vazões de alimentação da amostra, pois os sinais dos efeitos mostraram que na faixa experimental estudada, a atividade de água tendeu a diminuir com o aumento da temperatura (sinal negativo deste efeito) e com a redução na vazão de alimentação da amostra a ser seca (sinal positivo deste efeito). Sabe-se que quanto menor a vazão de alimentação da amostra, dada uma vazão de ar comprimido constante, menor é a quantidade de solução a ser atomizada, e consequentemente, menor o tamanho das gotículas formadas na secagem por atomização, resultando assim, em uma maior área superficial de contato com o ar quente. Devido a esse fato, a taxa de transferência de calor e massa foi aumentada, e dessa forma, há uma maior quantidade de água evaporada, proporcionando a obtenção de pós de abacaxi com hortelã mais secos, ou seja, com menores umidade e atividade de água.

Butzge (2016) relata que uma menor vazão de alimentação mantém as condições internas do processo de secagem sem saturação de umidade, o que facilita a movimentação das partículas internamente, enquanto que a maior temperatura aumenta a cinética da secagem. Segundo Gharsallaoui e colaboradores (2012) sob condições constantes de secagem por atomização, o conteúdo de umidade e a

atividade de água do pó são predominantemente uma função das propriedades da solução de alimentação.

Tontul e Topuz (2017) ao revisarem trabalhos na literatura também observaram que a atividade de água do pó de pitaia seco por atomização diminuiu com o aumento da temperatura de secagem (BAKAR et al., 2013), e resultados semelhantes foram obtidos na secagem por atomização de açaí (TONON et al., 2011), jambo (SANTHALAKSHMY et al., 2015), amla (MISHRA et al., 2014) e romã (JAFARI et al., 2017).

Higroscopideade

Em se tratando de alimentos desidratados, a higroscopideade é uma propriedade muito importante, pois ela está relacionada à estabilidade química, física, microbiológica do produto, além de influenciar consideravelmente a demanda de embalagens devido ao poder de auto aglomeração, principalmente de produtos desidratados em pó (PEDRO, 2009).

De acordo com o Instituto Gea (2003), são considerados não higroscópicos os produtos que apresentam uma porcentagem menor que 10% de higroscopideade, fator interessante para as indústrias de alimentos e consumidores, uma vez que a baixa higroscopideade permite a maior conservação do produto durante o armazenamento.

A faixa de higroscopideade encontrada para o pó de suco de abacaxi com hortelã foi de aproximadamente 25 a 37%. Pela classificação do Instituto Gea (2003) esses pós de suco de abacaxi com hortelã poderiam ser categorizados como higroscópicos. Provavelmente essa elevada higroscopideade é devida à presença de açúcares (sacarose, frutose e glicose) no suco de abacaxi com hortelã, os quais possuem baixa Tg e contribuem para o maior poder de adsorção dos pós obtidos na secagem por atomização. O uso de agentes carreadores como a maltodextrina pode contribuir para reduzir a higroscopideade dos pós, pelo fato de elevar a Tg da solução (BHANDARI, 2007).

Na Tabela 11 estão apresentados os parâmetros estimados por regressão múltipla para representar a variação da higroscopideade dos pós obtidos na secagem do suco de abacaxi com hortelã em função das variáveis independentes, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 11- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para higroscopicidade.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Estatística (p)
Média	33,269	0,000
V	-1,256	0,058
U	1,414	0,037
$V \times V$	-2,783	0,008
$T \times U$	1,983	0,017
$V \times U$	-1,706	0,034

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$), V à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}) e U é a vazão do ar de secagem ($\text{m}^3.\text{min}^{-1}$).

Para equação da higroscopicidade foi encontrado um quadrado do coeficiente de correlação da regressão de 0,7795, indicando que o modelo empírico ajustado explicou 77,95% da variabilidade dos dados observados. Os resíduos foram aleatórios e normalmente distribuídos, com variância constante. O valor de F de Fisher calculado correspondente a 7,071 foi superior ao tabelado de 5,838 considerando um nível de significância de 1%. Os resultados do teste F mostraram que pode-se rejeitar H_0 no nível de significância de 1%, ou seja, tem-se uma confiança de 99% que o modelo é significativo. Com relação à análise dos parâmetros das equações de regressão, observa-se que todas as variáveis influenciaram individualmente e/ou por meio de interação e/ou com o termo quadrático, de forma estatisticamente significativa na higroscopicidade, considerando 10% de nível de significância.

O modelo empírico proposto para representar a higroscopicidade (\hat{y}_2) do pó resultante do processo de secagem de suco de abacaxi com hortelã, dentro dos limites de T , V e U estudados, foi descrito na forma matricial pela Equação 17:

$$\hat{y}_2 = 33,36 + \underline{x}' \underline{b}_2 \underline{x} + \underline{x}' \underline{B}_2 \underline{x} \quad (17)$$

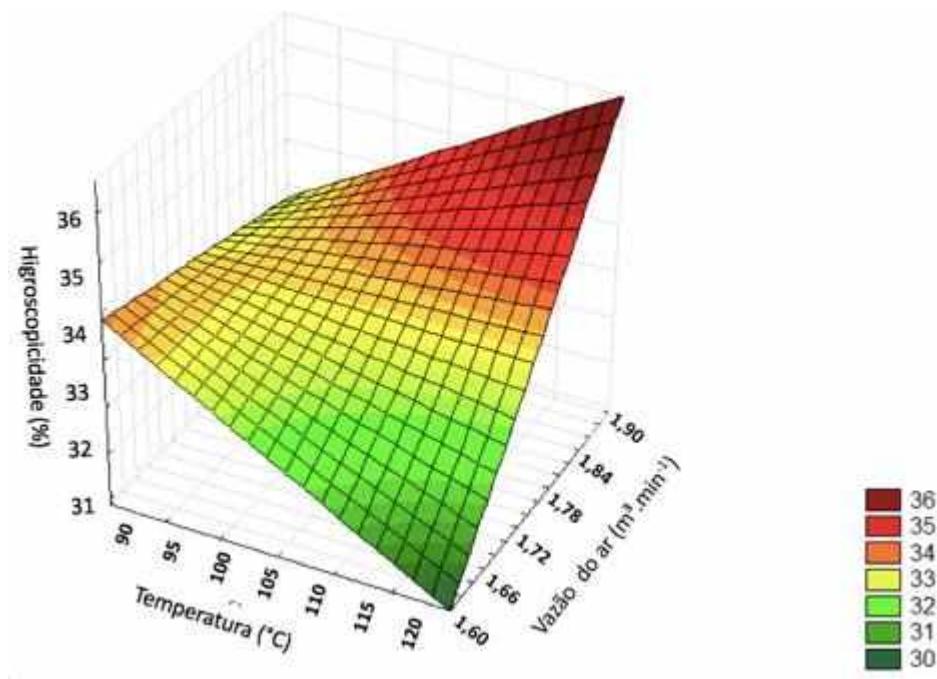
na qual:

$$\underline{b}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1,26 \\ 1,41 \end{pmatrix} \text{ e } \underline{B}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0,99 \\ 0 & 2,78 & 0,85 \\ 0,99 & 0,85 & 0 \end{pmatrix} \underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

Como suporte na interpretação dos dados experimentais, construiu-se superfícies de resposta (Figuras 18 e 19), permitindo deste modo, melhor visualização do efeito das variáveis estudadas na higroscopicidade do pó obtido. Na Figura 18 está apresentada a

superfície de resposta sobre a influência da temperatura e da vazão do ar de secagem na higroscopicidade dos pós obtidos pelo processo de secagem por atomização.

Figura 18- Superfície de resposta para higroscopicidade em função da temperatura e vazão do ar de secagem.



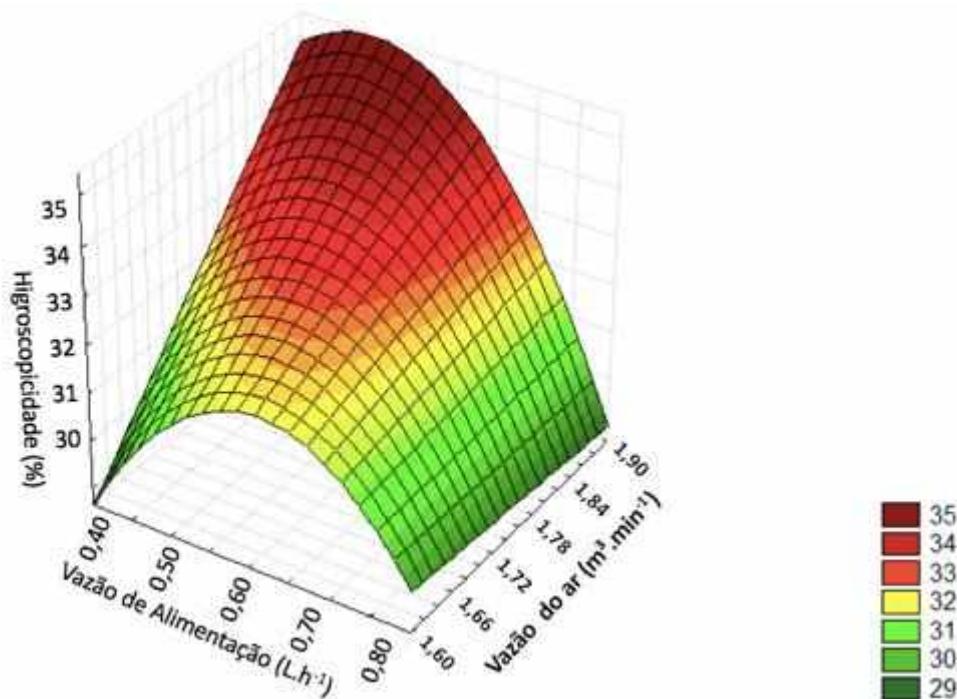
Na Figura 18 percebe-se que para maiores níveis de temperatura associados à maior vazão do ar de secagem, obteve-se uma tendência de obtenção de pós mais higroscópicos. Para temperaturas mais baixas, a variação da vazão do ar de secagem apresentou um menor efeito na higroscopicidade. O pó se mostrou menos higroscópico com a combinação de uma maior temperatura e uma menor vazão do ar de secagem. De acordo com Tonon e colaboradores (2011) pós com umidade mais baixa tendem a ser mais higroscópicos, o que pode ocorrer devido ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente. A adsorção de umidade (higroscopicidade) é um dos fatores que mais afetam a estabilidade do pó, uma vez que pequena quantidade de água é suficiente para diminuir a T_g e consequentemente, aumentar a mobilidade da matriz durante a estocagem dos produtos (BHANDARI; HARTEL, 2005).

Nota-se ainda que, para maiores vazões de ar de secagem a higroscopicidade tendeu a aumentar com o aumento da temperatura e que para baixas vazões do ar de secagem o comportamento foi o contrário, ou seja, o pó seco se tornou mais higroscópico incrementando a temperatura. Shishir e Chen (2017) afirmaram que vazão do ar de secagem mais alta implica em um maior fornecimento de ar durante a secagem,

e a maior quantidade de ar em contato com as gotículas atomizadas pode contribuir para a evaporação da água e obtenção de pós com umidade reduzida, que tendem a ser mais higroscópicos. Para amenizar esse tipo de inconveniente é comum a adição de agentes carreadores como a maltodextrina no processo de secagem, pois estes possuem menor quantidade de grupamentos hidrofílicos em sua estrutura química, fazendo com que seja reduzida a capacidade de adsorção de produtos em pó como o abacaxi com hortelã.

Já na superfície de resposta apresentada na Figura 19, observa-se a variação na higroscopicidade dos pós obtidos pelo processo de secagem por atomização em função da vazão de alimentação da amostra e da vazão de ar de secagem, para 105 °C de temperatura (nível central).

Figura 19- Superfície de resposta para higroscopicidade em função da vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem.



Verificou-se por meio da Figura 19 que para baixas vazões de alimentação da solução, o aumento da vazão do ar de secagem conduziu a uma maior higroscopicidade, sendo que para altas vazões de alimentação, independentemente da vazão do ar de secagem, o pó foi sempre menos higroscópico. De acordo com Topuz e Tontul (2017) o aumento da vazão de alimentação da amostra contribui para a menor higroscopicidade dos pós e isso pode estar relacionado com o fato de que uma maior vazão de alimentação resultar em menor superfície de contato com as gotículas atomizadas e um

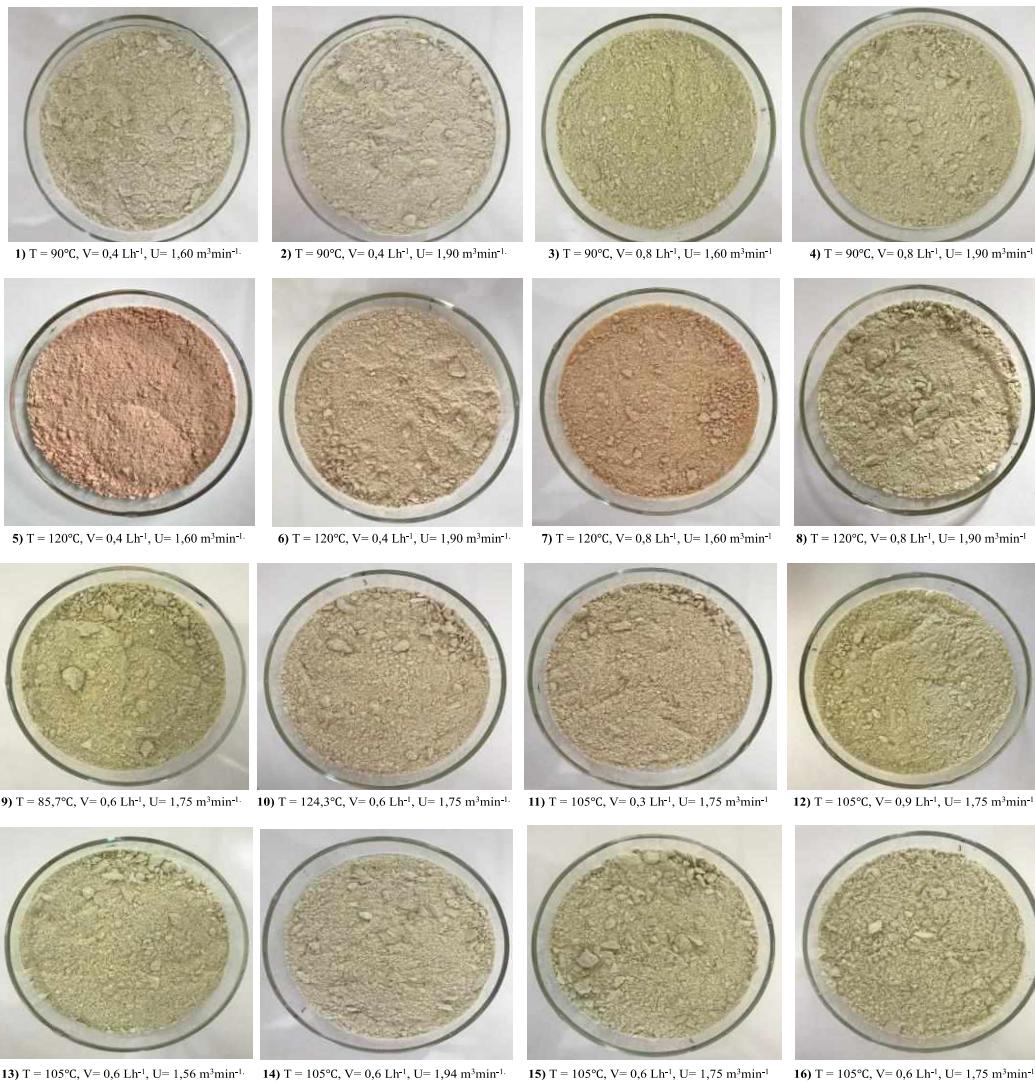
menor tempo de secagem, resultando em pós com maior umidade, que tendem a ser menos higroscópicos. Observa-se também que a higroscopicidade foi mais elevada associando maiores vazões de ar de secagem com níveis mais baixos e intermediários da vazão de alimentação.

Destaca-se ainda que, mantendo a operação nas menores vazões de ar de secagem, ao se aumentar a vazão de alimentação, a higroscopicidade do pó tendeu a aumentar até uma região de máximo (vazão de alimentação intermediária), sendo que, a partir de então, o incremento na vazão de alimentação, levou a uma redução na higroscopicidade.

Cor

Na Figura 20 estão representados os resultados visuais dos pós, obtidos nos 16 ensaios do experimento.

Figura 20- Fotografias dos pós obtidos nos 16 ensaios.



T corresponde à temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$), V vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}) e U vazão do ar de secagem ($\text{m}^3.\text{min}^{-1}$).

Fonte: Arquivo pessoal.

Por meio da Figura 20 é possível observar que ocorreu uma variação na coloração dos pós de abacaxi com hortelã obtidos. Alguns se encontraram com a cor mais verde clara como pode ser visto nos ensaios 3, 4, 9 e 13 em que a temperatura de secagem foi no máximo 90 $^{\circ}\text{C}$ e a vazão de alimentação da amostra com valor mínimo de 0,6 L.h^{-1} , o verde também prevaleceu nos ensaios 12, 15 e 16 em que a temperatura de secagem foi de 105 $^{\circ}\text{C}$. Outros pós estão mais alaranjados e/ou amarelados, como

pode ser visto nos ensaios 5, 6 e 7 nos quais foram utilizadas temperaturas de secagem de 120 °C. Para investigar influência das variáveis do processo de secagem por atomização na coloração dos pós, os parâmetros de cor (L^* , a^* , e b^*) foram estudados. A luminosidade variou de 29,06 a 45,22, o valor de a^* variou de -2,93 a 4,52 e o b^* variou de 10,08 a 13,00, conforme pode ser observado na Tabela 7. Esses parâmetros serão discutidos separadamente.

Parâmetro L^*

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de luminosidade (L^*) dos pós de suco de abacaxi com hortelã.

Tabela 12- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para luminosidade (L^*).

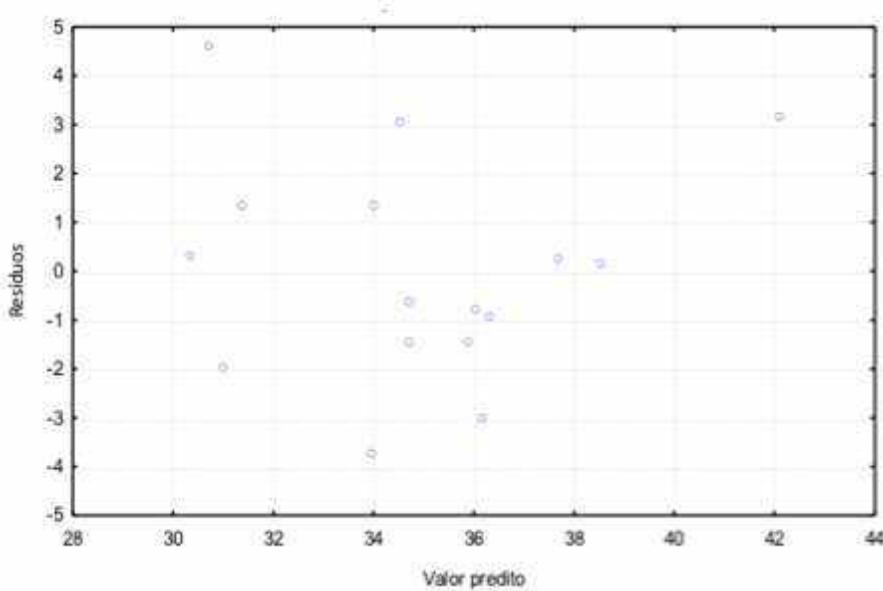
Fatores	Coeficiente de Regressão	Estatística (p)
Média	34,894	0,000
T	-2,125	0,0312
$T \times V$	2,697	0,0233

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). T corresponde à temperatura (°C), V à vazão de alimentação da amostra ($L.h^{-1}$).

O coeficiente de correlação para o modelo ajustado foi de 0,4881 indicando que o modelo explicou apenas 48,81% da variabilidade dos dados observados. Para a luminosidade o F de Fisher calculado, correspondente a 6,199, foi inferior ao tabelado de 6,701 considerando um nível de significância de 1%. Os resultados do teste F mostraram que pode-se aceitar H_0 no nível de significância de 1%, sendo assim, o modelo não é significativo.

Na Figura 21 está apresentada a análise de resíduos para o parâmetro L^* , a fim de verificar a possível causa da falta de ajuste.

Figura 21- Resíduos em função dos valores preditos pelo modelo ajustado para a luminosidade dos pós.



Por meio da Figura 21, é possível observar que os resíduos se encontraram aleatórios, e estão bem distribuídos em torno de uma média zero. Assim a falta de ajuste pode ter ocorrido devido à pequena diferença de luminosidade obtida nos 16 ensaios independentemente da temperatura, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem que foram utilizados nos ensaios a maioria dos valores de luminosidade obtidos variaram entre 33 e 37 para uma escala de 0-100 ($L^* = 0$ escuro e $L^* = 100$ claro). Embora estatisticamente o modelo empírico proposto não seja adequado para mostrar o efeito das variáveis operacionais no parâmetro de cor L^* , por meio de uma análise visual, a diferença na luminosidade dos pós pode ser observada, conforme a Figura 20.

A cor mais escura dos pós (ensaios 5 a 8) em comparação aos demais ensaios apresentados na Figura 20 pode ter ocorrido devido a temperatura de secagem de 120 °C, essa elevada temperatura pode ter contribuído para o processo de caramelização dos açúcares naturalmente presente no abacaxi.

Quintero (2007) ao estudar a desidratação de abacaxi também observou uma diminuição da luminosidade L^* do fruto seco em relação ao fruto *in natura*. O autor atribuiu à reação de caramelização que ocorre no produto devido ao uso de altas temperaturas de secagem. Pinto (2012) ao secarem pequi em diferentes temperaturas, também observou uma redução em L^* , e atribuiu à caramelização dos açúcares presentes na fruta que ocorre quando o produto é submetido a altas temperaturas.

Magalhães (2015) utilizou *spray dryer* para secar suco de abacaxi em temperaturas de 100, 120 e 150 °C. A autora observou que os pós obtidos em temperaturas de secagem mais elevadas apresentaram tendência a serem mais escuros. Ela concluiu que a temperatura do ar de secagem apresentou um efeito negativo significativo, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a luminosidade (L^*) dos pós. A autora também relatou que altas temperaturas podem ter influenciado no aumento na caramelização de açúcares naturalmente presentes na polpa de abacaxi.

Por meio da Figura 20 também é possível observar que na maioria dos ensaios como 1, 2, 5, 6, a menor vazão de alimentação contribuiu para diminuir a luminosidade dos pós quando comparados aos ensaios correspondentes às mesmas condições de temperatura e a vazão do ar de secagem cujo os ensaios foram o 3, 4, 7 e 8 respectivamente. Isso acontece porque a menor vazão de alimentação faz com que a atomização produza gotículas de tamanho reduzido e consequentemente tem-se uma maior superfície de contato da gota com o ar quente, o que contribui para a maior evaporação da água e faz com que a secagem produza pós mais secos. Além disso, tem-se um maior tempo de residência da solução na câmara de secagem (TONTUL; TOPUZ, 2017). A interação desses fatores pode ter contribuído para o superaquecimento das amostras, ocasionando o maior escurecimento dos pós nos ensaios 3, 4, 7 e 8.

Parâmetro a*

O parâmetro (a^*) indica uma tendência às cores verdes (quanto mais negativo o valor) ou vermelhas (quanto mais positivo). É um parâmetro interessante nesse estudo, uma vez que quanto mais verde o produto final, maior é a presença de clorofila, que está naturalmente presente nas folhas de hortelã. Segundo Thomas e Janave (1992), a perda da cor verde de alimentos folhosos, como a hortelã, resulta da degradação da estrutura da clorofila, causada principalmente pelas mudanças de pH, temperaturas elevadas, presença de luz e oxigênio. A velocidade de degradação da clorofila aumenta com o aumento da temperatura de secagem e a conversão da clorofila em feofitina e feoforbídeo (compostos de cor marrom) e é a causa mais comum de perda da cor verde dos vegetais processados termicamente (WONG, 1995). Além disso, a clorofilase age para converter clorofila em cloroforbídeo, um composto de cor verde. A temperatura ideal para a atividade da enzima clorofilase varia entre 60 e 82,2°C, e a atividade da

clorofilase diminui quando os tecidos vegetais são aquecidos acima de 80 °C, perdendo sua atividade acima de 100 °C, o que pode ser prejudicial para a cor dos vegetais (VON ELBE, 2000).

Suzihaque e colaboradores (2015) observaram que a prevalência da cor vermelha em pós de abacaxi quando as amostras são submetidas ao processo de secagem por atomização ocorre devido a reações de escurecimento não enzimático como a caramelização de açúcares naturalmente presentes na fruta.

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de cor ($+a^*$ = vermelho e $-a^*$ = verde) dos pós de abacaxi com hortelã.

Tabela 13- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (a^*).

Fatores	Coeficiente de Regressão	Estatística (p)
Média	-1,602	0,007
T	1,623	0,001
V	-0,777	0,058
$V \times V$	0,956	0,097
$T \times U$	-0,861	0,074

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura (°C), V à vazão de alimentação da amostra ($L.h^{-1}$) e U é a vazão do ar de secagem ($m^3 \cdot min^{-1}$).

O modelo estatístico proposto para representar o parâmetro a^* da cor (\hat{y}_3), resultante do processo de secagem de abacaxi com hortelã, dentro dos limites de T , V e U estudados, foi descrito pela Equação 18:

$$\hat{y}_3 = -1,60 + \underline{x}' \underline{b}_3 + \underline{x}' \underline{B}_3 \underline{x}$$

(18)

na qual:

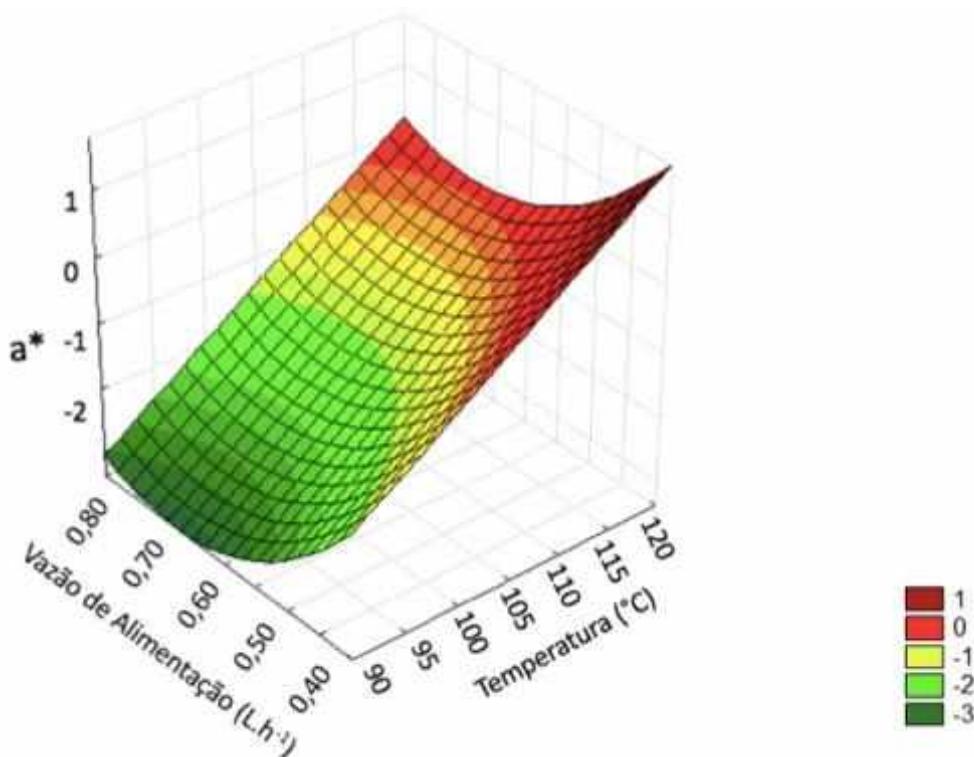
$$\underline{b}_3 = \begin{pmatrix} 1,62 \\ 0,78 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ e } \underline{B}_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -0,43 \\ 0 & 0,96 & 0 \\ -0,43 & 0 & 0 \end{pmatrix} \underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,7979 indicando que o modelo ajustado explicou 79,79% da variabilidade dos dados observados. Além disso, para o parâmetro a^* o valor de F de Fisher calculado

correspondente a 7,813 foi superior ao tabelado de 5,663 considerando um nível de significância de 1 %. Os resultados do teste F mostraram que pode-se rejeitar H_0 no nível de significância de 1%, ou seja, tem-se uma confiança de 99% que o modelo é significativo.

Na Figura 22 está apresentado o modelo de superfície de resposta encontrada para o parâmetro a^* da cor em função da temperatura de secagem e vazão de alimentação da solução no *spray dryer*.

Figura 22- Superfície de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e vazão de alimentação da solução no *spray dryer*, para uma vazão de ar de secagem de $1,75 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$ (nível zero para esta variável na forma codificada).

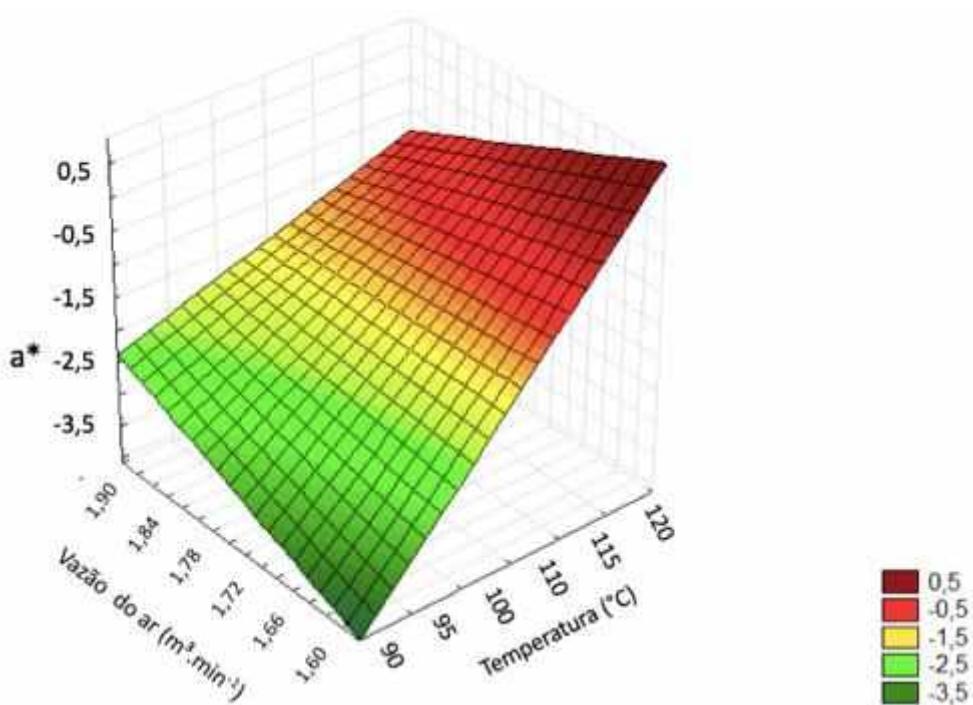


Por meio da Figura 22 observa-se a prevalência da cor verde ($-a^* = \text{verde} + a^* = \text{vermelho}$) dos pós em baixas temperaturas e alta vazão de alimentação. Isso se deve ao fato de que a alta vazão de alimentação pode resultar em um menor tempo de residência da solução na câmara de secagem. Tontul e Topuz (2017) afirmaram que geralmente a maior vazão de alimentação aumenta o tamanho das gotas formadas e encurta o tempo de contato entre as gotas e o ar de secagem. Dessa maneira, é possível que o menor tempo secagem tenha contribuído para evitar reações de escurecimento e preservar os pigmentos como a clorofila responsável pela cor verde do suco de abacaxi com hortelã.

Koç e Dirim (2017) ao secarem suco de espinafre por *spray drying* relataram que a cor verde diminuiu significativamente de acordo com o aumento da temperatura do ar de entrada. De acordo com os autores a degradação de clorofila ou reações de escurecimento devido ao efeito de calor pode estar relacionada à destruição do pigmento e podem causar a perda de cor (verde).

Já na Figura 23 está representado o modelo de superfície de resposta encontrado para o parâmetro a^* da cor em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem no *spray dryer*.

Figura 23- Superfície de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem, para uma vazão de alimentação de $0,6 \text{ L.h}^{-1}$ (nível central para esta variável na forma codificada).



Uma menor vazão de ar associada com baixas temperaturas, também resultou em pós mais verdes, uma vez que a energia fornecida para o processo de evaporação da água é menor quando se utiliza vazões de ar mais baixas, o que pode ter prejudicado a secagem devido a uma menor transferência de calor entre o ar e produto a ser seco. Como consequência, a baixa eficiência da secagem resultante da utilização de uma baixa temperatura e baixa vazão de ar pode ter evitado a ocorrência de reações de

escurecimento e consequentemente preservado a cor verde natural do pó de abacaxi com hortelã.

Parâmetro b*

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de cor b* dos pós de suco abacaxi com hortelã.

Tabela 14- Coeficientes de regressão e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (b*).

Fatores	Coeficiente de Regressão	Estatística (p)
Média	10,909	0,000
<i>V</i>	0,779	0,001
<i>U</i>	-0,372	0,055
<i>V</i> × <i>V</i>	0,530	0,056
<i>T</i> × <i>V</i>	-0,386	0,087
<i>T</i> × <i>U</i>	-0,454	0,050

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura (°C), V à vazão de alimentação da amostra (L.h⁻¹) e U é a vazão do ar de secagem (m³.min⁻¹).

O modelo empírico proposto para representar o parâmetro da cor b* (\hat{y}_4) do pó resultante do processo de secagem de suco de abacaxi com hortelã, dentro dos limites de T , V e U estudados, foi descrito na forma matricial pela Equação 19:

$$\hat{y}_4 = 10,90 + \underline{\mathbf{x}}' \underline{\mathbf{b}}_4 + \underline{\mathbf{x}}' \underline{\mathbf{B}}_4 \underline{\mathbf{x}} \quad (19)$$

na qual:

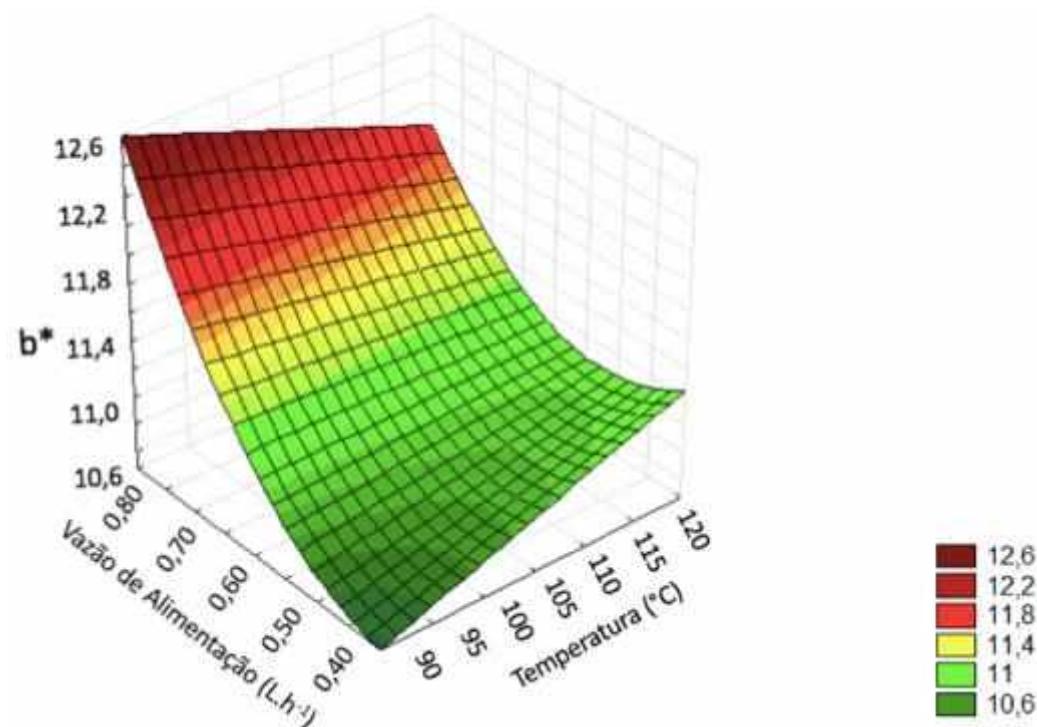
$$\underline{\mathbf{b}}_4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,78 \\ -0,37 \end{pmatrix} \text{ e } \underline{\mathbf{B}}_4 = \begin{pmatrix} 0 & -0,20 & -0,23 \\ 0,20 & 0,53 & 0 \\ -0,23 & 0 & 0 \end{pmatrix} \underline{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

O quadrado do coeficiente de correlação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,7940 indicando que o modelo explicou 79,40% da variabilidade dos dados observados. Além disso, para o parâmetro b* o valor de F de Fisher calculado correspondente a 7,709 foi superior ao tabelado de 5,838 considerando um nível de significância de 1%. Os resultados do teste F mostraram que pode-se rejeitar H_0 no nível

de significância de 1%, ou seja, tem-se uma confiança de 99% que o modelo é significativo.

Na Figura 24 está apresentado o modelo de superfície de resposta encontrado para o parâmetro b^* em função da temperatura de secagem e vazão de alimentação da amostra.

Figura 24- Superfície de resposta para b^* em função de temperatura e vazão de alimentação, para uma vazão de ar de secagem de $1,75 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (nível zero para esta variável na forma codificada).

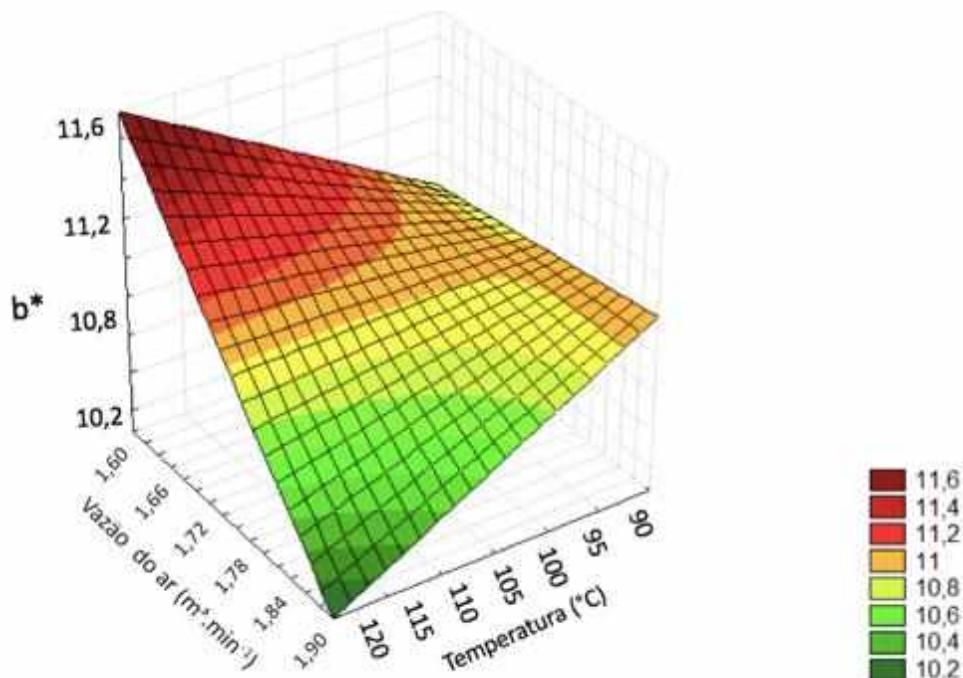


A superfície de resposta apresentada na Figura 24 mostra a prevalência da cor amarela em maiores vazões de alimentação e baixas temperaturas. Como exposto anteriormente, uma maior temperatura aliada à baixa vazão de alimentação, contribuíram para o escurecimento dos pós, devido ao maior tempo de secagem e maior exposição do produto a temperaturas elevadas. Queck e colaboradores (2007) ao secarem suco de melancia por *spray drying* observaram que a cor dos pós se tornou mais escura operando com uma temperatura de entrada do ar de secagem mais alta. Uma das explicações para esse fenômeno foi que a melancia contém açúcares que podem contribuir para o escurecimento dos pós a uma temperatura do ar de secagem mais alta. De acordo com Shishir e Chen (2017), os pigmentos e compostos sensíveis ao calor são influenciados pela temperatura de secagem por atomização. Em geral, o teor

de compostos sensíveis ao calor diminui com o aumento da temperatura devido à degradação térmica e superaquecimento.

Na Figura 25 está apresentado o modelo de superfície de resposta encontrado para o parâmetro b^* em função da temperatura de secagem e vazão do ar de secagem.

Figura 25- Superfície de resposta para b^* em função de temperatura e vazão do ar de secagem, para uma vazão de alimentação de $0,6 \text{ L.h}^{-1}$ (nível central para esta variável na forma codificada).



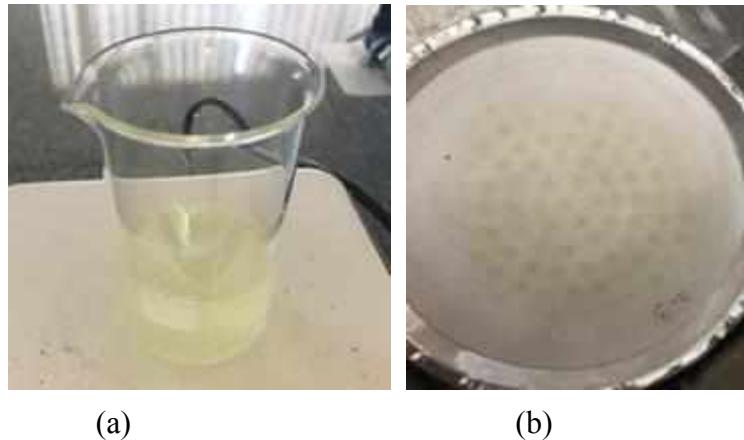
A vazão do ar de secagem também exerceu influência sobre a cor das amostras, sendo que maiores temperaturas associadas às menores vazões do ar de secagem, resultaram em pós mais amarelos ($+b^* = \text{amarelo}$ e $-b^* = \text{azul}$). A menor vazão de ar de secagem e maior temperatura diminuíram a eficiência da secagem e, como constatado, contribuíram para preservação da cor amarela naturalmente presente no suco de abacaxi com hortelã que pode ser devido aos carotenoides do abacaxi. Alves e colaboradores (2017) ao secarem extrato de pequi encontraram o valor b^* positivo e atribuíram o fato principalmente à presença de carotenoides amarelados, que são os principais pigmentos presentes nos extratos de pequi.

Solubilidade

O valor encontrado para solubilidade dos pós de suco abacaxi com hortelã foi em média 98 a 99 %, para todos os ensaios do planejamento experimental. Por meio dos resultados obtidos, observa-se que o produto é altamente solúvel, mesmo sem a utilização de agentes carreadores como a maltodextrina que apresenta alta solubilidade em água e melhora a estabilidade dos pós. A solubilidade pode ser influenciada por fatores como tamanho e estrutura (amorfa ou cristalina) das partículas (CANO-CHAUCA et al., 2005; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; CAPARINO et al., 2012; DU et al., 2014).

Na Figura 26 estão apresentadas fotografias referentes à análise de solubilidade realizada no ensaio 3 do planejamento experimental. Os parâmetros de secagem por *spray drying* do ensaio 3 foram: temperatura 90 °C, vazão de alimentação da amostra 0,8 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³.min⁻¹.

Figura 26- Fotografias da análise de solubilidade do ensaio 3, em que (a) corresponde ao pó dissolvido através da agitação magnética e (b) Os sólidos obtidos após a filtração do líquido



Fonte: Arquivo pessoal.

O suco de abacaxi com hortelã foi submetido ao peneiramento para retirada de partículas maiores tanto de fragmentos de abacaxi como de hortelã que poderiam prejudicar a atomização e ocasionar o entupimento do bico atomizador. Esse fato pode explicar a alta solubilidade do produto em pó, como mostrado na Figura 26, uma vez que o peneiramento retira grande quantidade das partículas insolúveis, como as fibras do abacaxi e das folhas de hortelã.

5.3 Influência da maltodextrina no processo de secagem por atomização

Por meio do Planejamento Composto Central Ortogonal realizado nesse estudo para a secagem de suco de abacaxi com hortelã sem agentes carreadores, foi possível observar que os experimentos realizados nas condições de ponto central para todas as variáveis, cujo as variáveis independentes no *spray dryer* foram a temperatura de secagem de 105°C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m³.min⁻¹ apresentaram respostas como: baixa umidade, preservação da cor verde natural do suco de abacaxi com hortelã, alta solubilidade e melhor rendimento dentro do processo de secagem sem a utilização de agente carreador.

Por esta razão um novo estudo foi realizado variando-se a concentração de maltodextrina de 0 a 15% utilizando-se as mesmas variáveis independentes (temperatura de secagem, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem) correspondentes ao ponto central para as 3 variáveis do PCC anterior, com a intenção de melhor visualizar a influência da maltodextrina nas características físico-químicas dos pós obtidos. Na Tabela 15 estão apresentadas as respostas obtidas no processo de secagem em *spray dryer* utilizando 0, 3, 7 e 15% de maltodextrina em relação a massa total de solução.

Tabela 15- Respostas obtidas na secagem por *spray dryer* em função das variáveis independentes: temperatura de secagem de 105 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m³.min⁻¹.

M	R	Umi	a _w	H	Mm	S	Respostas		
							L*	Cor a*	Cor b*
0	35,40	0,18±0,00	0,210±0,00	31,64±1,40	2,48±0,07	99,46±0,43	33,65±0,58	-2,07±0,06	10,70±0,35
3	43,66	0,10±0,00	0,208±0,00	26,73±0,39	3,73±0,45	98,99±0,31	55,72±0,05	-1,57±0,00	8,07±0,01
7	38,77	0,07±0,00	0,190±0,00	23,01±0,11	6,28±0,19	99,43±0,34	50,22±0,06	-1,03±0,04	4,39±0,01
15	62,92	0,03±0,00	0,107±0,00	19,06±0,29	7,51±0,50	99,66±0,27	57,56±0,11	-1,11±0,04	4,51±0,01

Em que M significa concentração de maltodextrina (%), R rendimento (%), Umi é a umidade (g água. g⁻¹ sólidos secos), H é a higroscopicidade (%), a_w corresponde à atividade de água, S a solubilidade dos pós (%) e Mm é o tempo de molhamento (minutos).

Os resultados da Tabela 15 mostraram em geral um aumento no rendimento do processo, redução da umidade, da atividade de água e da higroscopicidade dos pós a medida em que se aumentou a concentração de maltodextrina de 0 para 15%. Um dos fatores que podem contribuir para o aumento do rendimento da secagem é a

maltodextrina ser pouco higroscópica, fazendo com que seja reduzida a capacidade de adsorção.

Ferrari e colaboradores (2012) ao secarem polpa de amora preta por *spray drying* com concentrações de 5 a 10% de maltodextrina em relação à massa total alimentada, observou que o aumento da concentração de maltodextrina resultou em um produto menos higroscópico. De acordo com Nurhadi e colaboradores (2012) pós com menos de 20% de higroscopicidade são geralmente considerados pouco higroscópicos. Os resultados da Tabela 15 mostraram que com 15% de maltodextrina foi possível obter pós com 19% de higroscopicidade, sendo considerados como pouco higroscópicos de acordo com os autores.

A redução da umidade e da atividade de água dos pós pode ter ocorrido devido ao aumento do conteúdo de sólidos na alimentação quando se aumentou a quantidade de maltodextrina. Shishir e Chen (2017) explicam que na secagem por *spray drying* a maltodextrina quando adicionada diminui a umidade do produto final devido ao aumento do conteúdo total de sólidos na solução de alimentação e, consequentemente, tem-se uma diminuição na quantidade de água para evaporação.

Foi observado por meio da Tabela 15 que a solubilidade não foi afetada pela presença do agente carreador. Independentemente da quantidade de maltodextrina, a solubilidade foi superior a 98%.

Com relação à cor, observou-se um aumento na luminosidade e diminuição da intensidade dos parâmetros a^* e b^* com o aumento da concentração de maltodextrina. Isso pode ter ocorrido devido à diluição da maltodextrina no suco antes do processo de secagem que apresenta uma cor branca, diminuindo a intensidade da cor natural do pó. Kha e colaboradores (2014) também observaram um aumento do parâmetro L^* com o aumento da concentração de maltodextrina em *gac fruit* seca em *spray dryer*, uma vez que a maltodextrina dilui os pigmentos presentes na fruta e altera a sua coloração por ser um composto de cor branca. Tonon e colaboradores (2011) em seu estudo de secagem de açaí por *spray drying* também observaram o mesmo comportamento da luminosidade em relação à maltodextrina, os autores também observaram que a maltodextrina provocou uma diminuição da intensidade do parâmetro a^* , ou seja, relacionada à diluição da cor, provocada pela adição deste agente carreador.

Quanto maior a quantidade de maltodextrina, menor foi a intensidade de b^* . Fato semelhante ao observado por Zotarelli e colaboradores (2017) que, ao estudarem a secagem de manga por *spray drying* observou que os pós produzidos sem maltodextrina

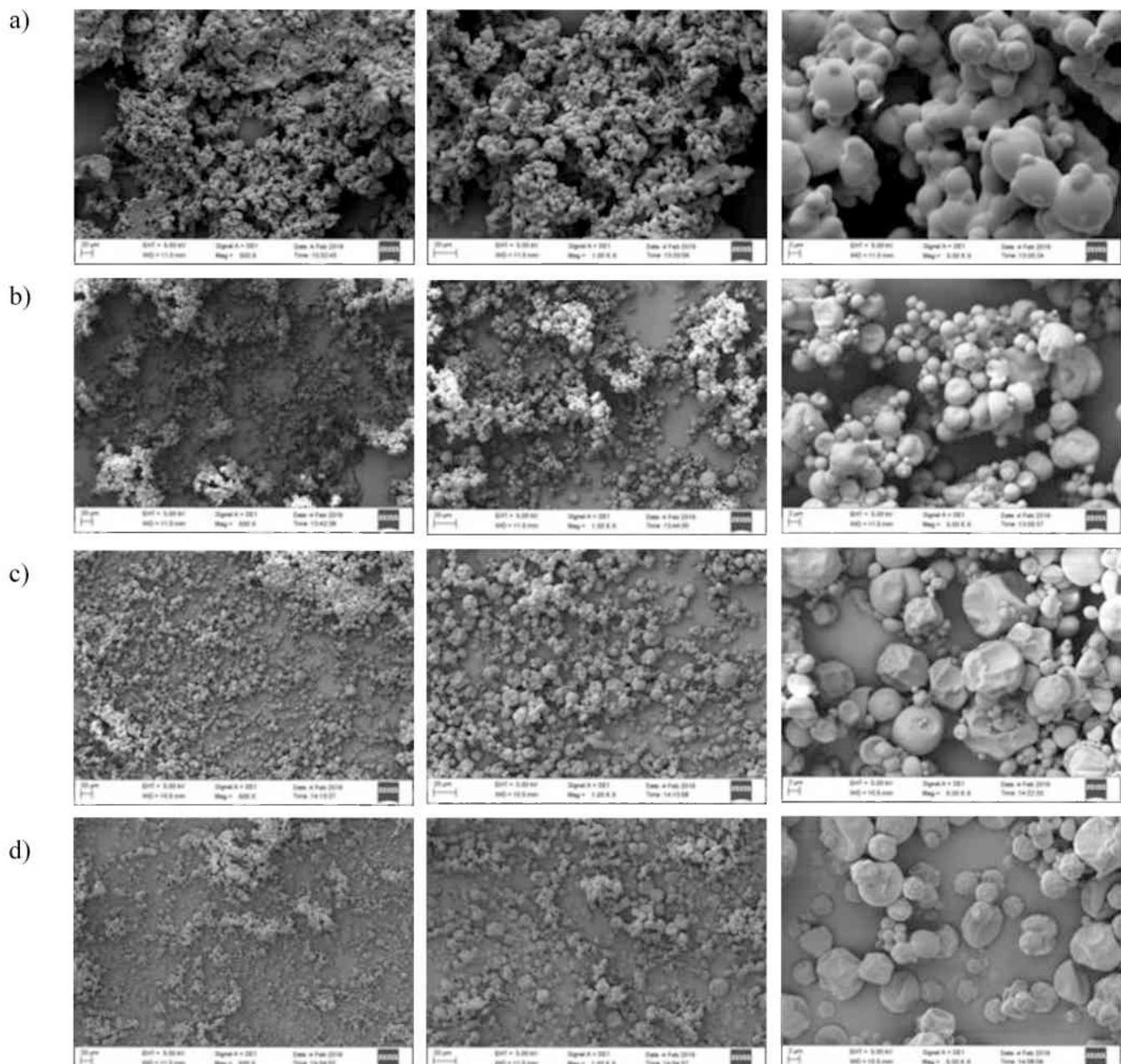
apresentaram valores mais intensos de b*, devido às condições do processo e à adição de maltodextrina, que dilui a cor do pó. Carvalho e colaboradores (2017) ao caracterizarem pó de umbu-cajá com leite de cabra e maltodextrina obtido pelo método de secagem por *spray drying*, também observaram que o aumento da concentração de maltodextrina reduziu a intensidade de amarelo, fato provocado, provavelmente pela maltodextrina, que é de cor branca. Martin (2013) ao secar polpa de cupuaçu por *spray drying* também observou a maior prevalência da cor amarela nas regiões da superfície de resposta para a cor com menor concentração de maltodextrina.

Os resultados observados na Tabela 15 mostraram que mesmo em baixa concentração (3%), a maltodextrina foi eficaz no sentido de aumentar o rendimento e diminuir a higroscopicidade dos pós.

Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 27 estão apresentadas as microscopias eletrônicas de varredura dos pós de abacaxi com hortelã produzida pelo processo de secagem por *spray drying* utilizando (a) 0%, (b) 3%, (c) 7% e (d) 15% de maltodextrina como agente carreador.

Figura 27- Microscopia eletrônica de varredura obtida na secagem por *spray dryer* utilizando (a) 0%, (b) 3%, (c) 7% e (d) 15% de maltodextrina como agente carreador em função das variáveis independentes: temperatura de secagem de 105 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m³.min⁻¹, ampliação de 500×, 1000× e 5000× respectivamente.



As partículas apresentaram formato esférico. Tonon e colaboradores (2011) ao estudarem a secagem por atomização de suco de açaí, também observaram a formação de partículas esféricas, o que é típico de materiais produzidos na secagem por atomização. Rosa e colaboradores (2019) também observaram a formação de partículas esféricas quando realizaram o processo de secagem de mirtilo por meio do *spray drying*. Santiago-Adame e colaboradores (2015) afirmaram que as irregularidades morfológicas são devidas à taxa de evaporação da água durante o processo de secagem por atomização.

As partículas (a) sem maltodextrina apresentaram maior tendência à aglomeração quando comparada às demais (b), (c) e (d). A adição de maltodextrina diminuiu a tendência a se aglomerarem, sendo que a adição de 7 e 15% do agente carreador resultou em partículas mais enrugadas. De acordo com Wang e colaboradores (2013) a formação da superfície enrugada é devido ao “empacotamento” da partícula, nos estágios iniciais do processo de secagem.

Santana e colaboradores (2016) ao estudarem a microencapsulação de polpa de juçara por meio do *spray drying*, observaram que as partículas apresentaram formatos esféricos e sem fissuras ou com fissuras aparentes, indicando uma cobertura completa do núcleo pelos transportadores, o que é uma vantagem, pois implica que as cápsulas apresentaram menor permeabilidade aos gases, aumentando a proteção e retenção do material ativo.

Tempo de molhamento

O tempo de molhamento é definido como a capacidade de um produto em pó a ser penetrado por um líquido, devido às forças de capilaridade. Os resultados apresentados na Tabela 15 mostram que quanto maior a quantidade de maltodextrina, maior foi o tempo de imersão na água. A maltodextrina DE10 utilizada no experimento apresenta em sua estrutura química menor quantidade de grupos hidrofílicos que podem ter contribuído para aumentar o tempo de molhamento quando se aumentou a quantidade do agente carreador, dificultando a interação e penetração do produto pela água.

Fernandes e colaboradores (2013) ao avaliarem a influência das condições operacionais da secagem por atomização nas propriedades de óleo de alecrim microencapsulado utilizando 10 a 30% de maltodextrina encontraram os maiores

tempos de molhamento quando foram utilizadas maiores concentrações de agente carreador.

A molhabilidade de alimentos em pó é muito importante. O molhamento da superfície destes materiais pelo líquido (geralmente água) é, muitas vezes, a etapa limitante no processo de reconstituição dos mesmos. A molhabilidade influencia em etapas do processo produtivo do alimento, como aglomeração, granulação, revestimento, assim como em suas características finais, como dispersibilidade e solubilidade (FORNY et al. 2011). Levando-se em conta que o aumento da concentração de maltodextrina resultou no aumento no tempo de molhamento, é desejado a utilização de uma menor quantidade de agente carreador para a melhor reconstituição dos pós de abacaxi com hortelã.

Resultados do Planejamento Fatorial Completo a dois níveis (2^4) para a secagem de suco de abacaxi com hortelã com a adição de maltodextrina

A partir dos resultados obtidos no processo de secagem em *spray drying* utilizando 0, 3, 7 e 15% de maltodextrina em relação à massa total de solução, foi observado que a maltodextrina, mesmo na concentração de 3%, alterou as características físico-químicas dos pós, tais como hidroscopicidade, cor e rendimento. Por esta razão foi realizado um novo planejamento experimental (planejamento fatorial a dois níveis completo 2^4) correspondente às mesmas condições (-1 e +1) das variáveis independentes (temperatura de secagem, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem) utilizadas no planejamento composto central. Além destas variáveis, para verificar a influência do agente carreador na secagem, analisando os resultados anteriores, utilizou-se como níveis para esta variável, 0 % (-1) 3% (+1) de maltodextrina .

Na Tabela 16 estão apresentados os resultados obtidos dos experimentos do Planejamento Composto Central para a secagem por *spray drying* de suco de abacaxi com hortelã com maltodextrina, levando-se em conta as seguintes respostas: rendimento, umidade (g água.g⁻¹ sólidos secos), atividade de água (a_w), hidroscopicidade (%), solubilidade (%) e cor (L^* , a^* e b^*).

Tabela 16 - Valores das respostas do planejamento fatorial a dois níveis completo obtidas na produção de pós de suco de abacaxi com hortelã obtidos na secagem por *spray drying*.

Ensai o	Planejamento Experimental				Respostas							
	T	V	U	M	R	Umi	a _w	Hig	S	Cor		
										L*	a*	b*
1	90 (-1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	0 (-1)	34,41	0,117±0,000	0,203±0,002	29,38±0,309	98,27±0,182	38,68±0,883	-1,95±0,030	10,57±0,090
2	120 (+1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	0 (-1)	13,38	0,121±0,000	0,219±0,004	25,92±0,274	98,61±0,158	30,64±1,313	4,52±0,080	12,38±0,138
3	90 (-1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	0 (-1)	20,70	0,135±0,002	0,273±0,004	30,03±0,857	99,10±0,179	32,70±0,576	-2,93±0,043	12,18±0,045
4	120 (+1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	0 (-1)	17,20	0,097±0,000	0,213±0,002	28,75±0,237	98,61±0,487	30,20±0,892	2,57±0,104	12,62±0,150
5	90 (-1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	0 (-1)	29,35	0,130±0,000	0,211±0,008	31,59±1,275	99,69±0,121	45,22±0,724	-1,67±0,066	10,08±0,105
6	120 (+1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	0 (-1)	19,15	0,115±0,001	0,203±0,002	35,80±0,243	95,51±1,279	29,06±0,041	1,26±0,006	10,25±0,011
7	90 (-1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	0 (-1)	20,72	0,128±0,002	0,250±0,003	25,14±0,566	98,61±0,487	35,38±0,677	-2,61±0,030	12,71±0,355
8	120 (+1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	0 (-1)	27,79	0,089±0,000	0,239±0,014	32,05±0,016	98,28±0,333	35,26±0,488	-1,00±0,015	11,15±0,343
9	90 (-1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	3(+1)	51,95	0,097±0,003	0,224±0,014	25,79±0,437	98,35±0,453	50,04±0,041	-1,20±0,050	5,42±0,010
10	120 (+1)	0,4 (-1)	1,60 (-1)	3 (+1)	52,31	0,079±0,003	0,136±0,025	21,88±2,478	99,01±0,281	45,02±0,006	0,03±0,025	6,65±0,050
11	90 (-1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	3 (+1)	18,04	0,134±0,001	0,370±0,002	21,73±0,111	98,75±0,870	37,32±0,010	-2,13±0,011	8,89±0,020
12	120 (+1)	0,8 (+1)	1,60 (-1)	3 (+1)	44,17	0,121±0,000	0,231±0,005	25,61±0,144	99,71±0,218	50,95±0,060	-0,99±0,611	7,10±0,045
13	90 (-1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	3 (+1)	48,67	0,101±0,000	0,231±0,002	26,48±0,505	99,39±0,731	50,50±0,045	-1,35±0,020	6,73±0,030
14	120 (+1)	0,4 (-1)	1,90 (+1)	3 (+1)	54,45	0,082±0,001	0,086±0,008	28,78±0,405	98,45±0,317	45,22±0,017	1,93±0,020	6,74±0,015
15	90 (-1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	3 (+1)	32,68	0,112±0,001	0,304±0,000	24,62±0,419	95,13±0,684	44,00±0,126	-2,18±0,006	8,91±0,011
16	120 (+1)	0,8 (+1)	1,90 (+1)	3 (+1)	44,59	0,092±0,092	0,204±0,005	26,25±0,180	97,93±0,068	42,59±0,020	-1,16±0,064	6,82±0,015

Em que T é a temperatura (°C), V é a vazão e alimentação da amostra (L.h⁻¹), Umi é a vazão do ar de secagem (m³.min⁻¹), M é a concentração de maltodextrina (%), R o rendimento (%), U é a umidade (g água .g⁻¹ sólidos secos), a_w é a atividade de água , H é a higroscopicidade (%) e S é a solubilidade dos pós (%). Os termos em negrito correspondem aos maiores e menores valores das respostas obtidas.

Rendimento

Para avaliar a influência das variáveis independentes analisadas no rendimento dos pós de abacaxi com hortelã foi realizada a regressão múltipla, visando a quantificação dos efeitos. Foram desconsiderados os parâmetros que apresentaram nível de significância maior que 10 %. Os resultados encontram-se na Tabela 17, sendo que foi encontrado um R^2 de 0,9294 nesta regressão.

Tabela 17- Efeito e nível significância estatística (valor de p) dos fatores significativos do modelo para rendimento com maltodextrina.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	33,08	0,0000
V	-4,8788	0,0018
M	10,2430	0,0000
$T \times V$	4,1513	0,0052
$T \times M$	4,4723	0,0032
$V \times M$	-3,6457	0,0107

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de secagem, V à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}) e M a concentração de maltodextrina (%).

Observou-se que a maltodextrina de forma isolada foi o fator mais significativo ($p \leq 0,10$) no rendimento do processo de secagem considerando 10% de nível de significância. Os resultados apresentados na Tabela 16 mostraram um rendimento de até 54% nas condições de temperatura de secagem de 120 $^{\circ}\text{C}$, vazão de alimentação da amostra de 0,4 L.h^{-1} e vazão do ar de secagem de $1,90 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$. A concentração de maltodextina de 3% foi suficiente para aumentar o rendimento da secagem, uma vez que o rendimento foi de 19% na secagem obtida nas mesmas condições experimentais sem o uso da maltodextrina como agente carreador.

Quek e colaboradores (2007) ao secarem suco de melancia por atomização observaram que a adição de 3% e 5% de maltodextrina na amostra alimentada melhorou o rendimento do pó e sua qualidade. Os autores não conseguiram recuperar o pó no ciclone quando realizaram a secagem sem agente carreador.

A temperatura também foi um fator significativo no processo secagem, tanto em interação com a vazão de alimentação da amostra (que interfere no tamanho das gotículas formadas e consequentemente na superfície de contato da gota com o ar) como em interação com a maltodextrina. Dantas e colaboradores (2018) ao estudarem a

influência das condições de secagem por atomização nas propriedades do pó de abacate observaram que no rendimento do processo, a temperatura de entrada teve um efeito diferente, dependendo da vazão de alimentação. Os autores ainda observaram que temperaturas de secagem mais altas resultaram em maior proximidade às temperaturas de transição vítreia. Esta proximidade causa um aumento na chance de aderência do pó nas paredes do secador, especialmente se a gotícula ainda tiver alta umidade. E na baixa vazão de alimentação e maior temperatura de entrada obteve-se maior rendimento.

Jafari e colaboradores (2017) ao secarem suco de romã em *spray dryer* em temperaturas de 124 e 143 °C, obtiveram rendimentos entre 17 e 25%. Os autores observaram que as maiores concentrações de maltodextrina e temperaturas elevadas resultaram em rendimentos mais altos.

Solubilidade

Os resultados de solubilidade encontrados foram semelhantes aos obtidos para os pós de suco de abacaxi com hortelã sem maltodextrina, ou seja, valores de solubilidade na faixa de 95 a 99%. Esse resultado indica que a solubilidade dos pós de abacaxi com hortelã obtidos pela secagem por atomização não é influenciada pela maltodextrina. Além disso, na quantificação dos efeitos pela regressão, nenhum fator foi significativo.

Machado (2010) em seu estudo sobre secagem de tomate por meio do *spray drying* também observou que a concentração de maltodextrina não apresentou efeito estatisticamente significativo sobre a solubilidade do pó de tomate. A autora atribuiu o fato à faixa de concentração de maltodextrina estudada (3 a 12%). Chung (2016) ao estudar polpa de guavira desidratada por *spray drying*, obteve resultado semelhante, ou seja, a adição de maltodextrina, como agente carreador pouco alterou a solubilidade das partículas, o autor obteve resultados entre 81,34 e 83,92 % de solubilidade.

Cor

Na Figura 28 estão representados os resultados visuais dos pós, obtidos com e sem maltodextrina.

Figura 28- Resultados visuais dos pós, obtidos com e sem maltodextrina.



T corresponde à temperatura de secagem ($^\circ\text{C}$), V vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}) e U vazão do ar de secagem ($\text{m}^3.\text{min}^{-1}$). SM - Sem maltodextrina; CM - Com 3% de maltodextrina em relação à massa total da amostra alimentada.

Por meio da Figura 28 é possível observar que a maltodextrina exerceu forte influência na coloração dos pós, resultando em pós mais claros, que pode ter ocorrido

devido à coloração do agente carreador que é naturalmente branco, ou também pela atuação na proteção contra escurecimento. De acordo com Elnaggar e colaboradores (2010) a maltodextrina tem sido extensivamente utilizada em processos de microencapsulação por proporcionar proteção aos materiais encapsulados. Bazaria e Kumar (2016) descobriram que o encapsulamento do suco de beterraba obtido por meio da secagem por *spray drying* com maltodextrina como agente carreador poderia proteger os pigmentos responsáveis pela cor natural do pó. Jafari e colaboradores (2017) relataram que os agentes carreadores são obstáculos físicos que podem diminuir os efeitos do oxigênio, luz e calor sobre as amostras secas. Dantas e colaboradores (2018) ao estudarem a secagem de abacate por meio do *spray dryer* observaram que a maltodextrina foi capaz de preservar nutrientes presentes no pó, independentemente das condições do equipamento utilizadas durante o processo de secagem por atomização.

Parâmetro L*

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de luminosidade (L^*) dos pós de suco de abacaxi com hortelã do planejamento fatorial completo a dois níveis (2^k). Foi encontrado um R^2 de 0,9157 nesta regressão.

Tabela 18 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para luminosidade (L^*) com maltodextrina.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	40,1743	0,0000
T	-1,5568	0,0537
V	-1,6231	0,0460
M	5,5318	0,0000
$T \times V$	2,7556	0,0034
$T \times U$	-1,3156	0,0937
$T \times M$	1,7956	0,0308

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de secagem, V à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}), U é a vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) e M corresponde à concentração de maltodextrina (%).

Por meio da Tabela 18 é possível observar que a maltodextrina de forma isolada influenciou significativamente na luminosidade dos pós. Os valores da análise

colorimétrica a luminosidade (L^*) do pó adicionado de maltodextrina tendem a serem maiores devido à maltodextrina ser de cor branca, deixando a polpa mais clara.

A maltodextrina em interação com a temperatura de secagem também foi um fator significativo ($p \leq 0,10$). Como pode ser observado na Figura 28 e com base nos resultados obtidos na Tabela 16, a presença do agente carreador contribuiu para reduzir a cor vermelha e o escurecimento dos pós, quando foram utilizadas temperaturas de 120 °C. Mesmo tendo sido reduzido o escurecimento, os pós obtidos nas temperaturas de 120 °C tenderam a ser mais escuros se comparados aos pós obtidos em temperaturas inferiores a esta.

Freitas e colaboradores (2019) ao estudarem o efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi ‘Pérola’ atomizado, verificaram que os pós obtidos na temperatura de 100°C apresentou todos os valores de luminosidade superiores aos encontrados na temperatura de 120°C, ou seja, indicando que a temperatura mais baixa, juntamente com a maltodextrina, imprimiu maior luminosidade ao sumo da polpa de abacaxi atomizado.

Parâmetro a^*

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de cor (a^*) dos pós de abacaxi com hortelã para o planejamento factorial completo a dois níveis (2^k), sendo que foi encontrado um R^2 de 0,7446 nesta regressão.

Tabela 19- Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (a^*) com maltodextrina.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	-0,5550	0,0842
T	1,4500	0,0003
V	-0,7500	0,0257
$T \times M$	-0,6137	0,0594

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura (°C), V à vazão de alimentação da amostra ($L.h^{-1}$) e M é a concentração de maltodextrina (%).

Por meio da Tabela 19, observa-se que além da temperatura e da vazão de alimentação da amostra de forma isolada, a maltodextrina em interação com a temperatura de secagem também influenciou significativamente ($p \leq 0,10$) na cor verde

dos pós. O efeito da maltodextrina na cor verde pode ser observada por meio da comparação dos ensaios de 1 a 4 (Figura 28) com e sem o agente, nos quais a temperatura utilizada foi de 90°C. Observou-se que a presença do agente carreador no processo de secagem reduziu a cor verde dos pós, resultando em uma cor mais branca devido à cor natural da maltodextrina. Tonon e colaboradores (2011) ao secarem suco de açaí observaram que a maltodextrina provocou uma diminuição da intensidade do parâmetro a^* , ou seja, relacionada à diluição da cor, provocada pela adição deste agente carreador.

Wong e colaboradores (2017) ao estudarem o efeito do processamento enzimático, da temperatura de entrada e da concentração de maltodextrina nas propriedades reológicas e físico-químicas do pó de banana obtido pela secagem por atomização, observaram que os valores a^* e b^* diminuíram significativamente à medida que a temperatura de entrada e a concentração de maltodextrina aumentaram. Os autores relataram que, os pós de banana podem ser expostos a algumas reações de escurecimento ou caramelização de açúcares durante o processo de secagem por atomização a temperaturas mais altas e, portanto, podem perder sua cor natural.

Por outro lado, por meio da Tabela 16 observou-se que a maltodextrina diminuiu a intensidade da cor vermelha dos pós, como pode ser observado nos ensaios 1 e 10 que resultaram em valores de a^* de $4,52 \pm 0,08$ e $0,03 \pm 0,02$ respectivamente. Nestes ensaios foram utilizadas as mesmas condições de temperatura correspondentes a 120°C, vazão de alimentação de $0,4 \text{ L.h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem de $1,60 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$, mas no ensaio 1 não foi utilizado agentes carreadores e no ensaio 10 utilizou-se 3% de maltodextrina. Pode ser que a maltodextrina tenha contribuído para a proteção dos pós contra o superaquecimento promovido em altas temperaturas de secagem.

Parâmetro b^*

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de cor b^* dos pós de suco abacaxi com hortelã obtidos no planejamento fatorial completo a dois níveis (2^k), sendo que foi encontrado um R^2 de 0,9789 nesta regressão..

Tabela 20 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para (b^*) com maltodextrina.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	9,326	0,000
V	0,722	0,000
M	-2,167	0,000
$T \times V$	-0,513	0,002
$T \times U$	-0,322	0,022
$T \times M$	-0,218	0,094
$U \times M$	0,295	0,032

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$), V é à vazão de alimentação da amostra (L.h^{-1}), U é a vazão do ar de secagem ($\text{m}^3.\text{min}^{-1}$), M corresponde à concentração de maltodextrina (%).

Por meio da Tabela 20 observa-se que todas as variáveis influenciaram individualmente e/ou por meio de interação, de forma estatisticamente significativa no parâmetro b^* , considerando 10 % de nível de significância.

Os resultados mostram que a presença da maltodextrina diminuiu a intensidade de b^* (mas manteve valores positivos (+ b^*) que indica a presença da cor amarela), considerando que o efeito isolado negativo desta variável foi o mais significativo. Na Tabela 16 é possível observar que os ensaios 1 a 8 (sem maltodextrina) resultaram em maior tendência ao amarelo quando comparados aos ensaios 9 a 16 (com maltodextrina). Essa diminuição da intensidade de b^* pode ser atribuída a presença do agente carreador que, por ser um pó branco contribuiu para diluir a cor natural do suco.

Muzaffar e colaboradores (2016) ao determinarem a eficiência de produção, cor e transição vítreo do pó de suco de romã seco por atomização, relataram uma diminuição significativa nos valores de b^* com o uso de maltodextrina e atribuíram o fato devido a cor esbranquiçada do agente carreador. Chang-Gon Lee e colaboradores (2017) ao secarem suco de pêra por meio do *spray drying*, relataram que os valores de b^* foram influenciados pelas reações de caramelização e Maillard que ocorreram na presença de açúcar em alta temperatura durante a secagem.

Ainda que o efeito da maltodextrina isolado seja consideravelmente maior que os demais, os efeitos das demais variáveis (temperatura, vazão de alimentação da amostra e vazão do ar de secagem) de forma isolada ou como interação, também se mostraram significativos.

Umidade e atividade de água

Os resultados presentes na Tabela 16 mostraram baixos valores de umidade ($0,079\pm0,003$ a $0,135\pm0,002$ g água. g⁻¹ sólidos secos). A maior umidade foi obtida no ensaio 3 em que se utilizou baixa temperatura e vazão do ar de secagem correspondentes à 90 °C e 1,60 m³.min⁻¹ respectivamente e 0,8 L.h⁻¹ de vazão do ar, além disso nesse ensaio não foi utilizado agentes carreadores. Como exposto anteriormente, a combinação desses parâmetros resulta em uma secagem pouco eficiente, resultando em menor evaporação da água e consequentemente menor umidade.

Peng e colaboradores (2013), ao avaliarem os efeitos dos agentes carreadores nas propriedades físico-químicas, antioxidantes e biológicas do pó de batata doce roxa, observaram que os pós que foram produzidos com auxílio de um agente carreador apresentaram melhor fluidez e propriedades de armazenamento como baixa umidade, em comparação com os pós sem o uso de carreadores como a maltodextrina.

Movahhed e Mohebbi (2016) ao estudarem a secagem de suco de cenoura-aipo por *spray drying* observaram efeito significativo da maltodextrina e da temperatura do ar de entrada na umidade dos pós. Os autores relataram que o aumento da temperatura do ar resultou em menor umidade, porque a temperatura mais alta concluiu alta difusão das partículas.

Como esperado, considerando-se os baixos valores de umidade obtidos, os pós apresentaram em geral valores reduzidos de atividade de água. Adhikari e colaboradores (2004) explicaram que o soluto com alto peso molecular, como a maltodextrina, apresenta baixa difusividade da água em comparação com os compostos de baixo peso molecular (como a sacarose e frutose) durante o processo de secagem. Assim, a utilização da maltodextrina em concentração adequada para cada produto, reduz a difusividade da água e ajuda a diminuir a umidade no produto final após a secagem, contribuindo para que o mesmo seja conservado.

Na Tabela 21 estão apresentados os parâmetros estimados por regressão múltipla para representar a variação da atividade de água para os pós obtidos na secagem do suco de abacaxi com hortelã com maltodextrina do planejamento fatorial em função das variáveis independentes, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 21 – Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para atividade de água.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	0,225	0,000
T	-0,033	0,000
V	0,036	0,000
$T \times M$	-0,026	0,000
$V \times M$	0,018	0,007

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura (°C) de secagem, V à vazão de alimentação da amostra ($L.h^{-1}$) e M corresponde à concentração de maltodextrina (%).

Para equação da atividade de água foi encontrado um valor de R^2 de 0,9091. Por meio da Tabela 21, observa-se que a maltodextrina em interação com a temperatura e vazão de alimentação da amostra apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,10$) na atividade de água dos pós.

Sousa e colaboradores (2015) ao secarem polpa de atemoia por meio do *spray drying* observaram que a adição de maltodextrina promove várias vantagens ao produto final, tais como aumento da vida de prateleira (devido a redução de atividade de água), e principalmente facilita o processo de secagem por atomização, pois a maioria das polpas de frutas apresentam alto teor de açúcares, sendo estas propícias a caramelização, o que pode inviabilizar o processo.

De acordo com Zhang e colaboradores (2019), a adição de maltodextrina antes da secagem em *spray dryer* aumenta o conteúdo de sólidos totais da mistura a ser alimentada no equipamento, reduzindo a quantidade de água a ser evaporada, o que acarreta a diminuição da umidade e consequentemente a atividade de água dos pós produzidos.

Higroscopicidade

Na Tabela 22 estão apresentados os parâmetros estimados por regressão múltipla para representar a variação da higroscopicidade dos pós obtidos na secagem do suco de abacaxi com hortelã com maltodextrina do planejamento fatorial em função das variáveis independentes, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 22- Efeito e nível de significância estatística dos fatores significativos do modelo para higroscopicidade.

Fatores	Efeito	Estatística (p)
Média	27,489	0,000
U	1,352	0,025
M	-2,344	0,000
$T \times U$	1,238	0,037
$V \times U$	-1,107	0,058

Termos significativos a 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Em que T corresponde à temperatura ($^{\circ}\text{C}$), V à vazão de alimentação da amostra ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$) e U é a vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), e M é a concentração de maltodextrina.

Para a equação da higroscopicidade foi encontrado um quadrado do coeficiente de correlação da regressão de 0,8105. Todas as variáveis influenciaram individualmente e/ou por meio de interação, de forma estatisticamente significativa na higroscopicidade, considerando 10% de nível de significância.

Na Tabela 22 está mostrado que a maltodextrina de forma isolada interferiu significativamente ($p \leq 0,10$) na higroscopicidade dos pós. Isso pode ter acontecido devido às baixas propriedades higroscópicas do material. Além disso, neste trabalho foi utilizada a maltodextrina 10DE e de acordo com Goula e Adamopoulos (2008) a maltodextrina com menor dextrose equivalente (DE) fornece pós menos higroscópicos. Tonon e colaboradores (2011) explicaram que esse fato é devido à maltodextrina com menor DE apresentar menos grupos hidrofilicos e, consequentemente adsorvendo menor quantidade de água.

Muzaffar e Kumar (2015) ao estudarem a otimização dos parâmetros da secagem de polpa de tamarindo em *spray dryer*, observaram que a vazão de alimentação e a temperatura de secagem influenciaram na higroscopicidade dos pós. Os autores observaram que o aumento da vazão de alimentação e a diminuição da temperatura de secagem reduziu a higroscopicidade dos pós, e essas variáveis aumentaram a umidade. Eles concluíram que quanto maior a umidade das amostras, menor a tendência de adsorver umidade do ar, o que está relacionado com o menor gradiente de concentração entre a amostra em pó e o ar circundante.

Muzaffar e colaboradores (2018) ao revisarem trabalhos na literatura sobre a secagem de suco de frutas por meio do *spray drying* concluíram que problemas de aderência durante a secagem de suco de frutas por atomização podem ser minimizados pelo uso de agentes carreadores de alto peso molecular que aumentam a temperatura de transição vítreia do pó resultante. Os autores também observaram que as características

dos pós resultantes da secagem são influenciadas pelas concentrações de agentes carreadores e variáveis do equipamento como a temperatura de secagem e vazão de alimentação da amostra.

Para avaliar a capacidade de adsorção dos pós secos por *spray drying* com e sem agentes carreadores, foram realizadas análises de isoterma de sorção e umidade e os modelos de GAB e BET foram ajustados aos dados.

Isoterma de sorção e umidade

Os dados de umidade de equilíbrio dos pós de abacaxi com hortelã produzidos por *spray drying*, com e sem maltodextrina e submetidos à análise de isoterma de sorção estão apresentados na Tabela 23. E na Tabela 24 estão apresentados os parâmetros dos modelos de GAB e BET estimados a partir dos dados de sorção de umidade.

Tabela 23 - Umidades de equilíbrio dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em *spray drying* com e sem agentes carreadores.

Umidade de equilíbrio (g água. g⁻¹ sólidos secos)		
aw	SD	SDM
0,113	0,238±0,007	0,162±0,000
0,328	0,201±0,002	0,150±0,000
0,529	0,262±0,010	0,227±0,002
0,654	0,272±0,001	0,305±0,002
0,689	0,321±0,351	0,354±0,002
0,753	0,426±0,010	0,402±0,002
0,843	0,736±0,001	0,601±0,003
0,903	0,942±0,009	0,746±0,003

Em que SD corresponde à secagem de suco de abacaxi com hortelã sem maltodextrina em *spray dryer* e SDM a secagem de suco de abacaxi com hortelã com 3% de maltodextrina em *spray dryer*.

Tabela 24- Parâmetros de GAB e BET estimados a partir dos dados de sorção de umidade.

Modelos Parâmetros	GAB		BET	
	SD	SDM	SD	SDM
C	1443934	721584	33,316	1,557
K	0,964	0,927	-	-
Xm	0,124	0,128	0,124	0,141
RMSE	0,023	0,003	0,029	0,008
R ²	0,965	0,992	0,956	0,984

Nas figuras 29 e 30 estão apresentados os modelos de GAB e BET para os dados experimentais de adsorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã obtidos na secagem por *spray drying*. As condições utilizadas foram correspondentes aos pontos centrais do PCCO em que a temperatura de secagem foi 105 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,6 L.h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,75 m³.min⁻¹ sem maltodextrina e com a adição de 3% do carreador.

Figura 29- Dados experimentais e o modelo de GAB ajustado aos dados de isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em *spray dryer*.

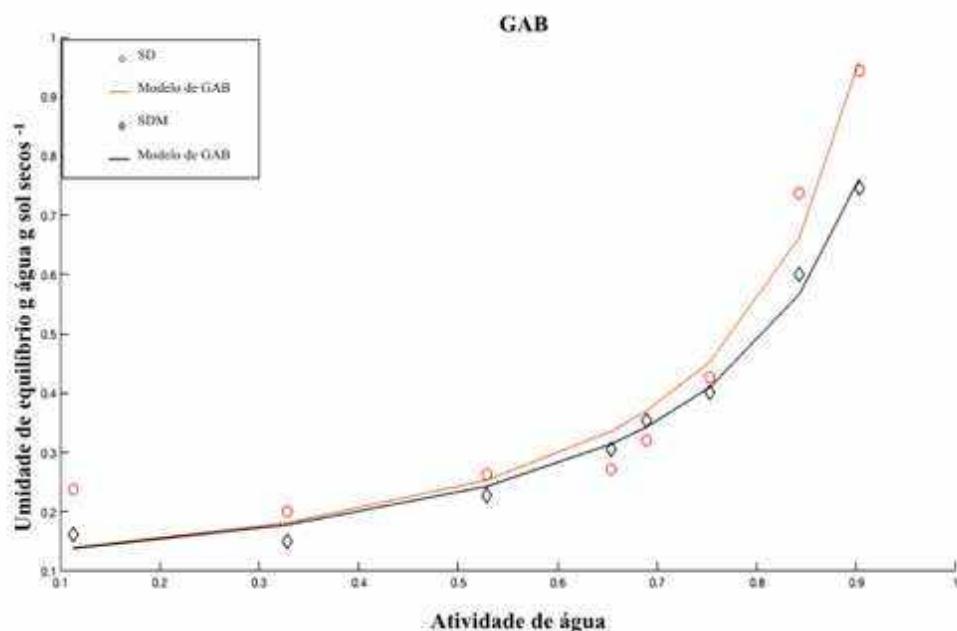
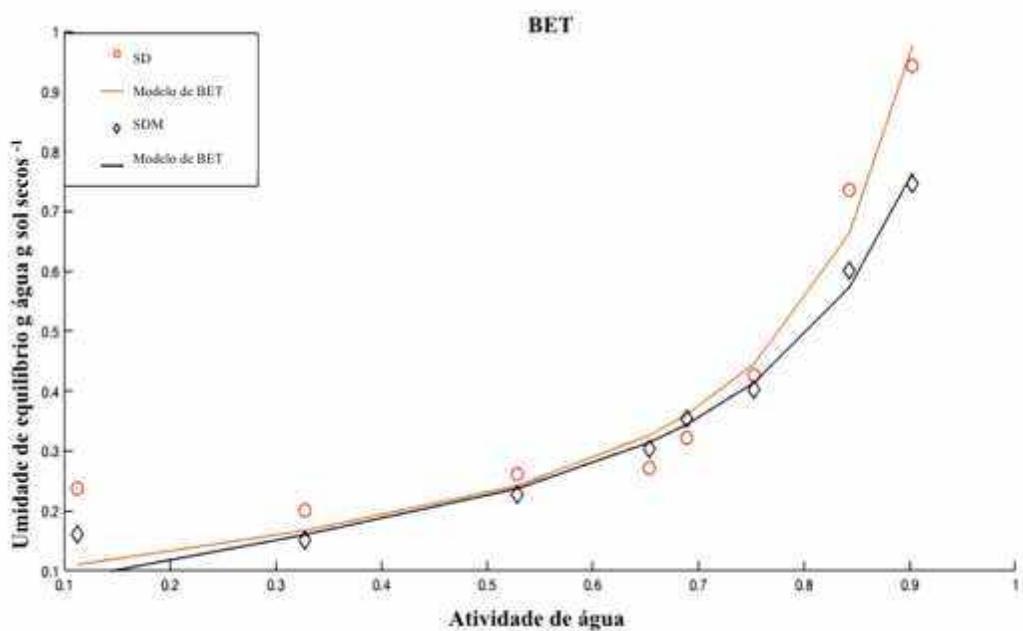


Figura 30- Dados experimentais e o modelo de BET ajustado aos dados de isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã produzidos pela secagem em *spray dryer*.



As curvas referentes aos dados experimentais e os modelos de GAB e BET ajustados aos dados de isotermas de sorção de umidade dos pós de abacaxi com hortelã mostraram comportamento semelhante, sendo classificadas de acordo com Brunauer como isotermas do tipo III, ou isoterma de Flory-Huggins (RIZVI, 1995). Zotarelli e colaboradores (2017) ao realizarem secagem de polpa de manga por *spray drying* também observaram o mesmo comportamento para as isotermas com e sem maltodextrina, ou seja, isotermas do tipo III. Os valores do coeficiente de correlação R^2 foram superiores a 0,95 e o RMSE inferiores a 0,03. Os modelos de GAB e BET são baseados no conceito de umidade na monocamada (X_m), sendo este um parâmetro importante para avaliação da estabilidade dos alimentos (FENNEMA, 1996).

Os resultados do conteúdo de X_m apresentados na Tabela 24 demonstram que as amostras contendo maltodextrina apresentaram maiores valores de X_m com 0,128 e 0,141 g água. g⁻¹ sólidos secos para os modelos de GAB e BET, respectivamente, em comparação com as amostras de pó de suco de abacaxi com hortelã sem agente, com valores de 0,124 g água. g⁻¹ sólidos secos em ambos os modelos. Portanto, o pó de suco de abacaxi com hortelã se mostrou mais estável com a adição de maltodextrina, mesmo adicionada em baixa concentração, provavelmente devido a estrutura química menos hidrofílica do carreador.

Para ambos os modelos foi possível observar que em umidades relativas de até 50% a adsorção de umidade das amostras de pó de abacaxi com hortelã com e sem maltodextrina apresentaram comportamento semelhante, ou seja, as partículas se mantiveram menos aglomeradas em umidades relativas mais baixas. De acordo com Fitzpatrick e colaboradores (2008) em umidade relativa mais baixa os materiais tendem a ter uma baixa afinidade para adsorver a água, no entanto acima de uma umidade relativa crítica, os materiais rapidamente adsorvem água e podem resultar na dissolução de componentes solúveis na superfície da amostra.

Muzaffar e Kumar (2016) ao estudarem as isotermas de sorção de umidade no armazenamento de pós de tamarindo obtidos por meio da secagem por atomização, observaram que as isotermas de sorção revelaram um aumento na umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água a uma temperatura constante, comportamento típico de materiais amorfos ricos em componentes hidrofilicos. Os autores também observaram que em baixa atividade de água a umidade de equilíbrio aumentou linearmente, já em atividade de água mais alta, observou-se um aumento acentuado na umidade de equilíbrio. Tonon e colaboradores (2011) ao realizarem a secagem de açaí, por meio do *spray drying*, observaram que as amostras armazenadas em umidades relativas de 43% ou inferiores, mantiveram a fluidez e não aglomeraram. Para umidades relativas superiores a 43% as amostras começaram a sofrer o fenômeno de aglomeração. Os autores também observaram que em 53% de umidade relativa, as partículas mostraram um começo de aglomeração e o pó não podia fluir tão facilmente.

Por meio das Figuras 29 e 30 também foi possível observar que em umidades relativas superiores a 50% as amostras com maltodextrina apresentaram menor adsorção de umidade, quando comparadas às amostras sem o agente carreador. Esse fato evidencia que a maltodextrina diminuiu o poder de adsorção dos pós.

6.CONCLUSÃO

Os resultados obtidos em ambos os planejamentos experimentais realizados demonstraram que, foi possível realizar a secagem de suco de abacaxi com hortelã por meio do *spray dryer* tanto com quanto sem a utilização de maltodextrina nas condições (-1 e +1) das variáveis independentes (temperatura de secagem de 90 e 120 °C, vazão de alimentação da amostra de 0,4 e 0,8 L.h⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,60 e 1,90 m³min⁻¹ e maltodextrina de 0 e 3%). Além disso, as variáveis independentes interferiram nas características como rendimento, atividade de água, higroscopicidade e cor dos pós que foram obtidos na secagem por atomização.

Mesmo sem a maltodextrina foi possível obter a coloração verde (proveniente da hortelã) para o pó de suco de abacaxi com hortelã, sendo a cor desejável para esse tipo de produto, além disso os pós apresentaram em geral baixa umidade e atividade de água e alta solubilidade. Por outro lado, a maltodextrina diminuiu a higroscopicidade dos pós e aumentou o rendimento da secagem, com valores de até 54% mesmo quando adicionado em baixa quantidade (3% em relação a massa total alimentada). Os pós com 3% de maltodextrina também apresentaram maior valor de umidade na monocamada (Xm) quando comparados aos pós sem agente carreador e a microscopia eletrônica de varredura mostrou a formação de partículas menos aglomeradas com a presença do agente carreador.

Portanto o fato de ser possível realizar a secagem de suco de abacaxi com hortelã com baixa quantidade e/ou sem a adição de agente carreador é muito satisfatório para as indústrias e consumidores. Isso se deve ao fato de os consumidores estarem cada vez mais exigentes, preferindo produtos sem o uso de aditivos como a maltodextrina e/ou que sejam semelhantes aos naturais. Além disso, para as indústrias é mais viável economicamente que se utilize menor quantidade de agentes carreadores na fabricação de produtos.

7.REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R.; TROUG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, n. 1, p. 53-68, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00171-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00171-7)
- ADSERSEN, A.; GAUGUIN, B.; GUDIKSEN, L.; JAGER, A. K., 2006. Screening of plants used in Danish folk medicine to treat memory dysfunction for acetylcholinesterase inhibitory activity. **Journal of Ethnopharmacology** 104, p. 418–422, 2006.<https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.09.032>
- AGUILERA, J. M., STANLEY, D. W. **Microstructural Principles of Food Processing and Engineering**. An Aspen Publication, 1999.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A.J. DE M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.11-20, 2007. <https://www.researchgate.net/publication/237035780>
- ALVES, A.I.; RODRIGUES, Z.M.; PINTO, M.R.M.R.; VANZELA, E.S.L.; STRINGHETA, P.C.; PERRONE, I.T.; RAMOS, A.M. Morphological characterization of pequi extract microencapsulated through spray drying. **International Journal of Food Properties**, v.20, 2017. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1343344>
- ARAUJO-DÍAZ, S.B; LEYVA-PORRAS, C; AGUIRRE-BAÑUELOS, P. ÁLVAREZ-SALAS, C.; SAAVEDRA-LEOS, Z. Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. **Carbohydrate Polymers**, v. 167, p.317–325, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.065>
- ARAÚJO, A. C.; SILVA, F. H. L; GOMES, J.P; SILVA, F. B. Caracterização da qualidade de néctar misto de carambola com hortelã. **Revista Agropecuária Técnica, Areia-PB**, v. 39, n. 1, p. 68-72, 2018. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v39i1.33115>
- AYROSA, A. M. I. B. Atividade de água e suas aplicações nos processos de conservação, secagem e manipulação de alimentos e medicamentos. **Revista de Engenharia FAAP**, v.18, p.41-47, 2005.
- BAKAR, J., EE, S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; Adzahan, N. Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, 6, p. 1332e1342, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0842-5>
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., VEGA-MERCADO, H. **Dehydratation of Foods**. Chapman & Hall, 1996. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2456-1>
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In C. Onwulata (Ed.), Encapsulated and powdered foods (pp. 39e71). Washington: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. <https://doi.org/10.1201/9781420028300.ch3>

BAZARIA, B; KUMAR, P. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using repose surface methodology (RSM). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.09.007>

BELLAGHA, S.; SAHLI, A.; BENZID, M.; FARHAT, A. Desorption isotherms of fresh and osmotically dehydrated apples (Golden delicious). **Revue des Energies Renouvelables**, n.2, p.45-52, 2008.
<https://www.researchgate.net/publication/267772763>

BHANDARI, B. R. **Stickiness and Caking in Food Preservation**. In: M. S. RAHMAN, Handbook of Food Preservation. p. 387-401, CRC Press, 2007.
<https://doi.org/10.1201/9781420017373.ch17>

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. **Phase transitions during food powder production and powder stability**. In: Onwulata, C. (Ed.). Encapsulated and powdered foods. Boca Raton: Taylor & Francis, p. 261-292, 2005.
<https://doi.org/10.1201/9781420028300.ch11>

BHANDARI, B.R., ADHIKARI, B. Water activity in food processing and preservation In **Drying Technologies in Food Processing**, Edited by Chen, X. D., Mujumdar, A.S. John Wiley & Sons Ltd, 2008. <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:25255>

BOX, G.E.P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, analysis and model building**. John Wiley & Sons. p. 1-14; 291-344; 510-552. 1978.

BRANCO, I.G.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; SILVA, M.M.; PAULA, T.M. Avaliação sensorial estabilidade físico-química de um blend e laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 1, v.27, p.787-792, 2007.
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100002>

BRASIL. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais". Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_269_2005.pdf/2e95553ca482-45c3-bdd1-f96162d607b3>. Acesso em: 16 de Jan de 2019.

BRUGNERA, A.; CARDOSO, D.; BOUERI, M.A.; MALUF, W.R. **Cultivo e propriedades medicinais da hortelã**. Boletim Técnico de Hortaliças Nº 34. UFLA, Departamento de Agricultura, 1^a ed. Julho, 1999.

BUTZGE, J.J. **Secagem de Colágeno Hidrolisado com Polpa de Frutas em Leito de Jorro e Spray Dryer: obtenção de um alimento em pó com compostos bioativos**. 2016. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/330563>

CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P., RAMOS, A., & CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its

functional characterization. Innovative **Food Science & Emerging Technologies**, 6, p. 420e428, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

CAPARINO, O. A., TANG, J., 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**, 111, p.135e148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>

CARNEIRO, H. C. F. **Microencapsulação de óleo de linhaça por spray drying: influência da utilização de diferentes combinações de materiais de parede.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/255170>

CARVALHO, C. D.; KIST, B.B.; SANTOS, C.E.; TREICHEL, M.; FILTER, C.F.; **Anuário Brasileiro da Fruticultura 2017.** Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, p. 28-29, 2017.

CARVALHO, C. M.; FIGUERÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; GURJÃO, F.F.; Caracterização do pó de umbu-cajá com leite de cabra e maltodextrina obtido pelo método de secagem em spray dryer. **Tecnol. & Ciênc. Agropec.**, João Pessoa, v.11, n.2, p.37-42, jun. 2017.

CAVALCANTE, C.E.B; RODRIGUES, S; AFONSO, M.R.A; COSTA, J.M.C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. Campinas, v. 20, e2016015, **Brazilian Journal of Food Technology**, 2017. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.1516>

CELESTINO. S.M.C.; Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1 ed, p. 51, 2010.

CEYLAN, I.; GÜREL, A. E. G. Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves. **Applied Thermal Engineering**. p. 899-905, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.077>

CHANG-GON LEE.; JIANG, GUI-HUN.; EUN, JONG-BANG. Color, bioactive compounds and morphological characteristics of encapsulated Asian pear juice powder during spray drying. **J Food Sci Technol.** 54(9). p. 2717–2727, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2708-3>

CHOUDHURY, R.P., KUMAR, A., GARG, A.N. Analysis of Indian mint (*Mentha spicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behaviour. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis** 7, p. 825–832, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.01.048>

CHUNG, M.M.S. **Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedesiana* Berg) desidratada em Spray Dryer: Efeitos das condições de processo e composição de alimentação nas propriedades físico químicas e atividade antioxidante.** (Dissertação

de Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, 2016. DOI: [10.11606/D.74.2016.tde-11042016-141350](https://doi.org/10.11606/D.74.2016.tde-11042016-141350)

CRESTANI, M.; BARBIERILL, R. L.; HAWERROTHL, F. J.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Das Américas para o Mundo - origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 40, n. 6, p. 1473-1483, jun. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000600040>

CUNHA, K. D.; SILVA, P.R.; COSTA, F.; TEODORO, A.J.; Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. Campinas, **Brazilian Journal of Food technology**. v. 17, n. 2, p. 139-145, abr./jun. 2014. <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.016>

DACANAL, G. C., MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed bed agglomeration. **Power Technology**, 203, 3, pp. 565-573, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.06.023>

DANTAS, D.; PASQUALI, M.A.; CAVALCANTI-MATA, M.; DUARTE, M.E.; LISBOA, H.M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry** 266, p. 284–291, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.016>

DOMIJAN, A. M.; PERAICA, M.; ZLENDER, V.; CVJETKOVIC, B.; JURJEVIC, Z.; TOPOLOVEC-PINTARIC, S.; IVIC, D.; Seed borne fungi and ochratoxina: a contamination of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, n. 3, p. 427-432, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.12.002>

DU, J., GE, Z.-Z., XU, Z., ZOU, B., ZHANG, Y., & LI, C.-M. Comparison of the efficiency of five different drying carriers on the spray drying of persimmon pulp powders. **Drying Technology**, 32, p.1157e1166, 2014. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.886259>

DURIGON, A.; DE SOUZA, 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 p. 145–155, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

ELNAGGAR, Y.S.R.; EL-MASSIK, A.M.; ABDALLAH O.Y.; EBIAN, A.E.R. Maltodextrin: a novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process. **AAPS Pharm SciTech**, v.11 p. 645-651, 2010. <https://doi.org/10.1208/s12249-010-9423-y>

FARIAS, J. P. DE; B.G.; LIMA, E. D. P. DE A. Obtenção de néctar de abacaxi (*Ananas comosus* L.) com adição de infusões de chá verde (*Camellia sinensis*), gengibre (*Zingiber officinale*) e hortelã (*Plectranthus amboinicus* L.). In: FÓRUM CIENTÍFICO DE DEBATES DA FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS DA PARAÍBA, 6., João Pessoa, **Anais...** p. 136, 2008.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food**

Technology, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2008.
<https://www.researchgate.net/publication/237521407>

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

FENNEMA, O. R. **Water and ice.** In: Fennema, O.R. (Ed.). Food Chemistry. New York, Marcel Dekker, p.17-94, 1996.

FERNANDES, R.V.B.; BORGES, S.V.; BOTREL, D.A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 33(Supl. 1): 171-178, fev. 2013.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013000500025>

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTTO, F. Z.; Aguirre, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v.47, p.1237-1245, 2012.<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02964.x>

FERREIRA, A.E.; SIQUEIRA, H. E.; VILAS BOAS, E.V.; HERMES, S.V.; RIOS, A.O.; Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante de Frutos de Cultivares de Abacaxizeiros. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 38, n.3. jun. 2016.
<http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016146>

FILKOVÁ, I., HUANG, L. X., &MUJUMDAR, A. S. **Industrial spray drying systems.** In Mujumdar, A. S. Handbook of Industrial Drying. Taylor & Francis Group, 2006.

FITZPATRICK, J.J., O'CALLAGHAN, E., e O'FLYNN, J. Application of novel cake strength tester for investigation caking of skim milk powder. **Food and Bioproducts Processing**, 83(3), p. 198-203, 2008.<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2007.10.009>

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1-2, p. 72-78, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.07.022>

FRANCO, M. B. D. G.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos.** 1. ed.SãoPaulo: Atheneu, 182p, 2008.

FRANKOWICZ, M.; CHRENOWSKI, M. Application of Preisach model to adsorption – desorption hysteresis. **Physica B**, v.372, p.219-221, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.physb.2005.10.052>

FREITAS, E.F.M.; LOPES, L.L.; DE FREITAS, S.M.; CAMPOS, A. A. J. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi 'Pérola' atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, 42(1), p. 275-282, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA18056>

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products.** Soeborg: GEA Niro, 103 p. (GEA Niro Analytical Methods 14a-15a), 2003.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Separation Processes Principles**, 2003.

GHARSALLAOUI, A.; SAUREL, R.; CHAMBIM, O.; VOILLEY, A. Pea (*Pisum sativum*, L.) protein isolate stabilized emulsions: a novel system for microencapsulation of lipophilic ingredients by spray drying. **Food Bioprocess Technol.**, 5, p. 2211-2221, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0497-z>

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v 11, p 342-351, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>

GRASSI, T. L.M.; MARCOS, M.T. S.; CAVAZZANA , J.F.; PONSANO, E.H .G.. Desidratação de claras de ovos por atomização. **Cienc. anim. bras.**, Goiânia, v.17, n.4, p. 601-607, jul./set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1089-6891v17i438077>.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards – Physics and Chemistry**, 81(1), p. 89–96, 1997. DOI: [10.6028/jres.081A.011](https://doi.org/10.6028/jres.081A.011)

GRISI, M. C. M.; SILVA, D.B.; ALVES, R.B.N.; GRACINDO, L. A.M.B.; VIEIRA, R.F. Avaliação de genótipos de Menta (*Mentha spp*) nas condições do Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. 4, p. 33-39, 2006.

INTIPUNYA, P., BHANDARI, B. R. **Chemical deterioration and physical instability of food and beverages**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2010.

JAFARI, S.M; GHALENOEI, M.G; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology** 311, p.59–65, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>

JANGAM, S. V., E MUJUMDAR, A. S. **Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1**.Ed. Jangam, S. V.; Law, C. L.; Mujumdar, A. S. Singapura, 2010.

JINAPONG, N., SUPHANTHARIKA, M., & JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, 84, p.194e205, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Microencapsulation of Gac Oil by Spray Drying: Optimization of Wall Material Concentration and Oil Load Using Response Surface Methodology. **Drying Technology**, 32: 385–397, 2014.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2013.829854>

KOÇ, G. Ç.; DIRIM, S.N. Spray Drying of Spinach Juice: Characterization, Chemical Composition, and Storage. **Journal of Food Science** Vol. 82, n.12, p. 2863- 2884, 2017. DOI: [10.1111/1750-3841.13970](https://doi.org/10.1111/1750-3841.13970)

LIU, P.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A.S. Comparison of three microwave-assisted drying methods on the physicochemical, nutritional and sensory qualities of restructured purple-fleshed sweet potato granules. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 141–147, 2012.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02819.x>

LORANTY, A.; REMBIAŁKOWSKA, E.; ROSA, E.S.A.; BENNETT, R.N. Identification, quantification and availability of carotenoids and chlorophylls in fruit, herb and medicinal teas. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 5, p. 432-441, Aug 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.01.007>

LORENZI, Harri; ABREU MATOS, F.J. **Plantas Medicinais no Brasil Nativas e Exóticas**. Instituto Plantarum, 2^a Edição, Nova Odessa – SP - Brasil, 2008.

MACHADO, V.G. **Obtenção de Tomate em Pó por Atomização: Influência das Variáveis de Processo na Qualidade do Produto**. 2010. 158 f. (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/256469>

MAGALHÃES, F.S. **Secagem e Caracterização de suco de abacaxi em pó (Ananas comosus L.) Obtido por Spray Drying**. 2015. (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas, Patos de Minas, Minas Gerais, 2015.

MASTERS, K. **Spray Drying in Practice**; Spray Dry Consult Intl.: Copenhagen 6th ed, p. 464, 2002.

MARTIN, L.G.P. **Estudo da secagem da polpa de cupuaçu por atomização**. 2013. 110 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MATSUURA, F. C. A. U.; ROLIM, R. B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um "blend" com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n.1, v.24, 2002.<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000100030>.

MESTRY, A. P.; MUJUMDAR, A. S.; THORAT, B. N. Optimization of Spray Drying of an Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon. **Drying Technology**, v. online, p. 1-11, 2011. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.566968>

MISHRA, P.; MISHRA, S.; LATA MAHANTA, C.L.; Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing** v.92, p 252–258, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.003>

MORAES-DE-SOUZA, R. A. **Potencial antioxidante e composição fenólica de infusões de ervas consumidas no Brasil**. Dissertação apresentada na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP, p. 59, 2007.

DOI: [10.11606/D.11.2007.tde-08082007-165038](https://doi.org/10.11606/D.11.2007.tde-08082007-165038)

MOVAHHED, M.K.; MOHEBBI, M. Spray Drying and Process Optimization of Carrot–Celery Juice. **Journal of Food Processing and Preservation** v. 40, p. 212–225, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12598>

MUZAFFAR KHALID.; KUMAR PARADYUMAN.; Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology** 291 p. 322–327, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

MUZAFFAR, K.; NAYIK, G.A.; KUMAR, P. Production of Fruit Juice Powders by Spray Drying Technology. **International journal of advance research in science and engineering**, v. 7, p. 59-67, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/327231369>

MUZAFFAR, K.; WANI, S. A.; DINKARRAO, B. V.; KUMAR, P.; Determination of production efficiency, color, glass transition, and sticky point temperature of spray-dried pomegranate juice powder. **Cogent Food & Agriculture**, 2016. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1144444>

NINDO, C. I., & TANG, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, 25, pp. 37-48, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>

NURHADI, B.; ANDOYO, R.; INDIATRO, M.; INDIARTO, R. Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. **Int. Food Res. J.**, 19, p. 907-912, 2012. <https://www.researchgate.net/publication/275947213>

ORDÓÑEZ, J. A; RODRIGUES, M. I. C.; ÁLVARES, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G.F; PERALES, L. H; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de Alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

OZGEN, U., MAVI, A., TERZİ, Z., YILDIRIM, A., COSKUM, M., HOUGHTON, P.J. Antioxidant properties of some medicinal Lamiaceae (Labiatae) species. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis** 44, p. 107–112, 2006. <https://doi.org/10.1080/13880200600592061>

PARK, K.J.; NOGUEIRA, R.I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. Em: **Engenharia Rural**, Piracicaba: ESALQ/USP, v. 3, n. 1, p.81-86, 1992.

PENG, Z.; LI, J.; GUAN, Y.; ZHAO, G. Effect of carriers on psysicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. **LWT – Food Sciences & Technology**, v.51, p. 348-355, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.022>

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, 19, p. 1297e1306, 2012.

PINTO, M.R.M.R. **Obtenção de extratos de carotenoides de polpa de queijo (Caryocar brasiliense camb.) encapsulados pelo método de secagem em camada de**

espuma. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, 86 p, 2012. <http://locus.ufv.br/handle/123456789/2922>

PONCIANO, I.A. Secagem por spray drying de suco de abacaxi com hortelã e avaliação sensorial do suco reconstituído. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2017. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21262>

QUEK, S. Y., CHOK, N. K., SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification.** 46, p. 386 e 392, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>

QUINTERO, A. C. F. **Desidratação de abacaxi: modelos de secagem, avaliação de qualidade e efeito de embalagem.** 2007. 98f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
<http://locus.ufv.br/handle/123456789/2821>

RAMOS, A.M.; QUINTERO, A.C.F.; FARAOXI, A.S.; SOARES, N.F.F.; PEREIRA, J.A.M. Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades físico-química e microbiológica de abacaxi desidratado. **Alimentos e Nutrição.** v.19, n.3, p. 259-269, jul./set. 2008. <https://www.researchgate.net/publication/49599933>

RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology,** v.16, n.6, p.1195-1236, 1998. <https://doi.org/10.1080/07373939808917460>

RIZVI, S.S.H; **Thermodynamic Properties of Food in Dehydration**, in: M.A. Rao, S.S.H. Rizvi, A.K. Datta (Eds.), *Engineering Properties of Foods*, third edCRC Press, Boca Rat-ton Fl, pp. 359–436, 1995.

ROCHA, T.; MARTY-AUDOUIN, C.; LEBERT, A. Effect of Drying Temperature and Blanching on the Degradation of Chlorophyll a and b in Mint (*Mentha spicata* Huds.) and Basil (*Ocimum basilicum*): Analysis by High Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection. **Chromatographia** Vol. 36, 1993.
DOI: [10.1007/BF02263853](https://doi.org/10.1007/BF02263853)

ROOS, Y. Characterization of Food Polymers Using State Diagrams. **Journal of Food Engineering,** 24, p. 339-360, 1995. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)90050-L)

ROOS, Y. H. Glass transition temperature and its relevance in food processing. **Annual Review of Food Science and Technology,** v. 1, p. 469-496, 2010.
<https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124139>

ROSA, J.R.; NUNES, G.L.; MOTTA, M.H.; FORTESA, J.P.; WEISA, G.C.C.; HECKTHEUERA, L.H.R.; MULLERC, E.I.; MENEZESA, C.R.; ROSA, C.S. Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. **Food Hydrocolloids,** 89, p. 742–748, 2019.<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.042>

SANTANA, A.A.; CANO-HIGUITA, D.M.; OLIVEIRA, R.A.; TELIS, V. R.N. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry** 212.p. 1–9, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.148>

SANTANA, R.C. **Efeito da Altura da Coluna na Flotação de Minério Fosfático em Diferentes Granulometrias.** 2011. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2011. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15054>

SANHALAKSHMY, S., BOSCO, S. J. D., FRANCIS, S., SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, 274, p. 37e43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>

SANTIAGO-ADAME, R.; MEDINA-TORRES, L.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; CALDERAS, F.; GONZALES LAREDO, R. F.; ROCHA-GUZMAN N. E.; OCHOA-MARTINEZ, L. A.; BERNARD-BERNARD, M. S. Spray drying – microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. **LWT- Food Science and Technology**, 65, p. 571-577, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>

SANTOS, R. C. S. DOS. **Microencapsulação de *Lactobacillus casei* por spray drying.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. <http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29271>

SCHAIDT, A.L.; **Produção e caracterização de snacks de abacaxi com amido pré-gelatinizado.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192746>

SHISHIR, M. R. I; WEI CHEN, W. Review: Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology** 65 p. 49-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

SILVA, J. S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenamento.** Viçosa: Aprenda Fácil, 1999. 145p. maio de 2004.

SILVA, M. V. da; JUNIOR BOGDAN, D.; VISENTAINER, J. V. Produção e caracterização de maltodextrinas e sua aplicação na microencapsulação de compostos alimentícios por spray drying. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 1, jan./jun. 2014. [DOI: 10.5935/RECEN.2014.01.07](https://doi.org/10.5935/RECEN.2014.01.07)

SINGLETON, V. L.; ROSSI JR., J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphostungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, 1965.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers,

Advances in Colloid and Interface Science, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.05.003>

SOUZA, K.S.M.; FIGUEREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J. M.; FERNANDES, T. K.S. Production and characterization of atemoya pulp powder. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v 37, n.3, p 718-729, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-135/14>

SOUZA, A.L.R.; HIDALGO-CHÁVEZB. D.W.; PONTESC, S.M.; GOMESC, F.S.; CABRALC.L.M.C, TONON.R.V.; Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. **LWT - Food Science and Technology** v. 91, p. 286-292, 2018.<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.053>

SOUZA, L. M; CORREIA, K. C; SANTOS, A. M. G; BARRETO, L. P; BEZERRA NETO, E. **Comparação de metodologias de análise de pH e acidez titulável em polpa de melão**. Em: X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, UFRPE, Recife, 2010.

SOUZA, V.B.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, C.C.; Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and bioproducts processing**. 9 3 p. 39–50, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.11.001>

SUZIHAQUE, M.U.H.; HASHIB. S.A.; IBRAHIM, U. K.; Effect of inlet temperature on pineapple powder and banana milk powder. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** 195 p. 2829 – 2838, 2015.<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.401>

TABNUT: **Tabela de composição química dos alimentos**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/02065/hortela-fresco> . Acesso em: 12 jan. 2018.

TADINI, C. C., TELIS, V.R.N., MEIRELLES, A.J.A., PESSOA FILHO, P. A. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. v.2, Rio de Janeiro. LTC, 2016.

TAIP, F.S; SHISHIR, M.R.I.; AZIZ, N.A.; TALIB, R.A.; SAIFULLAH.M. Effect of Maltodextrin Concentrations at different drying temperatures on the Physical and Drying Properties of the Spray-dried Pink Guava Powder. **Journal of Applied Science and Agriculture**, 10(5), p.176-182, 2015.
<https://www.researchgate.net/publication/308321440>

TANAKA, D. L. **Influência da Desidratação por Spray Drying sobre o Teor Ácido Ascórbico no Suco de Acerola (*Malpighia* ssp)**. 2007. 73f. (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de São Paulo, Araraquara, 2007.
<http://hdl.handle.net/11449/88672>

TBCA. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Disponível em <<http://www.nware.com.br/tbca/tbca/#>> acesso em: 29.dez.2017.

THOMAS P. AND JANAVE M.T. (1992). Effect of temperature on chlorophyllase activity, chlorophyll degradation and carotenoids of Cavendish bananas during ripening. **International Journal of Food Science e Technol.** 27 p 57-63, 1992.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01178.x>

TOGNOLINI, M., BAROCELLI, E., BALLABENI, V., BRUNI, R., BIANCHI, A., CHIAVARINI, M., IMPICCIA- TORE, M. Comparative screening of plant essential oils: phenylpropanoid moiety as basic core for antiplatelet activity. **Life Sciences** 78, p.1419–1432, 2006.<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.07.020>

TOKITOMO, Y.; STEINHAUS, M.; BÜTNER, A.; SCHIEBERLE, P. Odor-active constituents in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 69, p.1323-1330, 2005. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.1323>

TONON, R.V.; FREITAS, S.S. ; HUBINGER, M.D. Spray drying of açai (euterpe oleraceae mart.) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, 35, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00518.x>

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Review- Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, 63 p. 91e102, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I – Moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 1, p.55-65, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.017>

VAN ARSDEL, W.B. e COPLEY, M.J., **Food Dehidration** Vol. 1. Principles.,AVI Publishing, 1963.

VON ELBE, J. H. Colorantes. In: FENNEMA, O. W. **Química de los alimentos**. 2.ed. Zaragoza: Wisconsin - Madison. Cap.10, p.782-799, 2000.

WANG, S.; LANGRISH, T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, v. 42, n. 1, p.13-25, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.006>

WANG, W.; JIANG, Y.; ZHOU, W. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. **Journal of Food Engineering**, 119 (4), p. 724-730, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.047>

WONG, C.W.; TEOH, C.Y.; PUTRI, C.E. Effect of enzymatic processing, inlet temperature, and maltodextrin concentration on the rheological and physicochemical properties of spray-dried banana (*Musa acuminata*) powder. **J Food Process Preserv**, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13451>

WONG, D.W.S. **Química de los alimentos: mecanismos y teoria**. Zargoza: Acribia, 1995.

YOUSEFI, S., EMAM-DJOMEH, Z., & MOUSAVID, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted

pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **Journal of Food Science and Technology**, 48, p.677e684, 2011. DOI:[10.1007/s13197-010-0195-x](https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x)

ZHANG, C.; QUEK., S.Y.; FUB, N.; LIU, B.; KILMARTINA, P.A .; CHENB, X. D. A study on the structure formation and properties of noni juice microencapsulated with maltodextrin and gum acacia using single droplet drying. **Food Hydrocolloids** 88 p. 199–209, 2019.<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.002>

ZOTARELLI, M.F; SILVA, V.M; HUBINGER, M.D; LAURINDO, J.B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology** 305, p. 447–454, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>