



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CHRISTIAN ALLEY DE ARAGÃO ALMEIDA

PERFIL DE COMPOSTOS BIOATIVOS E VOLÁTIL DOS PÓS DE JAMELÃO
(*Syzygium cumini*) OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO

SÃO CRISTÓVÃO, SE

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

CHRISTIAN ALLEY DE ARAGÃO ALMEIDA

**PERFIL DE COMPOSTOS BIOATIVOS E VOLÁTIL DOS PÓS DE JAMELÃO
(*Syzygium cumini*) OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito final à obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

Orientador: Dr. Narendra Narain

Agência Financiadora: Capes

SÃO CRISTÓVÃO, SE

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

A447p Almeida, Christian Alley de Aragão
Perfil de compostos bioativos e volátil dos pós de jamelão (*Syzygium cumini*) obtidos por diferentes métodos de desidratação / Christian Alley de Aragão Almeida ; orientadora Narendra Narain. – São Cristóvão, SE, 2019.
160 f.

Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Jamelão. 2. Compostos voláteis. 3. Compostos bioativos. 4. Spray-drying. 5. Secagem por congelamento. I. Narain, Narendra, orient. II. Título.

CDU: 664.8.047:582.936.1

CHRISTIAN ALLEY DE ARAGÃO ALMEIDA

**PERFIL DE COMPOSTOS BIOATIVOS E VOLÁTIL DOS PÓS DE JAMELÃO
(*Syzygium cumini*) OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO**

Dissertação de mestrado
aprovada no Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia de Alimentos
em 27 de Fevereiro de 2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Narendra Narain
Orientador/ PROCTA – UFS

Prof^ª. Dra. Patrícia Beltrão Lessa Constant
Examinador Interno/ PROCTA – UFS

Prof^ª. Dra. Maria Terezinha Santos Leite Neta
Examinador Externo/ LAF – UFS

SÃO CRISTÓVÃO, SE

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por ter me dado força, empenho, foco, inteligência, sabedoria e alegria em executar e finalizar este projeto, o qual foi feito com muita dedicação e esforço. A ele toda a gratidão e devossão do mundo por me amparar em todas as noites perdidas de sono, por não me deixar abater, por me fazer humilde diante de tudo e por me abençoar grandemente em tudo o que fiz e em tudo o que faço.

À minha família! Cada um deles foi peça fundamental para para o meu crescimento. Eles são e sempre serão os primeiros a acreditarem em mim, na minha capacidade, na minha força de vontade e nas minhas conquistas. Agradeço às minhas irmãs, Yve Caroline, Liv Nicole e Anne Danniele. Aos meus cunhados André Ricardo, José Oliveira e Sidney Ronny. Aos meus pais Edna Maria e Epaminondas Fonsêca. A eles minha eterna gratidão.

Agradeço em especial ao meu querido mestre, Professor Dr. Narendra, que me abriu as portas e me deu todo o apoio para a realização desta conquista. Também à minha coorientadora Maria Terezinha por todo o apoio e conselho durante esta fase e à equipe do LAF, que sempre me ajudou nas horas em que mais precisei. Serei eternamente grato por cada gesto e ajuda.

Agradeço à minha namorada, Bruna Costa, por sua paciência, força, apoio, palavras de conforto e toda a sua alegria em saber que eu estava concluindo mais uma etapa da minha vida. Agradeço também à sua família por todo o apoio dado e confiança depositados.

Quero agradecer, em especial, a uma pessoa que acompanha esta caminhada acadêmica há 8 anos, dos quais um sempre ajudou ao outro sem esperar nada em troca, apenas por empatia, amizade e a alegria de querer sempre ver o crescimento do outro. Obrigado Lucas Almeida por estar sempre por perto, tirando os risos de quem está por perto nas melhores horas e por contagiar com essa aura boa o ambiente.

Agradeço aos meus amigos que sempre torceram por cada passo dado, que me viram conquistar todas as coisas que eu almejo.

Obrigado, também, àqueles que não acreditaram, pois isso me motiva ainda mais em buscar aquilo que eu sonho.

E por fim agradeço a CAPES, que proporcionou a realização deste projeto, incentivando cada vez mais para o crescimento intelectual e científico dos discentes.

ALMEIDA, C. A. A. Perfil de compostos bioativos e volátil dos pós de jamelão (*Syzygium cumini*) obtidos por diferentes métodos de desidratação. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2019.

RESUMO

O jamelão (*Syzygium cumini* L.) é uma fruto com safra de janeiro a maio e possui uma alta produtividade. Para um melhor aproveitamento deste fruto riquíssimo em compostos benéficos à saúde e um aroma e sabor exótico e suave, faz-se a necessidade da aplicação de processos que aumentem a sua vida de prateleira e preservem as suas características, minimizando as perdas dos seus benefícios. O objetivo deste trabalho foi obter o produto desidratado da polpa/suco de jamelão através de diferentes métodos de desidratação, como liofilização, estufa de secagem e o processo de *spray drying*, caracterizá-los físico-quimicamente, quantificar seus compostos bioativos em LC-MS e identificar suas composições voláteis em GC-MS. A polpa apresentou 73,25 mg GAE/100 g de compostos fenólicos, 14,01 mg QE/100 g de flavonóides totais e 576,2 mg 3-cy-glicoside/100 g de antocianinas totais. A polpa mostrou também uma boa atividade antioxidante (DPPH - 255,2 $\mu\text{mol TE/g}$; ABTS - 2944,5 $\mu\text{mol TE/g}$ e FRAP - 2952,17 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$). Houve um aumento na concentração de fenólicos totais, flavonóides e antocianinas na polpa liofilizada, incidindo este aumento na atividade antioxidante (977,4 mg GAE/100 g de compostos fenólicos; 443,1 mg QE/100 g de flavonóides totais e 1116,4 mg 3-cy-glicoside/100 g; DPPH – 395,25 $\mu\text{mol TE/g}$; ABTS – 3331,5 $\mu\text{mol TE/g}$ e FRAP – 5311,11 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$). Já as polpas desidratadas em estufa, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, apresentaram uma redução destes compostos, bem como, das suas respectivas atividades antioxidantes. Dentre as amostras desidratadas em estufa, a de 40 °C apresentou os melhores resultados (203,6 mg GAE/100 g de compostos fenólicos; 51,05 mg QE/100 g de flavonóides totais e 766,9 mg 3-cy-glicoside/100 g; DPPH – 189,5 $\mu\text{mol TE/g}$; ABTS – 641,17 $\mu\text{mol TE/g}$ e FRAP – 656,8 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$). Na otimização do processo de *spray dryer*, apenas sofreram influência das variáveis independentes a coordenada a^* , a cromaticidade, a eficiência, os fenólicos totais, as antocianinas, turbidez, molhabilidade, índice de solubilidade em água e o índice de absorção de água. O modelo preditivo da função *Desirability* gerada foi de 17,3% de maltodextrina e 155 °C. Na validação, os valores reais das variáveis dependentes mostraram um baixo coeficiente de variação, confirmando a predição do modelo. O ácido gálico e a catequina foram destaques em todas as amostras, sendo a polpa *in natura* a que apresentou o maior conteúdo de bioativos, seguida da polpa liofilizada, da desidratada em estufa a 40 °C e do suco desidratado otimizado em *spray dryer*. A composição volátil da polpa e dos seus produtos desidratados mostrou que a classe dos terpenos é a que possui a maior porcentagem de compostos. Os compostos voláteis concomitante na polpa e em seus produtos desidratados foram: D-limoneno, copaeno, cariofileno, humuleno, γ -muuroleno e α -terpineol. Apenas o suco desidratado apresentou compostos furanos, que são compostos formados por indução térmica. Com isso, percebe-se que tanto a polpa de jamelão como seus produtos desidratados são ricas fontes de compostos bioativos, com significativa atividade antioxidante. Os pós produzidos conseguiram preservar alguns compostos voláteis presentes na polpa, aproximando assim do seu aroma e sabor característico do jamelão fresco.

Palavras-chave: jamelão, compostos voláteis, compostos bioativos, *spray-drying*, liofilização, GC-MS, LC-DAD.

ALMEIDA, C. A. A. Profile of bioactive and volatile compounds of the jambolão (*Syzygium cumini*) dried powders obtained by different methods of dehydration. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2019.

ABSTRACT

Jambolan (*Syzygium cumini* L.) is a fruit harvested from January to May and has a high productivity. For a better use of this rich fruit in health benefits, compounds with exotic and smooth aroma and flavor, it is necessary to apply processes that increase shelf life and preserve its characteristics, minimizing the loss of its benefits. The goal was to obtain the dehydrated powder from pulp/juice of jambolan through different dehydration methods, such as freeze drying, convective drying and the spray drying process, characterize them physico-chemically, quantify their bioactive compounds in LC-MS and identify their volatile compositions in GC-MS. The pulp contained 73,25 mg GAE/100 g of phenolic compounds, 14,01 mg QE/100 g of total flavonoids and 5762 mg 3-cy-glicoside/100 g of total anthocyanins. It also showed good antioxidant activity (DPPH – 255,2 $\mu\text{mol TE/g}$, ABTS – 2944,5 $\mu\text{mol TE/g}$ and FRAP – 2952,17 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$). There was an increase in the concentration of total phenolics, flavonoids and anthocyanins in the freeze-dried powder, with this increase in antioxidant activity (977,4 mg GAE/100 g of phenolic compounds, 443,1 mg QE/100 g of total flavonoids and 1116,4 μg ; 3-cy-glicoside/100 g, DPPH – 395,25 $\mu\text{mol TE/g}$, ABTS – 3331,5 $\mu\text{mol TE/g}$ and FRAP – 5311,11 $\mu\text{mol Fe}^{2+} / \text{g}$). The dehydrated powders obtained in the convective dryer, at temperatures of 40, 50 and 60 °C, presented a reduction of these compounds, as well as their respective antioxidant activities. Among the samples dehydrated in the convective dryer, the 40 °C showed the best results (203,6 mg GAE/100 g phenolic compounds, 51,05 mg QE/100 g total flavonoids and 766,9 mg 3-cy-glicoside/100 g, DPPH – 189,5 $\mu\text{mol TE/g}$, ABTS – 641,17 $\mu\text{mol TE/g}$ and FRAP – 656,8 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$). In the optimization of the *spray dryer* process, just the a^* coordinate, chroma, efficiency, total phenolics, anthocyanins, turbidity, wettability, water solubility index and water absorption index were influenced by the independent variables. The predictive model of the Desirability function generated was 17,3% maltodextrin and 155 °C. In the validation, the actual values of the dependent variables showed a low coefficient of variation, confirming the prediction of the model. Gallic acid and catechin were the most important compounds in all samples, with fresh pulp having the highest bioactive contents, followed by freeze-dried powder, convective-dried powder at 40 °C and dehydrated powder obtained from juice at optimized conditions in spray dryer. The volatile composition of the pulp and its dehydrated products showed that the terpene class is the one with the highest percentage of compounds. The concomitant volatile compounds in the pulp and its dehydrated products were: D-limonene, copaene, caryophyllene, humulene, γ -muurolene and α -terpineol. Only the dehydrated powder obtained from juice in spray dryer had furan compounds, which are formed by thermal induction. Therefore, it is noticed that both the pulp of jambolan and its dehydrated products are rich sources of bioactive compounds, with significant antioxidant activity. The dried powders produced were able to preserve some volatile compounds present in the pulp, thus approaching its aroma and flavor characteristic of fresh jambolan.

Keywords: jambolan, volatile compounds, bioactives compounds, spray drying, freeze drying, GC-MS, LC-DAD.

FIGURAS

Figura 1 – Estrutura química dos principais grupos fenólicos encontrados em frutas.....	19
Figura 2 - Estrutura do cátion flavilium.	19
Figura 3 – Esquema de extração por SPME e dessorção do material extraído para análise em GC.....	30
Figura 4 - Barra de agitação (a) e modo de operação relativo à extração (b) e retroextração (c) usados pela técnica de SBSE. 1 - Frasco de amostragem; 2 - HS; 3 - Vortex; 4 - Amostra; 5 - Barra de agitação magnética em Teflon; 6 - Barra de agitação de SBSE; 7 - Vial; 8 - Solvente para LD; 9 - Tubo de vidro para TD.....	31
Figura 5 - Diagrama de fases da água.	38
Figura 6 – Fluxograma das etapas desenvolvidas durante o processo de pesquisa.....	44
Figura 13 – Espaço cúbico de cores CIE Lab.....	47
Figura 7 – Microestrutura das amostras desidratadas a 40, 50 e 60 °C em estufa com circulação e renovação de ar.	71
Figura 8 – Microestrutura do jamelão desidratado em liofilizador.	76
Figura 9 – Diagrama de Pareto para a eficiência da desidratação.	79
Figura 10 – Diagrama de Pareto para a recuperação do produto.....	80
Figura 11 – Conteúdo de água (a) e atividade de água (b) em função da temperatura do ar de entrada.	82
Figura 12 – Teor de sólidos solúveis em função da concentração de maltodextrina.	86
Figura 14 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta sobre a coordenada a*.	86
Figura 15 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta sobre a coordenada C*.	87
Figura 16 – Diagrama de Pareto sobre a coordenada b*, luminosidade (L*) e o ângulo Hue (°Hue).....	87
Figura 17 – Diagrama de Pareto da turbidez dos pós.	89
Figura 18 – Diagrama de Pareto da densidade da partícula dos pós	90
Figura 19 – Diagrama de Pareto da dispersibilidade dos pós.....	92
Figura 20 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta da molhabilidade dos pós.....	94
Figura 21 – Diagrama de Pareto para a higroscopia dos pós.	96
Figura 22 – Diagrama de Pareto da solubilidade dos pós.	98
Figura 23 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta do Índice de Solubilidade em água (WSI) dos pós.	100
Figura 24 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta do Índice de Absorção em água (WAI) dos pós.	100
Figura 25 – Diagrama de Pareto e Superfície de resposta para a concentração de antocianinas em suco de jamelão atomizado.....	102
Figura 26 – Diagrama de Pareto e Superfície de resposta para a concentração de compostos fenólicos totais em suco de jamelão atomizado.....	105
Figura 27 – Diagrama de Pareto do teor de flavonóides totais dos pós.	107
Figura 28 – Função Desirability global das variáveis que sofreram influência do processo.	110
Figura 29 – Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a função Desirability em função da temperatura de entrada do spray dryer e concentração de maltodextrina na desidratação de suco de jamelão.....	111
Figura 30 – Micrografias dos ensaios de otimização do suco de jamelão atomizado.	113
Figura 31 - Micrografias dos ensaios de otimização do suco de jamelão atomizado.....	114

TABELAS

Tabela 1 - Composição química da porção comestível do jamelão.	17
Tabela 2 - Compostos bioativos em diferentes partes do jamelão.	20
Tabela 3 - Compostos voláteis de maiores áreas cromatográficas de diferentes classes químicas encontrados no jamelão.	34
Tabela 4 – Valores utilizados na otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	45
Tabela 5 - Design experimental utilizado para análises da composição do suco de jamelão atomizado, variáveis independentes e seus valores codificados.	45
Tabela 6 – Rendimento do despulpamento do jamelão.	55
Tabela 7 – Caracterização físico-química e química da polpa de jamelão.	56
Tabela 8 - Caracterização físico-química e química da polpa de jamelão desidratada em estufa com circulação e renovação de ar com diferentes temperaturas.	65
Tabela 9 - Caracterização físico-química e química do pó desidratado da polpa de jamelão pela liofilização.	73
Tabela 10 – Rendimento da produção de suco de jamelão.	77
Tabela 11 – Rendimento do processo de produção de pó desidratado do suco de jamelão de acordo com os parâmetros usados no design experimental.	78
Tabela 12 – Teor de umidade dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	82
Tabela 13 – Atividade de água dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	83
Tabela 14 – Valores de pH dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	83
Tabela 15 – Valores de acidez dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	84
Tabela 16 – Teor de sólidos solúveis (°Brix) dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.	85
Tabela 17 - Modelos preditivos e respectivas estatísticas associados aos efeitos da temperatura de entrada do spray dryer e a concentração de maltodextrina no suco de jamelão sobre as variáveis dependentes importantes que sofreram influência durante o processo.	109
Tabela 18 – Resultados preditos e experimentais nas condições ótimas de temperatura de entrada do spray dryer e concentração de maltodextrina na desidratação de suco de jamelão de terminadas pela Metodologia de Superfície de Resposta associada à função <i>Desirability</i>	111
Tabela 19 – Quantificação de compostos bioativos na polpa de jamelão e em seus produtos desidratados (mg/100 g peso fresco).	116
Tabela 20 – Porcentagem das áreas das classes químicas encontradas na análise de compostos voláteis da polpa de jamelão e seus produtos desidratados por diferentes métodos.	121
Tabela 21 – Compostos voláteis identificados na polpa de jamelão e em seus produtos desidratados por diferentes métodos através de HS-SPME/GC-MS.	155

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Jamelão e suas características.....	15
2.2	Compostos Bioativos.....	17
2.2.1	Compostos bioativos no jamelão.....	18
2.3	Compostos Voláteis.....	27
2.3.1	Métodos de extração de compostos voláteis.....	28
2.4	Desidratação.....	35
2.4.1	Desidratação em estufa com circulação e renovação de ar.....	35
2.4.2	Spray dryer (Atomizadores).....	36
2.4.3	Liofilização (Freeze drying).....	38
3	OBJETIVOS.....	41
3.1	Objetivo Geral.....	41
3.2	Objetivos específicos.....	41
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.1	Materiais.....	42
4.2	Matéria-prima.....	43
4.3	Obtenção dos pós de jamelão.....	43
4.3.1	Desidratação em estufa com circulação e renovação de ar.....	43
4.3.2	Desidratação por liofilização.....	43
4.3.3	Desidratação em spray dryer.....	43
4.3.4	Rendimento.....	45
4.3.5	Performance da desidratação.....	45
4.4	Análises físico-químicas.....	46
4.4.1	Teor de Umidade.....	46
4.4.2	Atividade de água.....	46
4.4.3	Potencial Hidrogeniônico.....	46
4.4.4	Acidez titulável potenciométrica.....	47
4.4.5	Teor de sólidos solúveis totais.....	47
4.4.6	Determinação da cor.....	47
4.5	Análises Físicas dos pós.....	48
4.5.1	Higroscopicidade.....	48
4.5.2	Molhabilidade.....	48
4.5.3	Turbidez.....	48
4.5.4	Solubilidade.....	48

4.5.5 Densidade da partícula.....	48
4.5.6 Dispersibilidade	49
4.5.7 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água.....	49
4.5.8 Morfologia do produto	50
4.6 Determinação dos compostos bioativos.....	50
4.6.1 Determinação de compostos fenólicos totais (CFT), flavonóides totais e antocianinas monoméricas totais (TMA).	50
4.7 Capacidade antioxidante	52
4.7.1 DPPH• (Captura do radical livre - 2,2-difenil-1-picrilhidrazil).....	52
4.7.2 Método de captura do ABTS+ (2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico).....	52
4.7.3 Método do poder redutor do Ferro (FRAP).....	53
4.8 Determinação dos compostos bioativos do jamelão	53
4.8.1 Análise de compostos fenólicos	53
4.8.1 Preparo dos padrões.....	54
4.9 Determinação dos compostos voláteis do jamelão	54
4.10 Análise Estatística.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 Rendimento de polpa de jamelão	55
5.2 Caracterização físico-química e química do jamelão	55
5.3 Caracterização da polpa de jamelão desidratada por convecção em diferentes temperaturas.....	64
5.3.1 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	71
5.4 Caracterização físico-química e química do pó desidratado da polpa de jamelão pela liofilização	73
5.4. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	76
5.5 Otimização do processo de <i>spray drying</i>	77
5.5.1 Rendimento da produção de suco	77
5.5.2 Rendimento da produção de suco em pó atomizado	78
5.5.3 Performance da desidratação por <i>spray drying</i>	78
5.5.4 Umidade e atividade de água.....	80
5.5.5 Potencial hidrogeniônico (pH) e acidez.....	83
5.5.6 Teor de sólidos solúveis totais (^o Brix).....	85
5.5.7 Cor	86
5.5.8 Turbidez.....	89
5.5.9 Densidade da Partícula	90
5.5.10 Dispersibilidade	91
5.5.11 Molhabilidade.....	92

5.5.12 Higroscopicidade	95
5.5.13 Solubilidade	97
5.5.14 Índice de solubilidade em água e Índice de Adsorção em Água (WSI e WAI)	99
5.5.15 Compostos bioativos	102
5.5.17 Perfis dos modelos preditos e aplicação da função Desirability	108
5.5.18 Morfologia do produto	112
5.6 Compostos bioativos da polpa de jamelão e de seus produtos desidratados	115
5.7 Composição volátil da polpa de jamelão e de seus produtos desidratados.....	120
6 CONCLUSÕES	124
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

1 INTRODUÇÃO

O jamelão (*Syzygium cumini*) é fruto da planta pertencente à família *Mirtaceae*. Sua árvore é de grande porte e muito bem adaptada às condições brasileiras. Apesar de ser originária da Indonésia, China e Antilhas, cultivada em vários países, esta planta se adapta facilmente em diferentes tipos de solo (VIZZOTTO & FETTER, 2009).

Apesar de possuir sabor um pouco adstringente, é agradável ao paladar, e sua coloração característica se deve ao alto teor de pigmentos antociânicos (BOBBIO; SCAMPARINI, 1982). Reporta-se que esta fruta contém ácido gálico, taninos e antocianinas, incluindo delfinidina, cianidina, petunidina, glicosídeo de malvidina e outros componentes, os quais são responsáveis pela intensa coloração púrpura (BANERJEE; DASGUPTA; DE, 2005). Este composto natural tem despertado interesse, devido aos seus efeitos nutricionais e terapêuticos, principalmente pela sua ação antioxidante. (CHANDRASEKARAN; VENKATESALU, 2004; PEPATO et al., 2005). Há também a presença de compostos bioativos como os compostos fenólicos, os quais possuem efeitos benéficos à saúde (SANTHALAKSHMY et al. 2015).

O interesse em estudar espécies de frutas inexploradas e suas partes, como casca e sementes, tem aumentado nos últimos anos, pois elas são ricas em compostos fenólicos, flavonóides, antocianinas, vitaminas, minerais e outros compostos bioativos que são capazes de neutralizar radicais livres (RABABAH; HETTIARACHY; HORAX, 2004; DONNO et al., 2013).

Os compostos voláteis presentes no jamelão responsáveis por seu sabor e odor característico, também são objetos de estudo, pois além de conferirem características sensoriais, possuem outras propriedades, como a de um antimicrobiano natural. Ao longo dos anos técnicas analíticas de extração foram desenvolvidas com o intuito de melhorar cada vez mais sua sensibilidade e poder de adsorção desses compostos. Um dos métodos mais antigos e em quase desuso é o de extração por Likens & Nickerson, sendo substituído pela técnica de Solid Phase Microextraction (SPME), muito utilizada ainda, porém vem sendo aos poucos substituída pela técnica de Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE). Há apenas alguns estudos voltados à identificação de compostos voláteis no jamelão (VIJAYANAND, JAGAN MOHAN RAO E NARASIMHAM, 2001; GODOY et al., 2013; MEHTA et al., 2018).

O processo de desidratação em alimentos causa mudanças de ordem nutricional e sensorial e de modo a minimizar essas modificações é preciso fazer um planejamento

experimental. Esse tipo de processamento está cada vez mais frequente na indústria de alimentos, devido às vantagens que o alimento desidratado possui com relação ao *in natura*, como redução de embalagem, massa de produto, facilidade de transporte, maior vida de prateleira, armazenamento em temperatura ambiente, entre outros. Com isso, novas técnicas surgiram nos últimos anos com o objetivo de manter as características do alimento original e proporcionar maior preservação do mesmo, sendo esta ocasionada principalmente pela redução da atividade de água do alimento.

Uma das técnicas mais utilizadas pelas indústrias de ingredientes é a desidratação por spray dryer, a qual transforma alimentos líquidos ou pastosos em pós. Esté pó é o resultado da atomização do alimento através da passagem de ar a elevadas temperaturas e encapsulação do alimento com o material de parede. Assim, ingredientes são totalmente revestidos com material protetor, através disso confere propriedades úteis ou elimina propriedades inúteis do ingrediente original (ADEM et al., 2007). Outro método de desidratação bastante utilizado pelas indústrias de frutas desidratadas é o uso de secadores artificiais com circulação e renovação de ar quente, o qual promove a retirada de água através da passagem de ar quente por entre as estruturas celulares do alimento, ocorrendo a evaporação da água.

Outra técnica bastante observada nos últimos anos é a liofilização, que ao contrário das últimas duas citadas acima utiliza temperaturas abaixo do ponto de congelamento do alimento sob vácuo, ou seja, esta técnica é fundamentada no princípio da sublimação para desidratar o alimento. Segundo Fellows (2006), além desta técnica não proporcionar o aquecimento do alimento, resulta em uma maior preservação das qualidades nutricionais e das características sensoriais do alimento.

Como isto, há uma grande importância e interesse em desvendar as mudanças que ocorrem durante o processamento, como também dimensionar suas perdas nutricionais e sensoriais. O estudo sobre a composição volátil do jamelão e dos seus produtos acrescenta informações importantes como o efeito de diferentes processo de desidratação sobre o sabor e aroma. Outra importância aqui é o perfil de compostos bioativos do jamelão tanto na forma *in natura* como em sua forma processada pelos diferentes métodos de desidratação, trazendo informações relevantes em questão, como o impacto do processo no aroma do jamelão, quais os principais compostos encontrados, bem como as suas classes. Também relaciona o efeito do processo sobre os compostos bioativos, visando a melhoria do processo em reter esses compostos e manter suas características nutracêuticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Jamelão e suas características

O jamelão (*Syzygium cumini* L.) fruta pertencente à planta da família *Mirtaceae* é uma árvore de grande porte nativa da Índia. Contudo, essas árvores são encontradas atualmente crescendo ao longo da Ásia, da África Oriental, no Sul Africano, em Madagascar e também se adaptou nas regiões quentes dos Estados Unidos da América (na Flórida e Havaí) (LI et al. 2009; WARRIER; NAMBIAR; RAMANKUTTY, 1996). No Brasil, o jameleiro, geralmente, floresce no período de setembro a novembro e seu fruto, o jamelão, é encontrado em grande quantidade no período de dezembro a fevereiro (OLIVEIRA; AKISUE, 2000; ALBERTON et al., 2001).

Na região nordeste do estado de São Paulo esta árvore foi abundantemente disseminada, onde o jameleiro se adaptou bem ao clima e solo. Seu fruto é pequeno e tem a forma oval, tornando-se roxo escuro quando completamente maduro. Sua casca é fina, lustrosa e aderente. Possui a polpa roxeada, carnosa, envolvendo sua única semente. O sabor, apesar de adstringente, é palatável e sua cor o torna atrativo, causando impacto visual positivo (MORTON, 2004).

Nas ilhas Marquesas o jamelão amadurece em abril; nas Filipinas, em meados de maio a meados de junho. No Havaí, a safra amadurecia no final do verão e no outono. A floração em Java ocorre entre julho e agosto e os frutos amadurecem em setembro e outubro. Em Ceylon, a árvore floresce de maio a agosto e a fruta é colhida em novembro e dezembro. A principal estação de frutificação na Índia e no sul da Flórida (onde a árvore floresce principalmente em fevereiro e março) se estende até o final de maio, junho e julho. Foram observadas pequenas colheitas de flores tardias em outubro. Árvores individuais podem ter habitualmente mais tarde do que outras (MORTON, 2004).

O jamelão (*Syzygium cumini*) é uma fruta tropical rica em antocianina mostrada como fonte fitoquímica natural com aplicações farmacológicas (AYYANAR; SUBASH-BABU; IGNACIMUTHU, 2013; BALIGA et al., 2011). Apesar do potencial bioativo do jamelão, não existe um mercado estabelecido de produtos derivados no Brasil. Assim, seria desejável desenvolver processos tecnológicos que permitissem seu uso prático como ingredientes alimentares. A bioatividade e os atributos relevantes para a saúde das frutas tropicais frescas e secas é uma área de estudo cada vez maior (DEVALARAJA; JAIN; YADAV, 2011; NÓBREGA et al., 2014). Apesar disto, poucos estudos abordam atributos como a funcionalidade de produtos desenvolvidos como extratos de frutos ricos em bioativos.

O jamelão é amplamente consumido como fruta particularmente na Índia. Em associação com o seu uso dietético, todas as partes da árvore (especificamente as sementes) são usadas para o tratamento de diversas doenças. Ela é bem conhecida por suas propriedades antidiabéticas, antiescorbuticais, diuréticas e antidiarréicas (VEIGAS et al., 2007; SAGRAWAT; MANN; KHARYA, 2006). Estudos na última década mostraram que o jamelão possui efeitos antioxidantes, antineoplásicos (AQIL et al., 2012; LI et al., 2009), radioprotetores (JAGETIA; BALIGA, 2002) e quimiopreventivos. Essas propriedades de proteção foram atribuídas à presença de diversos agentes fitoquímicos como antocianinas, flavonóides e terpenos.

Jamelões de bom tamanho e qualidade, com um sabor doce ou subácido e um mínimo de adstringência, são consumidos crus e podem ser colocados em tortas, molhos e pode servir de matéri-primas para geléias. É uma fruta de sabor penetrante e tem sua palatabilidade melhorada quando imersas em água salgada ou picando-a, esfregando-a com um pouco de sal e deixando-a repousar durante uma hora. Todas as frutas, que são de qualidade inferior são utilizadas para o suco, muito semelhante ao suco de uva. Ao extrair suco de jamelões cozidos é recomendado que se deixe escorrer sem espremer a fruta e assim será menos adstringente. O jamelão ainda de pele branca possui elevada quantidade de pectina, produzindo uma geléia muito rígida. O fruto maduro de cor púrpura é utilizado na produção de geléia ricamente colorida, mas é deficiente na pectina e requer a adição de um agente gelificante comercial ou deve ser combinado com frutas ricas em pectina, como goiabas não maduras ou ketembillas (MORTON, 2004).

O suco de jamelão de boa qualidade é excelente para sorvetes, xaropes etc. Na Índia, o último é uma bebida engarrafada preparada cozinhando os frutos triturados, pressionando o suco, combinando-o com açúcar e água e adicionando ácido cítrico e benzoato de sódio como conservante (MORTON, 2004).

Morton em 2004 reportou em seu livro, “Fruits of warm climates”, a composição do jamelão de acordo com a tabela 1.

Por possuírem elevada quantidade de água em sua composição, esta fruta apresenta uma elevada suscetibilidade à degradação, seja ela por ação de microrganismos seja pela ação de reações químicas e bioquímicas. Devido a essa alta perecibilidade, a desidratação é uma técnica conveniente para prolongar a vida útil, concentrar os compostos ativos naturais e também expandir o mercado de frutas para além dos locais de colheita nativos (BENNETT et al., 2011).

Tabela 1- Composição química da porção comestível do jamelão.

Características	Valor por 100 g de porção comestível*
Umidade	83,7 - 85,8 g
Proteína	0,129 - 0,7 g
Gordura	0,15 - 0,3 g
Fibra Bruta	0,3 - 0,9 g
Carboidratos	14,0 g
Cinzas	0,32 - 0,4 g
Cálcio	8,3 - 15 mg
Magnésio	35 mg
Fósforo	15,0 - 16,2 g
Ferro	1,20 - 1,62 mg
Sódio	26,2 mg
Potássio	55 mg
Cobre	0,23 mg
Enxofre	13,0 mg
Cloro	8,0 mg
Vitamina A	80 I. U.
Tiamina	0,008 - 0,03 mg
Riboflavina	0,009 - 0,01 mg
Niacina	0,2 - 0,29 mg
Ácido Ascórbico	5,7 - 18 mg
Colina	7,0 mg
Ácido Fólico	3,0 µg

Fonte: MORTON, (2004).

2.2 Compostos Bioativos

Os compostos bioativos são classificados como nutracêuticos e tóxicos. Os nutracêuticos são compostos ativos e derivados naturais característicos por promoverem a saúde, previnirem doenças, por possuírem propriedades medicinais e causarem impactos à saúde humana. Os tóxicos também são compostos químicos de ocorrência natural ou induzidos por processos, exercendo efeitos danosos à saúde do ser humano. A depender da origem, o quantitativo destes compostos com propriedades farmacológicas diversificadas é variável. Caso a fonte específica possua maiores concentrações de substâncias nutracêuticas que tóxicas, portanto ela apresentará o potencial necessário para promover a proteção contra doenças crônicas. A maior parte das frutas e vegetais consumidos estão presentes nesta categoria (FENNEMA; PARKIN; DAMODARAN, 2010).

É comum nos dias atuais o uso de substâncias bioativas na medicina alternativa e em suplementos alimentares, ainda que a sua segurança e eficácia ainda não sejam comprovadas. De acordo com a Food and Drug Administration (FDA), não se foi divulgada nenhuma regulamentação com relação às substâncias nutracêuticas ou alimentos medicinais; na

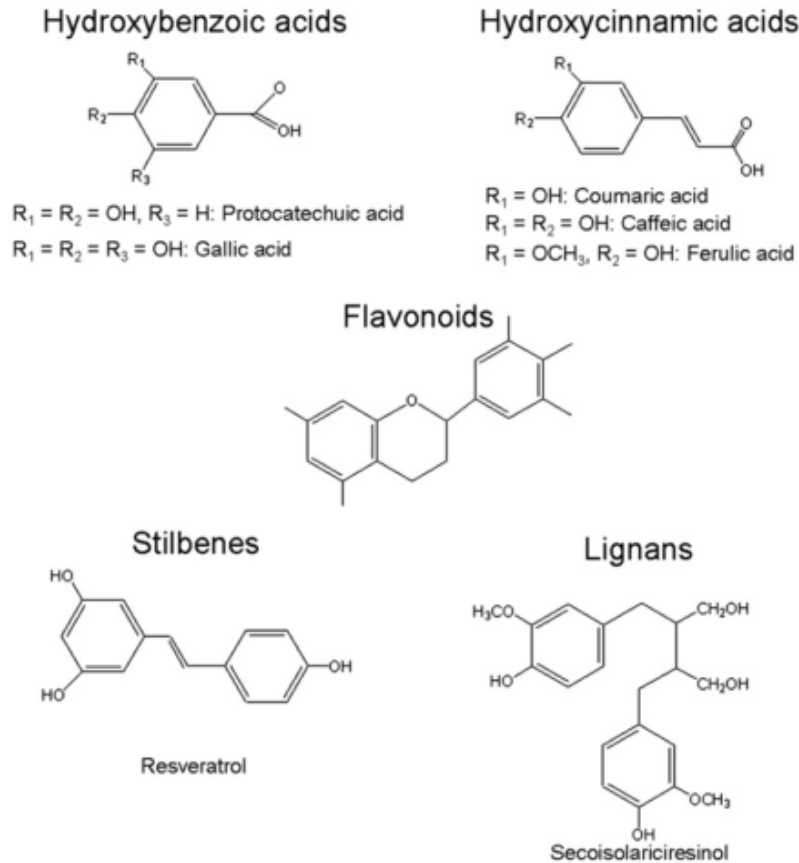
verdade, os suplementos alimentares, legalmente, não são considerados nem alimentos nem medicamentos (HATHCOCK, 2001).

2.2.1 Compostos bioativos no jamelão

2.2.1.1 Compostos fenólicos, flavonóides e antocianinas

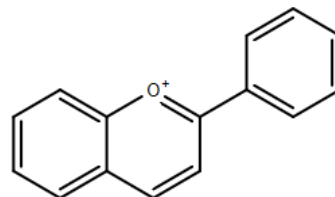
As plantas são capazes de sintetizar uma gama de moléculas orgânicas conhecidas como metabólitos secundários. Eles são sintetizados tanto no desenvolvimento normal e em resposta a condições como infecção, ferimento, radiação ultra-violeta (UV) e temperaturas extremas. Esses compostos podem ser classificados em diferentes grupos como em função do número de anéis fenólicos que eles contêm e dos elementos estruturais que ligam esses anéis uns aos outros (HERRERO *et al.*, 2012). Compostos fenólicos são conhecidos quimicamente por possuírem um anel aromático com um ou mais grupos hidroxila ligados em seu anel e estão sendo muito estudados devido à qualidade que ele proporciona aos alimentos. Os principais grupos (Figura 1) são: flavonóides, ácidos fenólicos, tanninos (hidrolisável e condensado), estilbenos e lignanas (D'ARCHIVIO *et al.*, 2007).

Os flavonóides estão amplamente presentes nas plantas; quase todos os tecidos das plantas são capazes de sintetizá-los. Além disso, existe uma enorme variedade de tipos de flavonóides – há pelo menos 2.000 de ocorrência natural. Os flavonóides estão presentes em frutas comestíveis, vegetais folhosos, raízes, tubérculos, bulbos, ervas, temperos, legumes, chá, café e vinho tinto. Eles podem ser classificados em sete grupos: flavonas, flavononas, flavonolóis, isoflavonas (catequinas) e antocianinas (FENNEMA; PARKIN; DAMODARAN, 2010). Os flavonóides são conhecidos como os principais responsáveis pela capacidade antioxidante em frutas, devido ao seu elevado potencial de oxidação e redução de sua estrutura química, que lhes permite atuar como agentes redutores e como quelante de metais (IGNAT; VOLF; POPA, 2011).

Figura 1 – Estrutura química dos principais grupos fenólicos encontrados em frutas.

Fonte: Herrero et al., (2012).

Os compostos fenólicos compreendem um grande grupo de substâncias orgânicas, sendo os flavonóides um importante subgrupo. O subgrupo flavonóide contém as antocianinas, um dos grupos de pigmentos de maior distribuição no reino vegetal. Elas são responsáveis por diversas cores nas plantas, como azul, roxo, violeta, magenta, vermelho e laranja. A estrutura básica das antocianinas é o cátion *flavilium* (Figura 2), ocorrendo na forma de glicosídeos de antocianidinas. A cor das antocianinas e das antocianidinas resultam da excitação de uma molécula pela luz visível, sendo facilitada graças às duplas ligações encontradas abundantemente nas antocianinas e antocianidinas (FENNEMA; PARKIN; DAMODARAM, 2010).

Figura 2 - Estrutura do cátion flavilium.

Fonte: <http://www.chemspider.com/StructureSearch.aspx>.

A elevada atividade biológica atribuída aos extratos de jamelão (*Syzygium cumini*) está relacionada a abundante e diversificada variedade de compostos fenólicos presentes nesta fruta. A fruta é rica em antocianinas, principalmente os diglicosídeos de delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina e malvidina (BRITO et al., 2007; VEIGAS et al., 2007; FARIA; MARQUES; MERCADANTE, 2011; TAVARES et al. 2016), flavonóis, principalmente derivados de miricetina (FARIA et al., 2011; TAVARES et al., 2016) e flavanonóis, flavan-3-ols, proantocianidinas, ellagitaninas e galotaninas. As antocianinas e os taninos hidrolisáveis são os fenóis mais abundantes no fruto seguido de flavanonóis, flavonóis e flavan-3-ol (TAVARES et al., 2016).

Faria, Marques e Mercadante, (2011) compararam a quantidade de compostos bioativos no extrato funcional e no jamelão e observaram que todos os compostos bioativos no extrato funcional estavam presentes em concentrações mais baixas quando comparado com os encontrados no jamelão. Considerando que o extrato funcional foi obtido através de um solvente compatível para ser adicionado em alimentos, essa diferença pode ser atribuída a dois fatores. Um está relacionado à extração exaustiva realizada com o solvente mais apropriado para quantificar cada composto da fruta. O segundo fator está relacionado à capacidade de extração do etanol acidificado para obter o extrato funcional. Pois devido ao seu caráter polar, ele deixa de extrair também alguns compostos de caráter apolar, como os carotenóides, por exemplo. Em adição, o etanol é menos eficiente que o metanol/água na extração de compostos fenólicos não antociânicos.

Chagas et al. (2015) reportaram em seu trabalho uma tabela contendo a identificação de alguns compostos bioativos presentes no jamelão listados por alguns autores.

Tabela 2 - Compostos bioativos em diferentes partes do jamelão.

Parte da Planta	Classe de metabólitos	Compostos identificados	Referências
Folha	Flavonóides	catequina, kaempferol, miricetina, miricetina 3- β -D- glucopiranosídeo, miricetina-4- metil éter, 3- O- α - ramnopiranosídeo, miricetina 4 " - O- etilo, miricetina 4 " - O-acetil-2- O-galato, miricetina, quercetina - 3- O- α - ramno- piranosídeo	Mahmoud et al., (2001)
	Ácidos fenólicos	Ácido caféico, ácido clorogênico, ácido elágico, ácido ferulico, ácido gálico	Mahmoud et al., (2001); Timbola et al., (2002); Ruan et al., (2008)
	Taninos	Nilocetina	Mahmoud et al., (2001)

	Terpenos	α -pineno, α -cadinol, pinocarvone, pinocarveol, α -terpineol, mirtenol, eucarbon, muurolol, myrtenal, cineol, geranilacetona	Shafi et al., (2002); Mohamed et al., (2013)
	Flavonóides	quercetina, rutina, 3,5,7,4-triflavanone	Bhatia and Bajaj, (1975); Karthic et al., (2008)
Sementes	Ácidos fenólicos	ácido caféico, ácido elágico, ácido ferúlico, ácido gálico	Bhatia and Bajaj, (1975)
	Taninos	corilagina, 3,6-HHDPglicose, glicose 4,6-HHDPglucose 1-galloyl, 3-galloyl glucose	Bhatia and Bajaj, (1975)
	Terpenos	α -terpineol, β -pineno, β -terpineno, ácido betulínico, o eugenol	Williamson et al., 2002; Karthic et al., (2008)
Frutas	Flavonóides	miricetina, deoxyhexose miricetina	Gordon et al., (2011)
	Ácidos fenólicos	Ácido elágico, ácido gálico	Reynertson et al., (2008); Gordon et al., (2011)
	Taninos	HHDP-galloyl glicose, pentagalloylglucose	Gordon et al., (2011)
	Terpenos	citronelol, geraniol, hotrienol, nerol, β -feniletanol, fenilpropanal	Vernin et al., (1991)
	Antocianinas	Cianidina, delfinidina, petunidina	Veigas et al., (2007)
Flores	Flavonóides	kaempferol, miricetina, dihidromiricetina, miricetina-3-L-arabinósido, Isoquercetina, quercetina, quercetina-3-d-galactósido	Subramanian e Nair, (1972)
	Ácidos fenólicos	Ácido elágico	Baliga et al., (2011)
	Terpenos	eugenol, ácido oleanólico	Ramya et al., (2012)
Casca do Caule	Flavonóides	miricetina, quercetina, kaempferol	Baliga et al., (2011)
	Ácidos fenólicos	ácido 3,3'-di-O-metil elágico, 3,3', ácido elágico 4-tri-O-metilo, ácido gálico	Bhatia e Bajaj, (1975); Ramya et al., (2012)
	Terpenos	β -siterol, friedelina, ácido betulínico	Ramya et al., (2012)

Fonte: CHAGAS et al. (2015).

Rydlowski et al. (2017) em seu trabalho identificaram a presença de ácido gálico e caemferol na polpa e na casca do jamelão. Já nas sementes observaram a presença de ácido gálico, caemferol, epicatequina e ácido elágico. Ele também concluíram que os principais

compostos das diferentes partes do jamelão responsáveis pela capacidade antioxidante foram o ácido gálico e o caemferol.

Faria, Marques e Mercadante (2011) reportaram no perfil de compostos fenólicos, a composição de antocianinas do jamelão, identificando que foi marcada a presença de diferentes agliconas diglicosídeos. Eles observaram a presença de delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina e malvidina. Em todas elas eles perceberam a presença de uma hexose, considerando-a como glicose através do padrão disponível, sendo esta o único monossacarídeo previamente encontrado depois da hidrólise ácida de um extrato antociânico obtido do jamelão (*Syzygium cumini*) (VEIGAS et al. 2007). Dentre os compostos fenólicos não antociânicos do jamelão foram identificados o galloyl-glucose ester (ácido fenólico), ácido gálico (ácido fenólico), dehidromiricetina diglicosídeo (flavanonol), dehidroquercetina diglicosídeo (flavanonol), metil-dehidromiricetina diglicosídeo (flavanonol), dimetil-dehidromiricetina diglicosídeo (flavanonol), miricetina glucosídeo (flavonol), miricetina pentosídeo (flavonol), miricetina ramnosídeo (flavonol), miricetina acetil-ramnosídeo (flavonol), miricetina (flavonol).

A principal razão para o uso do jamelão em tratamento de várias doenças e o recente interesse nessa fruta como matéria-prima para alimentos funcionais é a sua riqueza em compostos fenólicos. Geralmente, as partes comestíveis do jamelão contém cerca de 569 (casca) e 235 (polpa) mg/kg FW em ácido gálico equivalente, confirmando assim a hipótese que o jamelão é uma fruta rica em compostos fenólicos e, então, o seu uso subestimado como alimento deve ser revisto porque ele parece ser uma excelente fonte de compostos bioativos potenciais (TAVARES et al., 2016).

A casca do jamelão acumula grande quantidade do total de variedade de compostos fenólicos, com quase todos dos fenólicos não taninos encontrados nela. Em contraste, taninos condensados (proantocianidinas) e taninos hidrolisados (galotaninos e elagitaninos) estavam presentes em ambas as partes comestíveis do jamelão, embora a casca tendesse a conter maiores quantidades destes compostos. A polpa foi principalmente constituída de galotaninos > elagitaninos > antocianinas > outros compostos fenólicos. Esses compostos encontrados sugerem que taninos hidrolizáveis podem ser os principais compostos fenólicos responsáveis pela adstringência das partes comestíveis do jamelão. Há também a sugestão da falta dos derivados do ácido hidrocínâmico entre o conjunto de compostos fenólicos encontrados nas partes comestíveis do jamelão (TAVARES et al., 2016).

Seraglio et al., (2018), investigaram 33 compostos fenólicos em amostra de jamelão em dois estágios de maturação, dos quais 7 (crisina, galangina, hesperidina, naringina, rutina, ácido *p*-aminobenzóico e ácido valínico) não foram detectados. Eles conseguiram identificar 22 compostos em amostras de jamelão: 1 coumarina, 1 aldeído derivado de lignina, 11 flavonóides e 9 ácidos fenólicos), sendo 12 deles quantificados no jamelão (4-metillumberferona, galato de epigalocatequina, isoquecetrina, naringenina, quercetina, pinobanksina, siringaldeído, ácido *p*-coumárico, ácido 3,4-dihidroxibenzóico, ácido gálico, ácido sinápico e ácido sirínico). Eles observaram que o jamelão mostrou um grande número de compostos fenólicos encontrados em altas concentrações no estágio intermediário de maturação. Contudo, o jamelão pode ser considerado fonte natural de compostos bioativos para consumo direto e pode ser usado como uma matéria-prima promissora da indústria de alimentos.

Lestario et al. (2017), identificaram 6 antocianinas nos extratos de jamelão (*Syzygium cumini*) delphinidina-3,5-O-diglucosídeo; cianidina-3,5-O-diglucosídeo; petunidina-3,5-O-diglucosídeo; peonidina-3,5-O-diglucosídeo; delphinidina-3-O-glucosídeo e malvidina-3,5-O-diglucosídeo. Cinco das seis antocianinas majoritárias identificadas estavam na forma de 3,5-O-diglucosídeo. Algumas antocianinas, como cianidin-3-O-glucosídeo, petunidina-3-O-glucosídeo; malvidina-3-O-glucosídeo e delphinidina-acetil-O-diglucosídeo não foram detectadas em suas amostras, quando comparadas com a de outros autores, podendo este fato estar relacionado com diferença da variedade, variações nas condições de crescimento ou na diferença do protocolo de extração. Eles também puderam observar que o conteúdo de antocianina aumentou acentuadamente quando o fruto amadureceu até o roxo escuro.

Lestario et al. (2017) também avaliaram em seu estudo a composição e as mudanças ocorridas nos flavonóides durante o processo de maturação do jamelão. Três flavanonóis foram detectados, como dihidro-miricetina diglucosídeo, metil-dihidromiricetina diglucosídeo e dimetil-dihidromiricetina diglucosídeo. Adicionalmente, três flavonóis também foram detectados, como miricetina-3-O-hexosídeo, miricetina-3-O-pentosídeo e miricetina-3-O-ramnosídeo. A principal mudança ocorrida foi com relação a concentração dos flavanonóis e flavonóis ligadas ao processo de maturação. Alguns flavanonóis não foram detectáveis até etapas posteriores de maturação, mas as concentrações aumentaram acentuadamente à medida que o fruto amadureceu completamente com a maior concentração no fruto maduro. Já o flavonol miricetina-3-O-hexosídeo estava presente em baixa concentração no fruto imaturo e teve a sua concentração aumentada no fruto maduro. Por outro lado, houve o processo inverso

com miricetina-3-O-pentosídeo e mricetina-3-O-ramnosídeo. Eles também puderam concluir que as frutas no estágio intermediário de maturação tiveram maiores concentrações de flavonóis totais do que nos estádios verde e maduro do jamelão.

2.2.1.2 Atividade antioxidante

Substâncias antioxidantes são conhecidas como aquelas que mesmo em baixas concentrações em comparação com os substratos oxidáveis, retarda ou previne, significativamente, a oxidação daqueles substratos. Antioxidantes não enzimáticos, por exemplo, como o ácido ascórbico podem ser descritos como redutores, e a inativação de agentes oxidantes por agentes redutores pode ser descrita como reações de oxido-redução na qual a espécie reativa é reduzida enquanto a outra é oxidada. Ou seja, o poder antioxidante está relacionado com a habilidade de redução (BENZIE; STRAIN, 1996).

A matriz de antioxidantes presentes em todas as frutas e vegetais é considerada a desencadear maior atividade que qualquer constituinte individual. Compostos fenólicos, como os flavonóides, por exemplo, fazem parte de uma grande classe de fitoquímicos que possuem propriedades de neutralização de radicais. Isso é característico dos grupos hidroxil da molécula fenólica ligados às estruturas de anel. Geralmente tem maior ocorrência na forma de glicosídeos do que na forma de agliconas. O potencial redox que os compostos fenólicos possuem, fazem com que eles atuem como agentes redutores, isto é, doadores de elétrons, doando um hidrogénio da sua molécula, como também sequestrantes de oxigénio singlete, extinguindo-os. Em alguns casos eles podem ser agentes quelantes, retirando íons metálicos do meio. Onde a bioactividade dos antioxidantes está relacionada, há situações em que o conhecimento da individualidade de um antioxidante específico pode ser menos significativo do que uma estimativa do potencial antioxidante total do alimento em questão (RICE-EVANS; MILLER, 1996).

Propriedades antioxidantes como a de eliminação da atividade de radicais livres são importantes para conter o efeito deteriorante dos radicais livres em alimentos e sistemas biológicos. A formação excessiva de radicais livres causa oxidação lipídica em alimentos, reduzindo a sua qualidade. Por outro lado, radicais livres gerados em sistemas biológicos levam ao estresse e às doenças. Consequentemente, a exploração por fontes de antioxidantes naturais em plantas é essencial (AQIL *et al.*, 2014).

O potencial antioxidante da actividade antioxidante total (AAT) dos polifenóis ou de bebidas (ou extractos alimentícios) que os contém é avaliado de acordo com suas habilidades de eliminar o radical livre formado em meio aquoso ou lipídico. O ensaio para o primeiro,

atividade antioxidante total (AAT) ou a atividade antioxidante equivalente de Trolox (AAET) mede a concentração da solução de Trolox (análogo da vitamina E solúvel em água) com um potencial antioxidante equivalente a uma concentração padrão do composto, extrato de comida, etc, sob investigação. A base do método é a geração do cátion do radical específico cromóforo do 2,2'-azinobis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS) controlado pela oxidação química (MILLER et al. 1996; MILLER et al. 1993). O cátion do radical ABTS” possui absorção máxima próximo à região do infra-vermelho em 645, 734 e 815 nm. A atividade antioxidante equivalente de Trolox (AAET) reflete a habilidade de antioxidantes doadores de hidrogénio ou elétrons para estabilizar o radical ABTS” em comparação com o de Trolox. O antioxidante suprime a extensão em uma escala de tempo dependente da atividade antioxidante (RICE-EVANS; MILLER, 1996).

A maioria dos antioxidantes são conhecidos por proporcionarem a ruptura de cadeias de radicais baseado em sua potência em sistemas de células livres. Antioxidantes preferencialmente se localizam nos compartimentos celulares de acordo com a sua solubilidade. Infelizmente, a maioria deles não são efetivos no interior da célula, principalmente por causa da solubilidade limitada, baixa permeabilidade e efeitos letais autotóxicos. As diferentes propriedades das miricetinas como eficiente na proteção das células contra peróxidos tóxicos, inativadores de espécies reativas de oxigénio e o poder de redução do íon férrico em meio polar propôs ao flavonóide eficiente potencial para uso clínico, biológico e biotecnológico (BARZEGAR, 2016).

A atividade antioxidante de alimentos que contém compostos polifenólicos reflete o efeito cumulativo de processos químicos e enzimáticos que ocorrem durante o processamento e/ou armazenamento. Processos químicos e enzimáticos podem levar à perda da atividade antioxidante dos compostos polifenólicos como também podem gerar derivados químicos com actividade antioxidante inferior, superior ou sem atividade e até compostos com atividade pró-oxidante (NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999).

A identificação de compostos que possuem atividade antioxidante como a quantificação desta atividade é de relevante importância para a ciência de uma forma geral, pois caracteriza alimentos com esse poder, além de desvendar os efeitos do processamento sobre estes compostos. Entretanto, de acordo com Fraga, Oteiza e Galleano (2014) algumas vantagens são observadas na determinação da capacidade antioxidante total, como a simplicidade do método e baixo custo por amostra e a possibilidade de avaliar antioxidantes conhecidos e desconhecidos, suas acções aditivas, sinérgicas e/ou antagónicas em um

sistema químico ou biológico complexo. Já as principais desvantagens são: diferentes ensaios de atividade antioxidante total correlacionam-se uns com os outros, detectam uma particular combinação de compostos, mas excluem contribuição de enzimas antioxidantes, metal ligado a proteínas e antioxidantes indiretos; e os dados da capacidade antioxidante de alimentos gerados por métodos *in vitro* não podem ser extrapolados para efeitos saudáveis *in vivo*. Além disso, moléculas com características antioxidantes em alimentos possuem uma ampla variedade de funções muitas das quais não são relacionadas à habilidade de reagir com radicais livres. Métodos de capacidade antioxidante podem ser usados apenas em condições altamente controladas e fornecer resultados cuja interpretação deve ser fundamentada considerando as características do modelo estudado.

2.2.1.3 Efeito dos compostos bioativos sobre doenças

Rice-Evans e Miller (1996), reportaram em seu trabalho “Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food”, que a identificação de ingredientes ativos em bebidas, vegetais e frutas que podem ajudar a manter o estado antioxidante, podem proteger contra danos de radicais livres de LDL, agregação de plaquetas e vasodilatação dependente do endotélio das artérias. Esta pode ser uma informação útil do ponto de vista da identificação de alimentos adequados que são ricos em substâncias antioxidantes para o desenvolvimento de produtos alimentares seguros e aditivos com propriedades antioxidantes adequadas.

Chang, Alasalvar e Shahidi (2016) em seu trabalho “*Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits*” fez uma breve revisão sobre os efeitos benéficos das frutas secas à saúde, relacionando os compostos bioativos e a sua capacidade antioxidante na prevenção de algumas doenças, como glaucoma, efeito da redução de compostos lipídicos nocivos, efeito anti-inflamatório, anticancerígeno, antipatogênico/antibiótico, cardioprotetor, ósseoprotetor, antidiabético e hipoglicêmico.

O jamelão é uma fruta que possui um conteúdo bioativo em níveis elevados. Isso faz com que ela seja uma rica fonte de compostos benéficos à saúde humana. Essas substâncias bioativas previnem doenças, fazendo com que o jamelão ou suas partes sejam utilizadas para fins medicinais. De acordo com Morton, (2004) o jamelão ganhou bem mais reconhecimento na medicina popular e no comércio farmacêutico do que em qualquer outro campo. Medicinalmente, esta fruta é adstringente, estomáquica, carminativa, antiescorbútica e diurética. Cozida em geléia grossa, é consumida para aliviar diarreia aguda. O suco da fruta madura ou uma decocção da fruta, ou o vinagre, pode ser administrado na Índia em casos de

aumento do baço, diarreia crônica e retenção de urina. O suco diluído em água é usado como gargarejo para dor na garganta e como uma loção para couro cabeludo.

Os jamelão é uma rica fonte de compostos polifenólicos bioativos, incluindo as antocianinas, antocianidinas, elagitaninas, flavonóis e ácidos fenólicos. Os efeitos das substâncias bioativas individuais dessa fruta no crescimento e na apoptose de linhas celulares de câncer humano também foram estudados. Os bioativos são relatados por possuírem muitos papéis na prevenção do câncer, incluindo a inibição da formação de carcinógeno induzido no DNA danificado, inibição de carcinógeno induzido em tumorigênese e modulação das vias de sinalização envolvidas na proliferação celular, inflamação e parada do ciclo celular (KAUSAR et al. 2012). Além disso, os bioativos também regulam as enzimas do metabolismo xenobiótico, vários factores de transcrição e crescimento, citocinas inflamatórias, caminhos de síntese subcelular da apoptose e angiogênese tumoral. Resumindo, vários estudos demonstram que o jamelão e os seus constituintes possuem mecanismos que exercem efeitos anticancerígenos (AQIL *et al.*, 2014).

Estudos feitos por Aquil et al. (2014) forneceram provas convincentes do potencial antioxidante e das propriedades anticancer do jamelão. A capacidade do jamelão modular diversas vias do processo de carcinogênese está incontestavelmente relacionada a uma série de compostos quimiopreventivos e o efeito é devido, em parte, ao sinergismo entre as antocianidinas e com o ácido elágico/elagitaninos. Além disso, embora existam vários estudos *in vitro*, bem como sistemas *in vivo* para demonstrar a atividade protetora robusta das antocianidinas, outros estudos devem ser designados para investigar o potencial preventivo contra o câncer do jamelão em modelos animais e seres humanos.

2.3 Compostos Voláteis

A química do sabor costuma ser entendida como o desenvolvimento relativamente recente da química de alimentos, a qual evoluiu desde 1950 com o surgimento da cromatografia gasosa e da espectrometria de massa de alta velocidade de varredura. Embora a disponibilidade dessas ferramentas tenha fornecido meios para uma investigação definitiva de toda a gama de substâncias do sabor, técnicas químicas clássicas foram elegantemente aplicadas em muitos estudos anteriores, em especial aos óleos essenciais e aos extratos de condimentos (GUENTHER, 1948).

Embora os compostos que dão característica ao sabor possuam uma faixa bem ampla de moléculas derivadas de quase todos os famosos constituintes dos alimentos, as características de “estimular” os receptores de gosto ou aroma ou nervos especializados em

produzir respostas psicológicas integradas conhecidas como sabores permanece como o único requisito essencial à inclusão de uma molécula para a categoria de sabor na química de alimentos. Todavia, o termo “sabor” ou “flavor”, evoluiu para um uso que implica a percepção global de todos os sentidos organolépticos (paladar, olfato, visão, tato e audição) no momento no qual o alimento é consumido. Com isso, muitas vezes os sentidos não químicos (visão, audição, tato) interferiram substancialmente na percepção dos sabores e, em consequência disso, na aceitação dos alimentos (FENNEMA, 2010).

O resultado da formação do aroma de cada alimento se dá através de dezenas ou centenas de compostos voláteis, presentes no meio em níveis de traços. Mesmo quando presentes em concentrações muito baixas, em nano ou picograma, esses compostos voláteis exercem influência sobre o aroma característico do alimento. Porém, em alguns alimentos, há os compostos voláteis de impacto, que sozinhos são capazes de retomar à memória o aroma do alimento, enquanto os demais compostos voláteis são denominados contribuintes, que juntos formam o aroma pleno do alimento (GARRUTI, 2001).

Através do metabolismo de compostos lipídicos, aminoácidos e carboidratos os compostos aromáticos são formados, podendo gerar compostos cetônicos e aldeídicos, ácidos orgânicos, álcoois, lactonas e ésteres, quando originados de lipídeos ou álcoois metílicos ramificados, ésteres, cetonas, compostos sulfurados, se originados de aminoácidos. Compostos voláteis podem ser originados também através de reação de escurecimento não enzimático, como por exemplo, as pirazinas, maltol e isomaltol, ou estar presentes naturalmente nos vegetais, como os terpenos, que são muito encontrados em óleos essenciais.

A determinação de compostos que influenciam o aroma das frutas é uma importante tarefa, desde que estejam relacionados à qualidade dos alimentos. Muitas formas de determinação do conteúdo volátil dessas matrizes foram aplicadas para prévio isolamento desses compostos e identificação dos mesmos através de análises químicas. Há diversas técnicas para a extração de compostos voláteis em alimentos, tais como: purge and trap extraction, extração por destilação simultânea (SDE), Solid Phase Micro Extraction (SPME), Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE), etc. (MEHTA *et al.*, 2017).

2.3.1 Métodos de extração de compostos voláteis

O procedimento de extração de compostos voláteis nada mais é que o isolamento desses compostos para posterior análise em cromatógrafo a gás. É uma etapa crítica, pois deve-se eliminar alguns interferentes que podem prejudicar a leitura e ajustar a concentração acima do limite detectável. Há vários métodos de extração de compostos voláteis uns mais

antigos que foram sendo substituídos por outros com o passar do tempo e avanço das técnicas de extração.

2.3.1.1 *Extração em Purge and Trap*

Na técnica de extração em Purge and Trap há a captura dinâmica da fração volátil da amostra em um sólido adsorvente, que pode ser recuperada por dessorção térmica ou através de solvente (FREDES et al., 2016). De acordo com Contarini e Povolo (2002) a técnica de Purge and Trap pode ser mais adaptada à determinação de compostos de baixo peso molecular. Uma das principais vantagens do Purge and Trap é a possibilidade de vários extratos juntos ao mesmo tempo com o uso de curvas de calibração em solvente para quantificação; esta técnica também permite a quantificação de voláteis de interesse. É uma metodologia relativamente barata e envolve uma grande quantidade de amostras, apresenta uma capacidade de extrair várias amostras ao mesmo tempo. Aznar e Arroyo (2007) reportaram em seu trabalho que a técnica de extração através de purge and trap com posterior análise em GC-MS foi um método rápido e eficiente para avaliação do perfil volátil em vinhos. Eles analisaram 40 vinhos espanhóis e puderam concluir a correlação entre eles, pois apresentavam uma grande similaridade volátil.

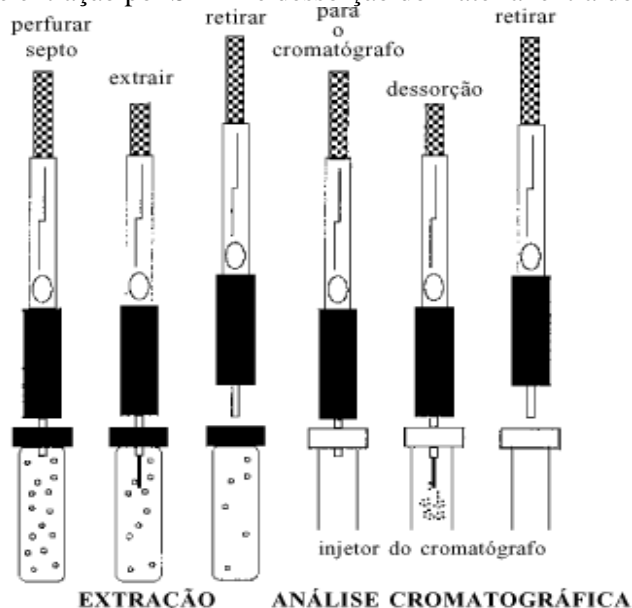
2.3.1.2 *Extração por destilação simultânea (Likens-Nickerson)*

A extração por destilação simultânea (SDE) é uma técnica antiga que utiliza a vidraria de Likens–Nickerson, na qual a amostra com solvente é aquecida até o seu ponto de ebulição. Riu-Aumatell et al., (2011) em seu trabalho “ *Characterisation of volatile composition of white salsify (Tragopogon porrifolius L.) by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation–extraction (SDE) coupled to GC–MS*” conseguiram determinar 39 compostos através da técnica de extração por destilação simultânea, sendo que o perfil volátil obtido por SPME foi diferente do que obtido por SDE. A extração por SDE é significativamente mais longa que a de SPME, assim a extração de compostos de baixa volatilidade foi maior como sesquiterpenos e ácidos graxos de alto peso molecular. O uso de elevadas temperaturas por longos períodos de tempo (4h) em SDE aumentou a extração desses tipos de compostos enquanto a maioria dos compostos voláteis e aqueles com baixo peso molecular foram claramente determinados por SPME (BARRA et al., 2007), entretanto a técnica de SDE pode favorecer a solubilidade de alguns compostos.

2.3.1.3 Extração por microextração em fase sólida (SPME)

A técnica de SPME envolve a exposição de uma fibra, a qual pode ser polar, como por exemplo a fibra revestida por poliacrilato (PA), ou apolar, revestida por polidimetilsiloxano (PDMS), em um frasco de *head space*, onde se encontra a amostra em constante agitação e em uma temperatura ideal para que seus compostos sejam volatilizados e adsorvidos pela fibra.

Figura 3 – Esquema de extração por SPME e dessorção do material extraído para análise em GC.



Fonte: (PIRES; VALENTE; AUGUSTO, 2000).

Esta fibra então é exposta no injetor do cromatógrafo a gás, onde os compostos voláteis adsorvidos serão volatilizados e levados à coluna pela fase móvel. O SPME está limitado ao pouco número de fases estacionárias comercialmente disponíveis como fibras revestidas, fibras de baixo revestimento, também devido ao fenômeno de saturação do revestimento e da competição entre os componentes da fase estacionária, que podem causar perdas na determinação analítica (CONTINI e ESTI, 2006).

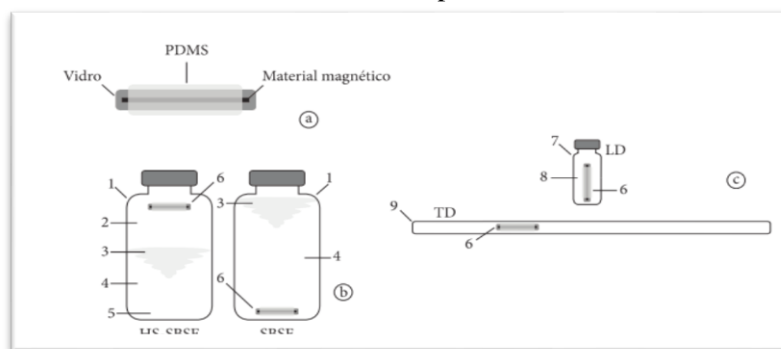
2.3.1.4 Extração por barra sortiva de agitação (SBSE)

A técnica de SBSE assim como a de SPME consiste na extração de compostos voláteis sem o uso de solventes. A área superficial e a quantidade de revestimento no SBSE são maiores que os da fibra de SPME. Com isso, a eficiência da extração mostrou uma melhora significativa se comparada com a técnica de SPME e isso é uma das principais vantagens (LANCAS et al., 2009). Entretanto, o tempo de extração e dessorção do SBSE são maiores

que o utilizado por SPME, pois os analitos estão distribuídos em uma grande quantidade de revestimento.

O processo de extração por SBSE ocorre quando a barra de agitação magnética, revestida com uma camada espessa de material de sorção, é colocada dentro de um frasco selado contendo a amostra. Essa barra pode ser colocada em *head space* ou imersa na amostra e permite um rápido preparo antes da concentração dos compostos voláteis na barra durante a agitação em uma amostra líquida. Posteriormente, a barra é colocada em um tubo de vidro para dessorção térmica, no qual os analitos são liberados e transferidos ao cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massa (GC-MS) system (BALTUSSEN et al. 1999).

Figura 4 - Barra de agitação (a) e modo de operação relativo à extração (b) e retroextração (c) usados pela técnica de SBSE. 1 - Frasco de amostragem; 2 - HS; 3 - Vortex; 4 - Amostra; 5 - Barra de agitação magnética em Teflon; 6 - Barra de agitação de SBSE; 7 - Vial; 8 - Solvente para LD; 9 - Tubo de vidro para TD.



Fonte: (MANUEL; NOGUEIRA, 2012).

2.3.1.5 Composição volátil do jamelão

Vijayanand, Jagan Mohan Rao e Narasimham, (2001) estudaram os componentes voláteis do aroma do jamelão através da técnica de extração SDE com posterior injeção em GC-MS, no qual esta fração mostrou a presença de 30 compostos, dos quais 25, que constituíram 97% do óleo volátil, foram identificados. Eles tentaram identificar 4 compostos, que representavam 1,65% do óleo, e 1 composto não foi identificado. Eles observaram que a maior fração de compostos foi a de monoterpenos e a de seus oxigenados. Entre eles, os hidrocarbonetos constituíram a maior fração. Em escala decrescente de concentração estão o *cis*-ocimeno; *trans*-ocimeno; β -mirceno; α -pineno; β -pineno. Entre os álcoois, o α -terpineol foi o de maior concentração e três ésteres foram identificados: acetato de dihidrocarvila, butirato de geranila e isoalerato de terpinila. Sesquiterpenos e seus oxigenados constituíram a fração minoritária, dos quais cariofileno, α -humuleno, *cis*- β -farneseno e *trans*- α -farneseno

foram os majoritários. Portanto, 97% dos compostos voláteis são originados de metabólitos de isoprenos. Três outros compostos, os quais são derivados de outra rota metabólica, foram encontrados: hexileno glicol, γ -decalactona e ácido hexadecanóico.

Godoy et al. (2013), em seu trabalho sobre a identificação de compostos voláteis do jamelão, utilizaram a técnica de extração por SPME com posterior injeção ao GC com detector de ionização de chamas e em cromatógrafo a gás acoplado ao detector seletivo de massas. Eles observaram que o cromatograma de íons mostrou 2 grupos padrões, o primeiro formado por monoterpenos, hidrocarbonetos e oxigenados e o segundo formado por sesquiterpenos. O composto majoritário encontrado foi o β -phellandreno. Entre os monoterpenos merecem destaque: canfeno, β -pineno e limoneno. O grupo de monoterpenos apresentou praticamente quase todos os compostos majoritários do jamelão. Dos sesquiterpenos os principais compostos foram o β -cariofileno e o α -humuleno.

Mehta et al., (2017) em seu estudo sobre os constituintes voláteis do jamelão em três estádios de maturação e a otimização da técnica de SPME em *head space* em GC-MS (HS-SPME GC-MS), conseguiram identificar 90 compostos voláteis, dos quais estavam distribuídos em várias classes químicas, incluindo: 6 álcoois, 6 aldeídos, 17 ésteres, 3 ácidos carboxílicos, 18 hidrocarbonetos monoterpenos, 7 álcoois monoterpenos, 21 hidrocarbonetos sesquiterpenos, 5 álcoois sesquiterpenos e outros 7 compostos químicos. Eles observaram que a classe de terpenos foi majoritária nos três estádios de maturação e que a quantidade de mono e sesquiterpenos aumentou no estágio maduro. Os compostos voláteis mais abundantes identificados foram o β -ocimeno, cariofileno, humuleno, D- α -pineno, L- β -pineno, β -pineno, α -terpineol e o D-limoneno.

Foi observado no estudo de Mehta et al. (2017), que a área de algumas classes de compostos tinham comportamentos variados com relação ao processo de amadurecimento, como por exemplo, o 3-Hexen-1-ol que teve um aumento da sua área entre o estágio verde e quase maduro com uma posterior queda entre o estágio de quase maduro para maduro. O Ácido n-hexadecanóico foi observado apenas no estágio quase maduro, não sendo detectada a sua presença no estágio verde e maduro. O composto *Trans*- β -Ocimeno tem um significativo aumento de área durante o processo de amadurecimento. Com isto, é possível notar que alguns compostos têm o aumento ou redução de sua concentração caracterizando assim o sabor durante o amadurecimento, fator importante para o estudo dos marcadores de flavor em frutas. A tabela 3 mostra os compostos voláteis de maiores áreas cromatográficas, com suas respectivas classes químicas, encontrados no jamelão.

Scharf et al., (2016) estudaram a composição química do óleo essencial de jamelão, e detectaram apenas traços de compostos aromáticos. Apenas 2 componentes eluíram: (*E*)-cariofileno e o α -humuleno.

Tabela 3 - Compostos voláteis de maiores áreas cromatográficas de diferentes classes químicas encontrados no jamelão.

Classe química	Índice de Retenção Referencial	composto	Área (%) dos compostos em diferentes estádios de maturação			Descrição do odor
			Verde	Quase maduro	Maduro	
Álcoois	852	3-hexen-1-ol, (z)	0,206 ± 0,10	0,522 ± 0,11	0,322 ± 0,05	Cheiro de capim
	864	2,4-di-t-butilfenol	0,076 ± 0,09	0,288 ± 0,01	0,574 ± 0,02	—
Aldeído	854	2-hexanal, €	0,617 ± 0,15	1,196 ± 0,29	0,574 ± 0,05	Verde, folha
Ésteres	1285	acetato de bornila	0,177 ± 0,21	0,125 ± 0,02	0,203 ± 0,05	Madeira, menta, refrescante
	1353	ácido isotiocianico, benzil éster	0,178 ± 0,05	0,082 ± 0,02	0,028 ± 0,01	—
Ácido Carboxílico	1970	ácido n-hexadecanóico	—	0,753 ± 0,04	—	Parafina, cremosidade, sutil
Monoterpenos de hidrocarbonetos	940	d- α -pineno	3,534 ± 0,81	4,019 ± 0,60	4,400 ± 0,78	Terebintina, pinha
	981	β -pineno	2,382 ± 0,51	3,280 ± 0,64	3,089 ± 0,16	Pinha, resina, terebintina
	1040	<i>trans</i> - β -ocimeno	25,758 ± 1,88	33,725 ± 2,66	31,338 ± 2,33	Doce, erva
	1050	β -ocimeno	16,941 ± 2,01	24,090 ± 2,18	22,192 ± 1,55	Tropical, verde, sutil de madeira
Monoterpenos de álcoois	1190	α -terpineol	0,850 ± 0,02	2,193 ± 0,79	1,008 ± 0,09	Óleo, menta, erva-doce
Sesquiterpenos de hidrocarbonetos	1417	Cariofileno	20,439 ± 2,40	9,620 ± 0,64	13,769 ± 0,82	Amadeirado, condimentos.
	1452	Humuleno	12,914 ± 0,99	5,701 ± 0,29	6,592 ± 0,47	Amadeirado
	1581	óxido de cariofileno	1,515 ± 0,09	0,094 ± 0,03	0,128 ± 0,01	Erva, doce, condimentos
Sesquiterpenos de álcoois	1643	Agarospírol	0,167 ± 0,01	—	0,028 ± 0,01	Condimentos, amadeirado, picante

Fonte: Mehta et al. (2017).

2.4 Desidratação

Segundo Fellows (2006) a desidratação é definida pela aplicação de temperatura de aquecimento sob condições controladas para remoção de grande quantidade de água, por evaporação, normalmente presente em um alimento, ou, no caso da liofilização, por sublimação. O princípio de conservação da desidrataação é a redução da atividade de água proporcionando ao alimento um aumento significativo da sua vida de prateleira, isso faz com que o crescimento microbiano e a atividade enzimática sejam inibidos. A técnica de desidrataação apresenta vantagens como redução do peso e volume do alimento, diminuindo custos com transporte e armazenamento e fazendo com que esses produtos sejam de fácil manuseio, muitas vezes. Ela também pode causar a deterioração tanto sensorial como nutricional do alimento, com isso se faz necessário o estudo de condições que levem à minimização dessas alterações.

A desidrataação de maneira geral é a passagem do ar desidratado a elevadas temperaturas sobre o alimento, no qual ocorre transferência de calor na superfície, fazendo com que o calor latente de vaporização provoque a retirada de água (SPOTO, 2006; TRAVAGLINI *et al.*, 1993).

Este processo pode influenciar negativamente em aspectos sensoriais importantes como a cor. O aspecto visual é um importante atributo, pois os consumidores levam muito em consideração essa característica ao demonstrar interesse, com isso, se faz importante o estudo da cor com relação ao processo. Um dos principais parâmetros que influenciam a cor é a temperatura, por exemplo. Esta é decisiva para a análise das melhores condições de processo, visto que além do poder degradativo da cor do produto, ela também atua na degradação de várias outras substâncias presentes que podem influenciar também na cor. Um exemplo disto é a ocorrência da reação de caramelização dos açúcares presentes no suco, interferindo na sua coloração.

A operação de desidrataação em frutas é uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos. Ela permite uma maior conservação destes produtos à temperatura ambiente, pois reduz a suscetibilidade à deterioração e a umidade final do produto é um parâmetro importante já que estabelece o propósito de obter um produto mais estável, sem desconsiderar as qualidades sensoriais, que justifica e determina a aceitabilidade do produto pelo consumidor final (STRINGHETA *et al.*, 2003).

2.4.1 Desidratação em estufa com circulação e renovação de ar

A desidrataação em estufa simula um secador de bandeja, no qual a circulação de ar é feita por uma hélice situada atrás de resistências elétricas usadas para aquecer o ar de entrada. A temperatura é controlada por meio de um termostato. Após a desidrataação, o secador é

aberto e as bandejas descarregadas. Durante o processo de desidratação, uma pequena bandeja com a amostra controle do produto é pesada para verificar o fim do processo (COLESTINO, 2010). Secadores de bandeja normalmente são utilizados em pequenas escalas de produção ou para trabalhos em escala-piloto e possuem certa flexibilidade para operar com diferentes alimentos. No entanto, possuem um controle relativamente ruim, pois produzem produtos com uma qualidade variável, já que o alimento colocado em bandejas próximas à fonte de calor seca mais rapidamente (FELLOWS, 2006).

2.4.2 Spray dryer (Atomizadores)

A atomização consiste na desidratação e transformação de alimentos líquidos em pós (COLESTINO, 2010). Ele é usado extensivamente em indústria de alimentos manufaturados para a produção de alimentos em pó ou aglomerados (SHISHIR e CHEN, 2017).

O equipamento consiste em um sistema de spray para a desidratação do material, um sistema de aquecimento e um controlador de temperatura do ar de desidratação, um sistema de bomba e um controlador de vazão do material a ser desidratado, um sistema de soprador de ar desidratado, uma câmara de desidratação e um separador de pó desidratado pela corrente de ar (SILVEIRA et al., 2013).

O processo ocorre pelo bombeamento da amostra (alimento líquido) para o atomizador, onde ele é pulverizado na forma de microgotas ou névoa de gotículas para a câmara de desidratação. Na câmara ocorrerá a evaporação do solvente (água). É um processo no qual ocorre através da passagem de ar quente, transformando as gotículas em partículas sólidas, que são coletadas através de um filtro de ciclone ou outro sistema coletor de partículas (FILKOVÁ e MUJUMDAR, 1995).

Na desidratação por atomização há alguns fatores importantes do processo que influenciarão nas características químicas e reológicas do pó, eficiência e produtividade. Esse processo de desidratação é descrito resumidamente em 4 etapas, tendo em cada etapa fatores específicos de interferência. Na primeira etapa, formação da pasta ou suco, os principais fatores são: teor de sólidos solúveis, densidade, viscosidade, tensão superficial. Na segunda etapa, entrada da pasta ou suco no bico atomizador, os principais fatores são: tipo e projeto do bico, vazão de ar/líquido, pressões de ar/líquido, velocidade de ar/líquido. Na terceira etapa, formação das gotas (pulverização), os principais fatores são: temperatura e vazão do ar de desidratação, fluxos co ou contra corrente. Na quarta etapa, na formação do pó, os principais fatores são: forma, tamanho, densidade, compactabilidade, escoabilidade e umidade (LABMAQ, 2003).

Santhalakshmy et al., (2015) estudaram o efeito da temperatura de entrada nas propriedades físicas do pó do suco de jamelão, otimizando o processo de spray drying com base no rendimento do pó de suco. Eles utilizaram maltodextrina 20 DE (1:4 m/v) como material de parede a uma faixa de temperatura de 140, 145, 150, 155 e 160° C. Eles observaram que o maior rendimento foi obtido na temperatura de 150° C e que as temperaturas de entrada incidiram efeitos significativos nas propriedades físico-químicas. Maiores temperaturas de entrada mostraram maiores conteúdos de umidade e higroscopicidade. A cor foi principalmente afetada pela temperatura de entrada, quanto maior for a temperatura de entrada maior foi a perda da coloração púrpura. Com relação à morfologia do pó, menores temperaturas formaram partículas com superfícies lisas, enquanto as formadas por altas temperaturas foram esféricas com certo grau de encolhimento. Eles encontraram as melhores condições de processamento na faixa de 140 a 150° C, sendo que os pós produzidos a 150° C tiveram melhores propriedades físicas. O processamento por spray dryer mostrou uma boa qualidade dos pós com ótimo conteúdo de umidade e atividade de água, sendo uma potencial alternativa na produção de pós para a indústria de alimentos.

Ferrari, Ribeiro e Aguirre, (2012) reportaram em seu trabalho “*Desidratação por atomização em polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador*”, que o aumento da temperatura do ar de desidratação reduziu o conteúdo de umidade e atividade de água, contudo os pós se tornaram mais higroscópicos e com menores conteúdos antociânicos. As partículas formadas a 180° C, de forma geral, apresentaram maior tamanho, superfície lisa e maior uniformidade. Eles observaram que quanto maior a concentração de maltodextrina menor foi o teor de umidade, higroscopicidade e antocianinas. O processo utilizando uma temperatura de 160° C com 5% de maltodextrina foi o mais efetivo na manutenção do teor antociânico do suco de amora-preta em pó, retendo até 80% desses pigmentos.

Emam-Djomeh, Seddighi e Askari, (2017), avaliaram o efeito da temperatura do ar de entrada, da taxa de vazão do ar comprimido e da concentração de maltodextrina nas propriedades funcionais do pó de amora. Eles perceberam que o aumento da temperatura do ar de entrada teve um efeito positivo na solubilidade e na atividade antioxidante, mas reduziu o teor de umidade, o conteúdo total de antocianinas e o teor total de fenólicos, que a taxa de vazão de ar comprimido teve efeito positivo na atividade antioxidante. Eles reportaram também que a adição de maltodextrina não teve efeito significativo no teor de fenólicos e atividade antioxidante de pós com 4 a 8% de maltodextrina e concluíram que a condição

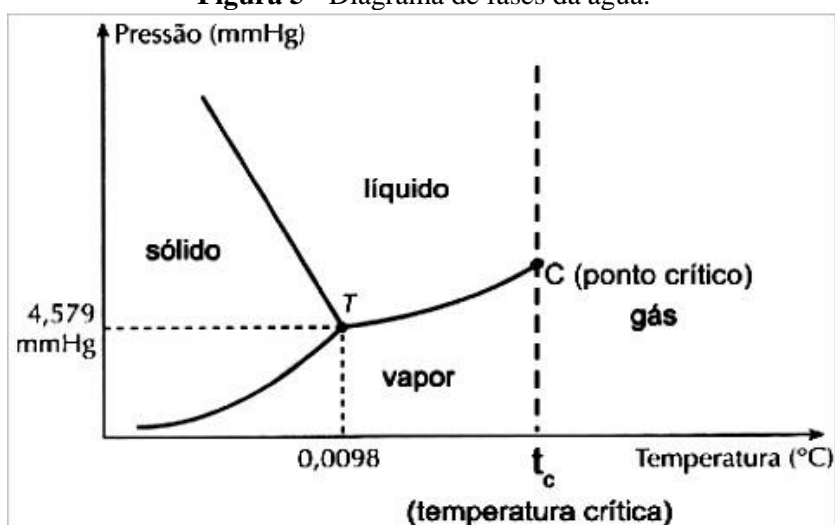
ótima do processo foi a uma temperatura de 130,88° C, a uma vazão de 636,7 L de ar/h e a uma concentração de 8,00% de maltodextrina.

Fellows (2006) destaca que as principais vantagens dos atomizadores são a rápida desidratação, a produção contínua em larga escala, baixos custos com mão-de-obra e operação e manutenção relativamente simples. Já este processo está limitado devido ao alto custo inicial e a necessidade de um teor de umidade relativamente alto de alimentação para garantir que alimento possa ser bombeado para o atomizador, o que resulta em custos de energia mais altos e maiores perdas de voláteis.

2.4.3 Liofilização (Freeze drying)

A liofilização é uma técnica na qual a retirada da água do alimento se dá através da sublimação, isto é, a água sai do estado sólido para o estado de vapor sem se fundir. Portanto, para que seja iniciado o processo de liofilização o primeiro passo é o congelamento do alimento. O congelamento é realizado em equipamentos convencionais e o alimento é reduzido a pequenos pedaços para que sejam congelados rapidamente, formando pequenos cristais de gelo, diminuindo danos à estrutura celular do alimentos. O segundo passo é a desidratação do alimento, então, o alimento é submetido a pressões muito baixas, nas quais permita que a água do alimento seja sublimada a temperaturas negativas. O vapor é retirado continuamente do alimento, mantendo-se a pressão na câmara do liofilizador abaixo da pressão de vapor da superfície do gelo pela remoção do vapor com uma bomba de vácuo, com posterior condensação em serpentina de refrigeração (FELLOWS, 2006).

Figura 5 - Diagrama de fases da água.



Fonte: <http://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/o-diagrama-fases.htm>

Devido à crescente mudança de hábitos alimentares, os consumidores estão buscando cada vez mais o consumo de alimentos livre de ingredientes artificiais como corantes, aromas, flavors. Neste sentido muitas indústrias estão utilizando o método da liofilização para a substituição desses alimentos ricos em ingredientes artificiais, por alimentos naturais liofilizados. Com isso muitos produtos estão sendo produzidos para atender a essas exigências. Alguns exemplos de produtos liofilizados: desidratação/concentração de reativos ou substâncias químicas termolábeis, enzimas, hormônios, antibióticos, vitaminas, organismos vivos (bactérias, fungos, leveduras), alimentos no qual se deseja manter características organolépticas, como: café em pó, mariscos, carne, peixes, ervas aromáticas, frutas e hortaliças, leite, queijo, yogurtes, ovo, etc. Com o objetivo de manter uma elevada qualidade e proteger materiais que são sensíveis ao uso de elevadas temperaturas, a liofilização é o método mais adequado para essas características. Devido a isso, ela vem sendo muito empregada na desidratação de frutas tropicais, pois elas possuem alto custo comercial. Esses produtos são muito utilizados no preparo de sucos naturais, como sabores e aromas para bebidas, como fitoterápicos e em cosméticos (TERRONI et al., 2013).

Gutiérrez-Quequezana et al., (2018) em seu estudo sobre a “*Análise melhorada de antocianinas e vitamina C em cultivares de batata azul-roxo*”, reportaram que o uso de vapor como pré-tratamento é econômico para a análise de antocianinas quando as amostras não passam pelo processo de liofilização, porém, ocorre uma perda de aproximadamente 15% de antocianinas. Com isso a liofilização se torna uma alternativa melhor de pré-tratamento para a extração e quantificação de antocianinas.

Zhang e Zhong, (2018) em seu estudo sobre “*Cápsulas liofilizadas preparadas a partir de emulsões com lactase encapsulada como um sistema de distribuição potencial para controlar a hidrólise da lactose no leite*”, reportaram que a diálise das emulsões sólido/óleo/água promoveu a remoção da enzima lactase não encapsulada e a reticulação adicional das proteínas de caseínas nas gotículas da lactase de grau comercial aumentou a estabilidade das gotículas após a liofilização, mantendo a lactase principalmente em cápsulas após a incorporação no leite, e as cápsulas se mantiveram dispersas durante o armazenamento.

Vieira, Nicoletti e Telis, (2012) estudaram a cinética de desidratação de fatias de abacaxi liofilizadas e observaram que a cinética de desidratação e atributos de qualidade tem forte dependência, em função das condições de congelamento. Eles reportaram que fatias com menores espessuras retiveram mais vitamina C e altas taxas de difusividade efetiva do que em fatias mais grossas. A temperatura do ar de congelamento intermediária mais favorável à

desidratação foi de -24° C. Já o índice de reidratação foi mais vantajosa em temperaturas mais altas de congelamento e fatias de menor espessura.

Sun et al., (2015) estudaram o efeito de três métodos de desidratação, a liofilização foi um deles, sobre os compostos fitoquímicos e atividade antioxidante de frutas cítricas não maduras e descobriram que a liofilização é um dos melhores métodos de preservação de compostos fenólicos, sinefrina e antioxidantes nessas frutas.

Dong et al., (2017) estudaram o efeito de diferentes técnicas de desidratação sobre o perfil volátil de grão de café robusta e reportaram que a concentração de ácidos foi maior em grãos liofilizados, onde, em contraste, a menor concentração desses compostos foi encontrados em grãos desidratados através de desidratação por bomba de calor, sugerindo à liofilização um método eficiente na preservação de compostos voláteis. Além disso, eles observaram que o método de liofilização é um bom método de desidratação porque pode ser utilizados na preservação de gordura, ácidos orgânicos e ácidos graxos monoinsaturados.

Nunes et al., (2016) estudaram o efeito da liofilização na composição volátil, perfil fenólico e capacidade antioxidante do pó de goiaba e reportaram que o método de liofilização apresentou compostos voláteis relacionados ao aroma da fruta fresca de goiaba fresca, atribuindo à liofilização um método de preservação de compostos voláteis.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- Obter o produto desidratado da polpa/suco de jamelão através de diferentes métodos de desidratação e determinar a composição volátil e os compostos bioativos dos produtos desidratados.

3.2 Objetivos específicos

- Obter a polpa de jamelão pelo processo mecânico de despulpamento e determinar o rendimento, bem como, suas características físico-químicas e químicas;
- Obter o suco de jamelão pela prensagem e determinar o seu rendimento.
- Obter o produto desidratado em pó da polpa de jamelão através de método de desidratação por liofilização (condições constantes de temperatura e pressão) e estufa com circulação e renovação de ar em três temperaturas (40, 50 e 60 °C) com velocidade de ar constante;
- Determinar as características físico-químicas e químicas dos produtos desidratados através de liofilização e estufa com circulação e renovação de ar;
- Otimizar o processo de obtenção do produto desidratado em pó do suco de jamelão pelo processo de *spray dryer*, através de Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR), utilizando 12 variáveis de resposta e aplicar a função *Desirability*.
- Determinar as características físico-químicas do pó desidratado do suco de jamelão por *spray dryer*;
- Determinar as características físicas inerentes aos produtos desidratados do jamelão;
- Determinar a morfologia dos produtos desidratados através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Identificar e quantificar alguns compostos bioativos da polpa e dos produtos desidratados de jamelão, através de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD);
- Identificar os compostos voláteis da polpa de jamelão e dos seus produtos desidratados através de cromatografia a gás acoplada ao espectrômetro de massa (GC-MS);
- Avaliar os produtos obtidos no processo de desidratação em relação ao perfil de compostos bioativos e voláteis.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados majoritariamente no Laboratório de Análise de Flavor (LAF), tendo o uso também do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA).

4.1 Materiais

- Estufa de circulação e renovação de ar;
- Mufla;
- Cadinhos de porcelana e metal;
- Medidor de atividade de água;
- pHmetro;
- Refratômetro digital;
- Colorímetro;
- Vortex;
- Suporte Universal;
- Guarras metálicas;
- Spray-dryer;
- Liofilizador;
- Cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massa;
- Cromatógrafo a líquido acoplado ao espectrômetro de massa;
- Espectrofotômetro;
- Béquer 500, 250 e 100 mL;
- Balões volumétricos 100, 50 e 25 mL;
- Funil;
- Erlenmeyer 250 e 125 mL;
- Pipeta graduada 10, 5, 2 e 1 mL;
- Pipetador e micropipetador;
- Bureta 25 mL;
- Tubos de ensaio;
- Suporte para tubos de ensaio;
 - Maltodextrina (20 DE);
 - Hidróxido de sódio (NaOH);
 - Reagente de Folin-Ciocalteu;
- Carbonato de sódio (NaCO_3);
- Cloreto de alumínio (AlCl_3);
- Etanol;
- Éter de Petróleo;
- Ácido clorídrico (HCl);
- Cloreto de potássio (KCl);
- Cloreto de sódio (NaCl);
- Acetato de sódio;
- Ácido acético;
- Metanol;
- 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH);
- Persulfato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$);
- Trolox;
- ABTS;
- Cloreto férrico (FeCl_3);
- TPTZ;
- Reagente FRAP;
- Sulfato ferroso (FeSO_4);
- Gás hélio, nitrogênio, ar sintético e hidrogênio;
- Nitrogênio líquido.

4.2 Matéria-prima

A matéria-prima base para os experimentos foi o jamelão, adquiridos na própria Universidade Federal de Sergipe. A maltodextrina e demais materiais foram adquiridos comercialmente.

O jamelão foi sanitizado com cloro a 200 ppm pelo período de 15 minutos e as frutas foram postas em outro recipiente com água clorada a 3 ppm durante 8 min. Em seguida, os jamelões foram transportados em recipientes adequados até o Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA)–UFS, despulpados em despulpadeira da marca ITAMETAL®, modelo COMPACTA. A polpa de jamelão foi acondicionada em potes de polietileno previamente sanitizados com álcool 70° GL e transportados para o Laboratório de Análise de Flavor (LAF) – UFS, onde foram congeladas a -26° C.

4.3 Obtenção dos pós de jamelão

4.3.1 Desidratação em estufa com circulação e renovação de ar

A polpa de jamelão foi descongelada e postas nas bandejas do equipamento. Foram realizadas três desidratações nas seguintes temperaturas: 40, 50, 60° C.

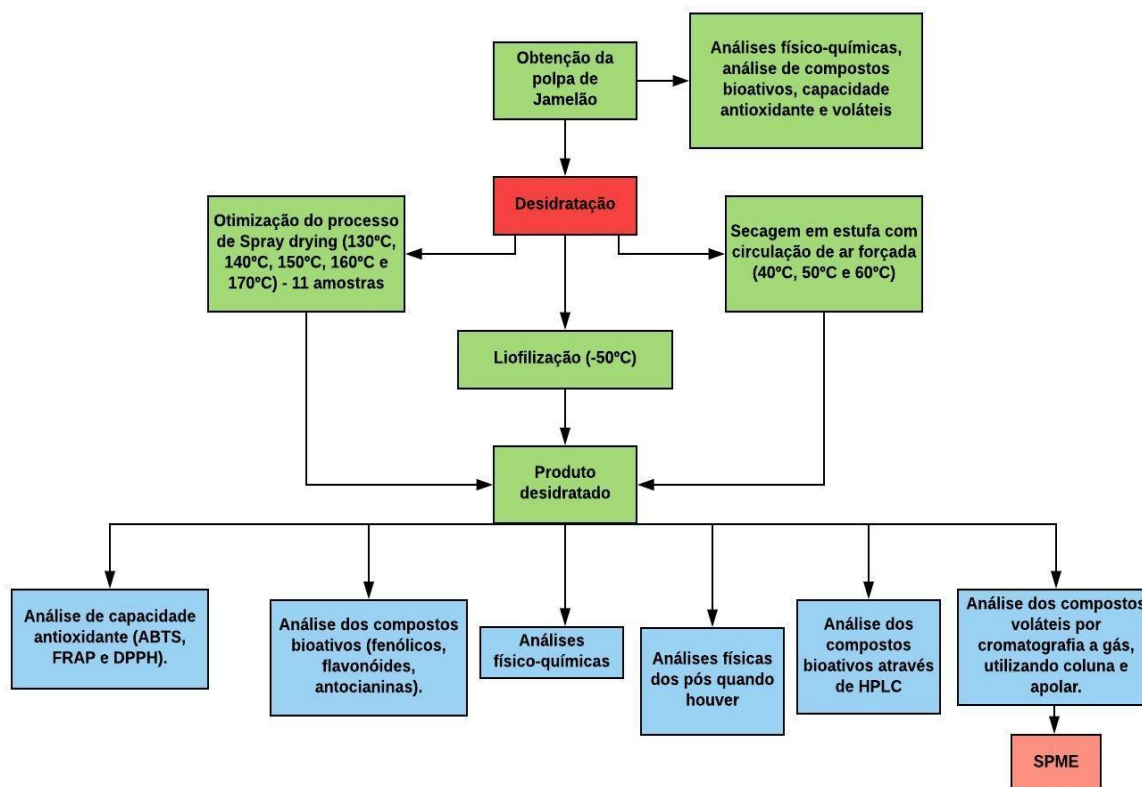
4.3.2 Desidratação por liofilização

A polpa de jamelão foi colocada em placas e frascos e levadas ao freezer para congelamento. As placas com a polpa congelada foram levadas ao liofilizador para posterior desidratação. O processo foi condicionado a uma temperatura de -50° C, sob vácuo.

4.3.3 Desidratação em spray dryer

A polpa de jamelão foi descongelada até temperatura ambiente e posteriormente, foi realizada a filtração em pano para obtenção do suco de jamelão. Ao suco foi adicionado maltodextrina 20 DE, seguindo o planejamento experimental feito para a otimização do processo e levado para o spray dryer

Figura 6 – Fluxograma das etapas desenvolvidas durante o processo de pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

4.3.3.1 Design Experimental

As condições de desidratação foram determinadas usando delineamento central composto rotacional (DCCR). As variáveis estudadas foram a temperatura de entrada e a concentração de maltodextrina presente na composição de desidratação. As variáveis foram testadas em 5 níveis. A tabela 4 mostra as variáveis e os níveis estudados. Três pontos centrais foram incluídos no modelo experimental afim de testar a repetibilidade do método totalizando 11 experimentos.

Os resultados foram ajustados com o modelo polinomial de segunda ordem de acordo com a equação abaixo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (\text{Equação 1})$$

Tabela 4 – Valores utilizados na otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

	-1,41	-1	0	1	1,41
Concentração de Maltodextrina (%)	15	17,5	20	22,5	25
Temperatura (°C)	130	140	150	160	170

4.3.4 Rendimento

O rendimento do produto das amostras depois da desidratação por atomização, liofilização e ar forçado (Estufa com circulação e renovação de ar) foi calculado de acordo com a fórmula abaixo:

$$\text{Rendimento (\%)} = \left(\frac{\text{pó atomizado obtido (g)}}{\text{suco de jamelão (g)} + \text{maltodextrina (g)}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 5 - Design experimental utilizado para análises da composição do suco de jamelão atomizado, variáveis independentes e seus valores codificados..

Ensaio	Concentração de Maltodextrina (%)	Temperatura (°C)
1	22,5 (-1)	160 (-1)
2	17,5 (1)	160 (-1)
3	22,5 (-1)	140 (1)
4	17,5 (1)	140 (1)
5	15 (-1,41)	150 (0)
6	25 (1,41)	150 (0)
7	20 (0)	130 (-1,41)
8	20 (0)	170 (1,41)
9	20 (0)	150 (0)
10	20 (0)	150 (0)
11	20 (0)	150 (0)

4.3.5 Performance da desidratação

Com o objetivo de avaliar a performance da desidratação a eficiência energética (η) e a recuperação do produto (R) foram calculados usando os balanços de massa e energia de acordo com as equações abaixo (CORTÉS-ROJAS; SOUZA; OLIVEIRA, 2015):

$$R = \left(\frac{M_c(1-X_p)}{W_s.C_s.\theta} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, M_c é a massa coletada (g); X_p é a conteúdo de umidade do produto; W_s é a taxa de alimentação do suco de jamelao (g/min); C_s é o conteúdo de sólidos da composição do suco (g/g); θ é o tempo de processo (min).

$$\eta = \frac{T_{gi} - T_{go}}{T_{gi} - T_{amb}} \quad (\text{Equação 4})$$

Na equação 4, T_{gi} é a temperatura de entrada; T_{go} é a temperatura de saída; e T_{amb} é a temperatura média do ambiente.

4.4 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas da polpa e dos pós de jamelão foram avaliadas quanto ao teor de umidade, atividade de água, potencial hidrogeniônico, cinzas, teor de sólidos solúveis totais, acidez titulável e cor. As análises foram realizadas em triplicata, seguindo as metodologias presentes no livro de métodos analíticos do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

4.4.1 Teor de Umidade

Foram medidas de 2 a 10 g de amostra em capsula metal, previamente tarada. A amostra foi aquecida em estufa durante 3 horas, resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada, repetindo a operação de aquecimento e resfriamento até obter o peso constante.

4.4.2 Atividade de água

Foram medidas de 2 a 5 g de amostra, colocando-a no recipiente próprio para mensuramento do equipamento Aqualab Water Activity Meter, na qual será feita a leitura da atividade de água e obtenção do resultado.

4.4.3 Potencial Hidrogeniônico

Foram pesados 5 g da amostra em um bequer e com auxílio de 100 mL de água, a amostra foi diluída. O conteúdo foi agitado até que as partículas fiquem uniformemente suspensas. O pH foi determinado, com o equipamento Hanna Instruments HI 2221 previamente calibrado, operando-o de acordo com as instruções do manual do fabricante.

4.4.4 Acidez titulável potenciométrica

O teor de acidez foi determinado pelo método de acidez titulável por volumetria potenciométrica, por titulação com NaOH 0,1M o qual se aplica a soluções fortemente coloridas, onde o ponto de equivalência é determinado pela medida do pH da solução (IAL, 2008, 311/IV) e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico por 100g de amostra.

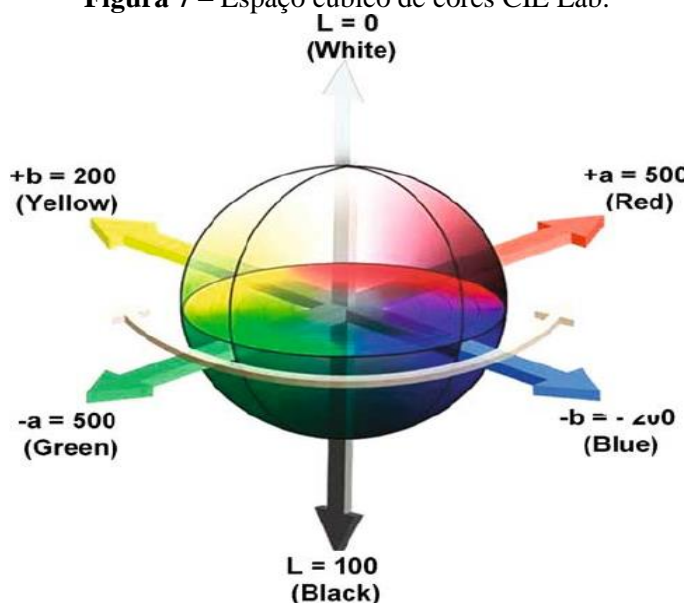
4.4.5 Teor de sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais (a 25°C) foi quantificado por leitura direta, com uso de um refratômetro digital BrasEq de acordo com o método 315/IV proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e os resultados foram expressos em °Brix (graus Brix).

4.4.6 Determinação da cor

A cor foi determinada empregando o sistema CIELAB (*Comissão Internacional de Iluminantes*), na qual as leituras foram obtidas através do colorímetro Konica Minolta CM-700d, por meio dos parâmetros L^* (luminosidade); a^* (cromaticidade que varia da cor verde [-] a vermelha [+]); b^* (cromaticidade que varia da cor azul [-] a amarela [+]). Foram avaliados também os parâmetros c^* (chroma) que representa a saturação (0° no centro, aumentando de intensidade à medida que se distancia desse) e h^* (hue) que representa ângulo de tonalidade (iniciando em 0°, que seria $+a^*$ [vermelho], 90° seria $+b^*$ [amarelo], 180° seria $-a^*$ [verde] e 270° seria $-b^*$ [azul]) (ZHANG *et al.*, 2007).

Figura 7 – Espaço cúbico de cores CIE Lab.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/The-cubical-CIE-Lab-color-space_fig3_23789543

4.5 Análises Físicas dos pós

4.5.1 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi avaliada baseada no método descrito por Cai e Corke (2000) com modificações. Um total de 1,0 g de amostra foi colocada em um dessecador, a 25° C com uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) (umidade relativa de 75,29%). As amostras foram pesadas uma semana depois e a higroscopicidade foi expressa como a massa de umidade adsorvida por 100 gramas de material desidratado.

4.5.2 Molhabilidade

A molhabilidade foi avaliada de acordo com o método descrito por Vissotto et al. (2010), considerando o tempo requerido para 1,0 g de pó depositado na superfície do líquido tornar-se completamente submerso em 400 mL de água destilada a 25° C.

4.5.3 Turbidez

A turbidez do suco de jamelão integral e do suco de jamelão em pó reconstituído foi mensurado segundo (LAKSAMEETHANASANA et al. 2012). Tanto suco em pó reconstituído como o suco integral de jamelão foram colocados em uma placa de leitura espectrofotométrica, na qual foram feitas as leituras em comprimento de onda de 900 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devaices, Modelo SpectraMax-M2), onde as absorbâncias foram anotadas.

4.5.4 Solubilidade

A solubilidade do pó foi determinada através do método de Eastman e Moore's (1984) com modificações. Um total de 1,0 g de amostra de suco em pó foi misturado com 100 mL de água destilada em um *blender* a alta velocidade (1550 rpm por 5 min). O conteúdo de umidade do suco em pó está em torno de 3,5%; assim, 1 g de pó foi adicionado a 100 mL de água destilada. Esta solução foi transferida para um tubo fechado e centrifugada a 3000 rpm por 5 min e repousada por 30 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de petri, previamente tarada, e imediatamente seca em estufa a 105° C por 5h. A solubilidade (%) foi calculada pela diferença de massa.

4.5.5 Densidade da partícula

A densidade da partícula (ρ_p) foi mensurada usando o método sugerido por Jinapong; Suphantharika; Jamnong (2008). 1 g de pó desidratado foi transferido para uma proveta de 10 mL. Um total de 5 mL de éter de petróleo foi, depois, adicionado a essa amostra e agitada por

algum tempo até que todas as partículas ficassem suspensas. Posteriormente, toda a parede da proveta foi rinsada com 1 mL de éter de petróleo e o volume total de éter de petróleo e partículas suspensas foi lido. A densidade do pó foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$\rho_p = \frac{\text{massa de suco em pó (g)}}{\text{volume total de éter de petróleo e partículas suspensas (mL)}-6} \quad (\text{Equação 5})$$

4.5.6 Dispersibilidade

A medida de dispersibilidade foi feita através do procedimento descrito por Jinapong; Suphantharika; Jamnong (2008) com modificações. Um total de de 10 mL de água destilada a 25°C foi transferida para um béquer de 50 mL, logo após 1 g de suco em pó foi adicionado. Com o auxílio de um cronômetro a amostra foi agitada vigorosamente por 15 s, fazendo 25 movimentos completos no béquer. O pó reconstituído foi passado em uma peneira (175 µm). O suco em pó reconstituído foi, então, transferido para uma placa de Petri, previamente tarada, e seca em estufa a 105°C por 4h. A dispersibilidade do pó foi calculada através da equação abaixo:

$$D(\%) = \frac{(10+a).\%TS}{a.(100-b)/100} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde, “a” é quantidade de pó sendo usada (g); “b” é o conteúdo de umidade do pó; e %TS é a porcentagem de matéria seca do pó reconstituído depois ter sido peneirado.

4.5.7 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água

O índice de solubilidade em água (WSI) e o índice de absorção de água foi determinado utilizando o método descrito por Gomez (1984) com modificações. 2,5 g de suco em pó foi adicionado em 30 mL de água a 30°C em um tubo de centrífuga, agitado intermitentemente por 30 min e centrifugado por 10 min a 5100 rpm. O sobrenadante foi cuidadosamente colocado em uma placa de Petri, previamente tarada, e seca em estufa a 105°C durante uma noite. A quantidade de sólidos no sobrenadante desidratado como uma porcentagem do total de sólidos desidratados na amostra original (2,5 g) dá uma indicação do índice de solubilidade em água (WSI). O sólido úmido depositado após centrifugação foi desidratado em estufa durante uma noite. O índice de absorção de água foi calculado como a massa de sólido desidratado dividido pela quantidade de amostra seca.

4.5.8 Morfologia do produto

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para avaliar a morfologia do produto desidratado. Uma pequena quantidade de suco/polpa em pó foi colocada em um *stub* com adesivo dupla-face de carbono. Cada amostra foi coberta (metalizada) com prata (Kurt J. Lesker 108) e analisada em microscópio eletrônico (Carry Scope JCM-5700 Jeol) a 5KV.

4.6 Determinação dos compostos bioativos

4.6.1 Determinação de compostos fenólicos totais (CFT), flavonóides totais e antocianinas monoméricas totais (TMA).

4.6.1.1 Extração da amostra

A extração foi feita segundo Neves (2017) com modificações. Foram pesados 5g da polpa/pó de jamelão em um béquer envolto com papel alumínio, protegendo-o da radiação luminosa, os quais foram misturados com 50 mL de etanol 70% e cobertos. A mistura foi submetida a agitação com barra magnética durante 60 minutos e logo após a extração, os extratos foram filtrados, concentrados em evaporador rotativo (Buchi modelo R-3) a 40°C e determinados quanto ao teor de CFT, FT, TMA.

4.6.1.2 Determinação de compostos fenólicos totais (CFT)

Foram determinados através do procedimento convencional espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu adaptado por Swain e Hillis (1965) modificado por Thaipong *et al.* (2006). Foram adicionados 150 µL dos extratos da polpa e dos pós de jamelão, 2400 µL de água destilada, e 150 µL de reagente de Folin-Ciocalteu 0,25 N em tubo de ensaio, os quais foram homogeneizados com Vortex. A mistura foi deixada a reagir durante 3 minutos. Em seguida, 300 µL de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) 1N foi adicionada e homogeneizada. A solução foi incubada à temperatura ambiente no escuro, durante 2 h. A absorbância a 725nm foi medida utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devaices, Modelo SpectraMax-M2) e os resultados foram expressos em microgramas equivalentes em ácido gálico (µg GAE/g de extrato desidratado), calculados por meio de uma curva padrão de ácido gálico, a qual foi construída nas concentrações de (20-160 µg/L) para comparação dos resultados. Diluições adicionais do extrato foram realizadas quando o valor de absorbância não estava dentro do intervalo da curva.

4.6.1.3 Determinação de flavonóides totais (FT)

Foram determinados conforme o método descrito por Boroski *et al.*(2015) com algumas modificações. Foram adicionados 500 µL de cada extrato em 250 µL de uma solução de cloreto de alumínio 5,0% em etanol (v/v) e 4,25 mL de etanol 70,0%. Essa mistura foi homogeneizada e mantida em temperatura ambiente, no escuro por 30 min. Em seguida, foi realizada a leitura da absorbância em 425 nm utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devaices, Modelo SpectraMax-M2). O branco foi preparado conforme as etapas citadas anteriormente em substituição da adição do extrato por etanol. Foi construída uma curva padrão de quercetina (0,0-100 mg / L) (diluída em etanol 70,0%) para comparação.

4.6.1.4 Antocianinas monoméricas totais (TMA)

Foram determinadas através do método de pH diferencial citado por Santos *et al.* (2010) e descrito por Giusti e Wrolstad (2001) com algumas modificações, o qual se baseia na transformação estrutural do cromóforo de antocianina em função do pH. Foi utilizado espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devaices, Modelo SpectraMax-M2) para medições espectrais no comprimento de onda de absorbância máxima (aproximadamente 512-520 nm) e 700 nm, utilizando água destilada como um branco. Para este efeito, foram preparadas duas diluições da amostra: uma com tampão de ácido clorídrico/cloreto de potássio de pH = 1,0 e a outra com tampão acetato de sódio/ácido acético de pH = 4,5. Os valores de pH dos tampões foram medidos utilizando-se um medidor de pH (Hanna Instruments HI 2221) calibrado com soluções tampão a pH 4,00 e 7,00.

Alíquotas de 0,5 mL de extrato foram colocadas em balões volumétricos de 25 mL, estes foram completados com os tampões de pH 1,0 e 4,5; 15 min mais tarde, a absorbância de cada solução equilibrada foi medida no comprimento de onda de absorção máximo (512 ou 520 nm) e 700 nm utilizando placa. Diluições adicionais do extrato foram realizadas quando o valor de absorbância for maior que 1,0.

Foi determinado o fator de diluição (DF) (volume final sobre o volume da amostra original). A diferença nos valores de absorvância a pH 1,0 e 4,5 é diretamente proporcional à concentração de TMA.

O teor de antocianina foi calculado como cianidina-3-glicósido (PM = 449,2 g/mol e ϵ = 26,900 L/mol.cm) e os resultados foram expressos como µg de 3-cy-glicósideo/g de material desidratado. A absorvância da amostra diluída (A) e da TMA foram calculadas com as equações 1 e 2:

$$A = (A_{\text{máx}} - A_{700})_{\text{pH}1,0} - (A_{\text{máx}} - A_{700})_{\text{pH}4,5} \quad (\text{equação 7})$$

$$\text{TMA} = (A * \text{MW} * \text{DF} * 1000) / (\epsilon * l) \quad (\text{equação 8})$$

4.7 Capacidade antioxidante

Os extratos produzidos de jamelão e dos seus pós foram avaliados quanto à atividade antioxidante pelos métodos de captura dos radicais DPPH, ABTS⁺, e pelo potencial redutor do ferro (FRAP) de acordo com metodologias descritas a seguir.

4.7.1 DPPH• (Captura do radical livre - 2,2-difenil-1-picrilhidrazil).

A análise foi feita de acordo com Moo-Huchin et al. (2014) com algumas modificações. A solução estoque foi preparada misturando 2,4 mg do radical DPPH com 100 mL de metanol. A absorbância da solução foi ajustada para $0,7 \pm 0,02$ em 515 nm utilizando o espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devices, Modelo SpectraMax-M2). 3,9 mL do radical DPPH foi transferido para um tubo de ensaio e 100 µL de extrato ou padrão foi adicionado (metanol foi utilizado como branco). O decaimento da absorbância a 515 nm foi medido em intervalos de 5 minutos até estabilização. O tempo utilizado neste estudo foi de 4 horas. Uma curva de calibração foi preparada usando o padrão de Trolox e os resultados (AOC) foram expressos como µM TE/100 g de FW.

4.7.2 Método de captura do ABTS⁺ (2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico))

Esse método é utilizado com base na capacidade de uma amostra inibir o radical ABTS (ABTS⁺) comparando com um padrão de referência antioxidante (Trolox).

A análise foi feita segundo a metodologia descrita por Miller et al. (1993). O cátion ABTS⁺ foi gerado através da interação de 19,2 mg de ABTS dissolvido em 5 mL de água grau HPLC e 88 µL de persulfato de potássio (K₂S₂O₈) a 0,0378 g/mL. O cátion foi incubado no escuro à temperatura ambiente por 16 horas. O radical ABTS ativado foi diluído em etanol puro ajustando sua absorbância até $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm. Após ajuste da absorbância, 30 µL de extrato ou padrão foram adicionados em 2970 µL de solução de ABTS em tubo de ensaio, misturados em vortex, incubados no escuro por 6 minutos à temperatura ambiente e sua absorbância foi lida em . Uma curva de calibração foi preparada usando Trolox e os resultados foram expressos como µM Trolox equivalentes/ 100 g de FW.

4.7.3 Método do poder redutor do Ferro (FRAP)

O potencial redutor dos extratos foi avaliado pelo teste FRAP (*Ferric Reducing Ability Power*), seguindo o procedimento descrito por Boroski *et al.* (2015) com algumas adaptações. A solução de trabalho (FRAP) foi obtida a partir da mistura das soluções estoque de acetato de sódio 300mmol/L, cloreto férrico 20 mmol/L e TPTZ 10 mmol/L nas proporções 10:1:1(v/v/v), respectivamente. Posteriormente, uma alíquota de 3,0 mL do reagente FRAP recém-preparado (que representa o branco) foi misturada com 100 µL de cada extrato e 300 µL de água destilada. A mistura foi homogeneizada e incubada em banho maria a 37 °C por 30 min e em seguida, foi realizada a leitura da absorbância em 593nm. O reagente FRAP foi empregado para calibrar o espectrofotômetro UV-Vis (Molecular Devaices, Modelo SpectraMax-M2). Diluições adicionais necessárias foram feitas caso o valor medido não se encontre dentro do intervalo da curva ($abs > 1,2$). Para construção da curva de calibração foi utilizada uma solução de sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) nas concentrações de 0-2000 µmol/L. Os resultados foram expressos em µmol de sulfato ferroso/ g de extrato desidratado em comparação a curva padrão e as amostras foram analisadas em triplicata.

4.8 Determinação dos compostos bioativos do jamelão

A extração e as condições de análise foram feitas segundo a metodologia de Barros *et al.* (2017) com modificações. Condições do instrumento: A separação cromatográfica dos compostos foi feita em um de cromatógrafo de fase líquida UFLC (LC-20AD) equipado com um Sistema de bomba (20AT), um degaseificador (DGU-20A3), um amostrador automático (SIL-20AT) e um sistema de detector de arranjo de diodos DAD (SPD-M20A).

4.8.1 Análise de compostos fenólicos

O sistema UFLC foi conectado a uma coluna C18 Kinetex (150 cm x 4,6 mm, 5µ, 100A) (Phenomenox, CA, USA). A fase móvel consistiu de 0,1% de ácido fórmico em água na bomba A e 0,1% de ácido fórmico em acetonitrila na bomba B. O programa de gradiente de eluição estava a uma taxa linear de 1,0 mL/min e a concentração de 15% do solvente B foi mantida por 40 min no programa de gradiente, no qual foi interrompido a 40,01 min. Depois foi feita uma lavagem com metanol e a coluna foi reequilibrada por 40 min. O volume de injeção foi de 5 µL para o padrão e 20 µL para os extratos das amostras, enquanto a temperatura da coluna foi mantida a 40 °C. Os compostos foram observados em uma faixa de 190 a 800 nm e uma banda com 4 nm usando DAD.

4.8.1 Preparo dos padrões

As diferentes concentrações (0,02 – 1 mg/mL) de padrões como ácido gálico, ácido clorogênico, ácido elágico, catequina, miricetina e rutina foram preparadas utilizando metanol como solvente.

4.9 Determinação dos compostos voláteis do jamelão

A análise por cromatografia a gás foi realizada através de um sistema com o cromatógrafo a gás (Agilent Technologies 7890A GC System) acoplado a um espectrômetro de massa (Agilent Technologies 7000 GC/MS Triplo Quad).

O método de extração de compostos voláteis utilizado foi por microextração em fase sólida (SPME), no qual 2,0 g de polpa/pó de jamelão foram colocados em um vial de 50 mL selado com septo diluído em 4,0 mL de água ultra-pura.

As condições de separação e cromatografia foram selecionadas de acordo com o estudo realizado por Mehta *et al.* (2017). A fibra utilizada foi DVB/CAR/PDMS e as condições de extração foram como se segue: temperatura de extração: 32,5 °C; tempo de equilíbrio: 15 min; concentração de sal: 15%; tempo de exposição da fibra: 20 min. Terminado o tempo de exposição da fibra, a amostra foi injetada imediatamente no injetor do cromatógrafo a gás.

Os compostos foram dessorvidos com a seguinte programação:

As amostras foram analisadas em cromatógrafo a gás da marca Agilent (Modelo 7890B GC System) acoplado a espectrômetro de massas da marca Agilent (Modelo 5977A MSD) com coluna polar VR-WAXms (30m x 0,25 mm x 0,25 µm). O índice de retenção dos compostos foi calculado com a injeção de uma série de alcanos (C7-C30) nas condições analíticas idênticas e a comparação dos espectros foi realizada com a ajuda da biblioteca NIST. A porta do injetor foi regulada a 220 °C e o gás hélio (99,9999%) foi utilizado como gás de arraste a um fluxo de 1,0 mL/min.

O modo de injeção foi feita no modo splitless, a programação da temperatura do forno foi: inicial de 30° C durante 5 minutos, foi a 100°C a uma taxa 7°C/min permanecendo por 5min, logo apos, foi a 130°C a uma taxa de 1C/min, e por fim foi a uma taxa de 10°C/min até chegar em 220°C. A temperatura no MS Source foi de 280° C e a temperatura no MS QUAD foi de 180° C.

Todos os espectros de massa foram adquiridos no modo de ionização de elétrons com uma energia elétrica de 70 eV. O espectro de massa foi varrido no modo scan, com a razão

massa carga(m/z) de 35 a 450 amu. E os compostos foram identificados através da comparação dos espectros, com a ajuda da biblioteca NIST, e dos índices de retenção.

4.10 Análise Estatística

Todos os resultados obtidos foram analisados e expressos como média \pm desvio padrão, usando o *software* Statistica 12.0 (SatSoft Inc., Tulsa, USA). Análises de variância (ANOVA) foram usadas para determinar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras. Diferenças entre as médias foram detectadas usando o teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento de polpa de jamelão

De acordo com o cálculo, houve rendimento significativo do fruto durante o processo de despulpamento (Tabela 6). Isto é, há um grande aproveitamento desta matéria-prima para a fabricação de diversos produtos com elevado valor nutricional, pois esta fruta é rica em compostos nutracêuticos capazes de reduzir ou até mesmo eliminar o avanço clínico de doenças como cânceres, doenças renais, cardiovasculares, diabétes, etc.

Tabela 6 – Rendimento do despulpamento do jamelão.

Massa de Fruta (g)	Massa de Polpa (g)	Rendimento (%)
3522,53	2650,00	75,23

Segundo os autores Ayyanar; Subash-babu; Ignacimuthu (2013); Baliga et al. (2011), o jamelão (*Syzygium cumini*) é uma fruta tropical rica em antocianina mostrada como fonte fitoquímica natural com aplicações farmacológicas. Apesar do potencial bioativo do jamelão, não existe um mercado estabelecido de produtos derivados no Brasil. Assim, seria desejável desenvolver processos tecnológicos que permitissem seu uso prático como ingredientes alimentares.

5.2 Caracterização físico-química e química do jamelão

A tabela 7 apresenta os resultados obtidos de diversas análises físico-químicas e químicas realizadas com a polpa de jamelão.

De acordo com a tabela 7 a polpa de jamelão possui uma elevada atividade de água e umidade (0,9904 e 88,29%; respectivamente). Isso mostra o quão suscetível essa fruta é ao ataque microbiano. Neves (2017) encontrou um teor de umidade de 84,25% na polpa. Branco et al. (2016) encontraram um valor de 86,07%. Tavares et al. (2016) relatou 87% de umidade

na polpa. Soares (2015) reportou que dependendo da região há uma variação dos valores de umidade na polpa entre 86 e 90%. Seraglio et al. (2018) encontrou 88,66%, um valor próximo ao desse estudo, no estágio intermediário de maturação, tendo uma queda para 84,74% no estágio maduro. Pode-se perceber que os valores dos trabalhos citados estão próximos ao valor encontrado neste estudo.

Tabela 7 – Caracterização físico-química e química da polpa de jamelão.

Características	Valor
Aw (-)	0,9904 ± 0,0003
Umidade (%)	88,29 ± 0,06
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	8,92 ± 0,04
pH (-)	3,96 ± 0,009
Acidez (%)	8,15 ± 0,19
L*	25,6 ± 0,65
a*	21,7 ± 0,29
b*	-9,7 ± 0,19
C*	24,97 ± 1,18
°Hue	337,3 ± 0,44
Fenólicos Totais (mg GA/100g)	73,25 ± 1,25
Flavonóides Totais (mg QE/100 g)	14,01 ± 2,47
Concentração de Antocianinas (mg 3-cy-glicoside/100 g de amostra)	576,2 ± 3,98
DPPH (µmol TE/g)	255,2 ± 13,84
ABTS (µmol TE/g)	2944,5 ± 52,88
FRAP (µmol Fe²⁺/g)	2952,17 ± 136,24

O teor de sólidos solúveis encontrado neste trabalho foi de 8,92 °Brix. Ele é um indicador da quantidade de açúcares de um alimento, portanto é parâmetro determinante para a qualidade sensorial do alimento, por exemplo, no gosto doce. Observa-se que o valor encontrado é baixo, porém ele é um fator intrínseco do alimento que depende da região, do clima, do solo, etc. Neves (2017) relata que encontrou um teor de 10,67 °Brix. Branco et al. (2016) encontrou 17,8 °Brix. Seraglio et al. (2018) reportou 9 °Brix no estágio intermediário de maturação e 10,5 °Brix no estágio maduro. Vizzoto e Fetter (2009) relataram que o jamelão estudado apresentou um valor de 9 °Brix, próximo ao valor encontrado neste estudo. Ou seja, o teor de sólidos solúveis como visto além de depender de fatores extrínsecos (clima, solo, irrigação), depende também do estágio de maturação, como isto ele pode ser considerado como um indicador do estágio de maturação do fruto.

O potencial hidrogeniônico é um parâmetro que determina a acidez do alimento. Com relação a isto, os alimentos são classificados de acordo com a sua acidez em pouco ácidos ($\text{pH} > 4,5$); ácidos ($4,0 < \text{pH} < 4,5$) e muito ácidos ($\text{pH} < 4,0$). O pH encontrado neste estudo foi de 3,96 o que indica que a polpa de jamelão é um alimento muito ácido. Neves (2017) relatou um pH de 4,04 na polpa do jamelão. Vizzoto e Fetter (2009) relatam em seu estudo um pH de 3,9. Mussi et al. (2015) encontraram um pH de 3,63 na polpa de jamelão. Seraglio et al. (2018) encontraram um pH de 3,98 no estágio intermediário de maturação e 4,26 no estágio maduro do jamelão. Alimentos ácidos são mais suscetíveis a ataque de leveduras, portanto o processo de desidratação se torna uma barreira a mais para a proteção do fruto, reduzindo a atividade de água para níveis onde não há desenvolvimento microbiano.

A acidez titulável de um alimento é um importante indicador da integridade da conservação de um alimento, pois é sabido que processos de degradação como hidrólise, fermentação, oxidação, que promove a formação de substâncias ácidas, aumentando consequentemente a acidez, que é um atributo sensorial do alimento.

Substâncias de natureza ácida são responsáveis pelo gosto ácido ou azedo, assim, contém pelo menos um próton dissociável em sistemas aquosos. A primeira percepção em nível molecular do gosto ácido ou azedo ou picante envolve uma ligação entre prótons aos canais iônicos da membrana celular do receptor, fechando o fluxo de íon Na^+ e despolarização, porém não se tem total compreensão sobre os a resposta ao gosto azedo. Em contra partida, não necessariamente a força de um ácido é determinante para a sensação de azedo, outras propriedades devem ser levadas em consideração como massa molecular, tamanho e polaridade global, sendo que a experiência empírica prévia, muitas vezes determina a seleção de ácidos para aplicação de alimentos (FENEMA, 2010).

Os métodos de determinação de acidez de um produto alimentício podem avaliar a acidez titulável por meio da concentração do principal ácido orgânico presente no meio (ácido cítrico, ácido málico, ácido tartárico, ácido acético, ácido láctico) ou fornecer a concentração de íons hidrogênio livres por meio do pH. Os que avaliam por titulometria resumem-se em titular a amostra com uma solução alcalina padrão, podendo ser expressa em mL de solução molar por cento ou em gramas do componente do ácido principal (IAL, 2008).

Este método representa a soma dos ácidos presentes na amostra, de acordo com o ácido predominante no alimento que está sendo analisado (IAL, 2008), que neste caso é o ácido cítrico. A acidez total da polpa foi de 8,15 g / 100g de Ácido Cítrico (8,15%), um valor próximo ao encontrado por Mussi (2015) 12% na fração comestível e 9% em relação à polpa

e por Neves (2017) 7,38% na polpa e acima do valor encontrado por Lago *et al.* (2006) 5,91%.

O valor de pH encontrado foi de 3,96. Valores próximos ao deste estudo foram encontrados por Neves (2017) pH de 4,04 na polpa; Branco *et al.* (2016), Pereira *et al.* (2011) e Mussi *et al.* (2015) verificaram valores em uma faixa de 3,63 a 4,15 para a polpa e parte comestível do jamelão. Com isto, verifica-se que este fruto é classificado como um alimento ácido, favorecendo o crescimento de leveduras e fungos. Uma alternativa para a conservação e prolongamento da vida útil deste fruto seria a aplicação de um método de desidratação, reduzindo a quantidade de água disponível para o desenvolvimento microbiano.

A cor também é um parâmetro importante para o aspecto sensorial visual do alimento. O jamelão possui algumas substâncias responsáveis pela sua coloração característica roxa, as antocianinas. A análise colorimétrica não mede a concentração destas substâncias, porém mede o impacto causado por elas na coloração do fruto. Ela consiste na medição de 5 parâmetros (a^* ; b^* ; L^* ; c^* e $^{\circ}\text{Hue}$). Quando a coordenada a^* é positiva, afirma-se que a cor está para um tom avermelhado e quando negativa para um tom esverdeado. Quando a coordenada b^* é positiva, afirma-se que a cor está para um tom amarelado e quando negativa para um tom azulado. A coordenada L^* corresponde à luminosidade da amostra, no qual valores positivos indicam uma amostra mais clara, já valores negativos uma amostra mais escura. Valores de c^* indicam a saturação, pureza ou intensidade da cor, no qual maiores valores indicam uma maior pureza, saturação ou intensidade. Por último o ângulo hue ($^{\circ}\text{Hue}$), que indica a tonalidade da amostra e varia de 0° a 360° , onde 0 e 360° representam o tom vermelho; 90° amarelo; 180° o verde e 270° o azul (CHITARRA e CHITARRA, 2005; PATHARE *et al.*, 2013).

Os valores apresentados na tabela 6 provam a cor característica que o jamelão tem. Com um valor positivo da coordenada a^* (tom voltado ao vermelho); com um valor negativo de b^* (tom voltado ao azul); com um valor relativamente baixo de luminosidade (L^*), conotando sua coloração mais escura; uma média intensidade ou saturação da coloração (c^*) e uma tonalidade ($^{\circ}\text{Hue}$) próximo do vermelho. Ou seja, a análise colorimétrica mostrou a manifestação das antocianinas na coloração do jamelão, podendo ser uma análise rápida para a estabilidade desses pigmentos ao longo do tempo em determinadas condições com a verificação da perda de cor.

Com relação aos compostos bioativos da polpa de jamelão foram analisados, através de métodos espectrofotométricos, os teores de antocianinas monoméricas totais, compostos fenólicos totais e flavonóides totais.

Os valores de compostos fenólicos totais obtidos neste estudo foram bem abaixo do esperado (tabela 7), já que o jamelão é uma fruta conhecida por ter um alto teor dessas substâncias. O que pode estar atrelado a este resultado é a eficiência da extração destes compostos, o solvente utilizado, a eficiência de reação entre os reagentes, calibração do equipamento. Alguns autores também reportaram valores inferiores destes compostos, porém um pouco acima ao deste trabalho. Como Faria *et al.* (2011) que encontrou 148,3 mg GAE/100 g; Soares (2015) que encontrou entre 150 e 195 mg/100 g e Brandão (2011) que reportou um valor de 208 mg/100 g em seu trabalho.

Porém, alguns trabalhos encontraram valores bem acima como Neves (2017), Rai *et al.* (2011) e Singh *et al.* (2016) que relataram valores de compostos fenólicos totais na polpa de 1481 mg GAE/100 g; 1175,18 mg/100 g e 1174 mg GAE/100 g, respectivamente.

Como observado alguns estudos mostram que o jamelão é um alimento rico em compostos fenólicos. Alguns autores reportam que há fatores intrínsecos e extrínsecos que podem afetar os resultados para mais ou para menos, como por exemplo, clima, tipo do solo, umidade relativa do ambiente, estágio de maturação, variação do estágio de maturação ao processar a fruta, localização geográfica onde os frutos foram coletados, local de armazenamento dos frutos, processamento da polpa, condição de armazenamento da polpa, método e tempo de extração, tipo do solvente, etc (DJERIDANE *et al.*, 2013, BIEGELMEYER *et al.*, 2011, PINTO *et al.*, 2010, MARTIN *et al.*, 2011; CHENG *et al.*, 2012).

Quase todos os tecidos vegetais são capazes de sintetizar os flavonóides. Há pelo menos cerca de 2.000 de ocorrência natural, os quais estão presentes em frutas, legumes ervas, verduras, leguminosas, tubérculos, raízes. Estes compostos estão associados com propósitos medicinais e uma dieta pobre é um dos maiores fatores etiológicos para doenças crônicas, assim como, doenças cardíacas e câncer (FENEMA, 2010; ANDERSEN; MARKHAM, 2006).

A tabela 7 mostra um resultado de flavonóides totais bem abaixo do esperado, já que o jamelão é conhecido por ter um alto teor destes compostos. O resultado para flavonóides totais é expresso em quercetina equivalente, o que pode estar relacionado ao baixo valor. Andersen e Markham (2006) relatam que a quercetina é o flavonóide mais comum em frutas e cita a concentração deste composto em algumas frutas como groselha: 12,6 mg/100 g; fruto

do sabugueiro: 17,0 mg/100 g; amora: 13,0 mg/100 g. Branco *et al.* (2016) verificou um resultado muito próximo ao deste estudo, encontrando 25 mg QE/100 g.

Alguns autores encontraram valores bem acima como Neves (2017) que obteve 174 mg QE/100 g em polpa de jamelão; Faria *et al.* (2010) obteve 91,2 mg CE/100 g, isto é, estes autores expressaram em catequina equivalente. Bezerra (2015) e Rai *et al.* (2015) também encontraram valores superiores ao deste trabalho, 165,4 mg/100 g e 115 mg/100 g, respectivamente.

Resultados ainda maiores foram encontrados nos trabalhos de Benherlal e Arumughan (2007) que obtiveram 3000 mg QE/100 g de polpa de jamelão; Singh *et al.* (2016) que encontrou 573 mg QE/100 g para o fruto de jamelão, que pode ser devido a presença de antocianinas.

Pacheco (2015) avaliou o teor de flavonóides, utilizando diferentes solventes extratores e verificou que a acetona extraiu uma maior concentração, seguida do etanol e metanol, apresentando respectivamente os valores de 94,5; 86,7 e 131mg QE/100g. Com isto, é possível observar que a interação do solvente com a amostra tem um impacto significativo. A depender da polaridade do flavonóide alguns solventes são mais indicados, como, clorofórmio, diclorometano, éter dietílico, acetato de etila para os menos polares e álcoois ou solução hidroalcoólica para os mais polares (ANDERSEN; MARKHAM, 2006).

Este estudo verificou um teor de antocianinas de 576,2 mg 3-cy-glicoside/100 g. Um teor relativamente alto comparado a alguns estudos. Neves (2017) encontrou na polpa uma concentração de 113,25 mg CE/100 g. Faria *et al.* (2011) reportaram uma concentração de 210,9 mg 3-cy-glicoside/100 g. Veigas *et al.* (2007) em seu estudo relataram uma concentração de 230 mg 3-cy-glicoside/100 g. Mussi (2015), Tavares *et al.* (2016) e Sá *et al.* (2008) encontraram valores ainda mais baixos para a polpa de jamelão: 68,5 mg/100 g; 59,42 mg/100 g e 63mg/100g, respectivamente.

Outros autores pesquisados encontraram valores acima do encontrado neste estudo, como, Bezerra (2015) e Brito *et al.* (2007) que encontraram 624 mg/100 g e 771 mg/100 g, respectivamente.

Portanto, ficou clara a variação dos resultados de compostos bioativos (compostos fenólicos, flavonóides e antocianinas) encontrados neste estudo e nos trabalhos pesquisados. Isso ocorre devido a alguns fatores intrínsecos e extrínsecos que devem ser levados em consideração e podem afetar a determinação destes compostos. Todavia, não se descarta a riqueza que o jamelão tem nestas substâncias que são altamente benéficas à saúde humana.

Contudo, além de trazer benefícios ao consumidor, esta fruta também pode ser utilizada na indústria de aditivos com a extração de seu pigmento.

Também foram realizados ensaios de capacidade antioxidante através dos métodos de DPPH, FRAP e ABTS. De acordo com a tabela 7 é possível observar que houve uma resposta positiva, mostrando que a polpa do jamelão possui uma boa quantidade de agentes antioxidantes, os compostos bioativos são exemplos disso. Ou seja, pode se tornar um aliado para a indústria de aditivos na extração de antioxidantes naturais.

Para os métodos de redução do 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) e 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolína-6 ácido sulfônico (ABTS), quanto maior o teor de compostos antioxidantes, maior é a inibição dos radicais livres. O resultado de ambos os métodos foram expressos em μM Trolox equivalente/g, baseando-se na curva de calibração feita com a reação entre o Trolox e o DPPH ou ABTS, já o resultado do método de poder redutor do ferro (FRAP) é baseado na curva de calibração de sulfato ferroso (FeSO_4) e foi expresso em $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$.

Um dos métodos indiretos mais antigos para se determinar doadores de hidrogênio é o teste de redução do 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH). Este método não envolve o uso de altas temperaturas e aeração, podendo reagir com compostos fenólicos e ácidos aromáticos de apenas um grupamento (ROGINSKY; LISSI, 2005; SILVA et al., 1999; SANTOS et al., 2007). O método consiste na capacidade de um agente antioxidante (AH) ou um radical (R) reduzir o 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) de cor púrpura, formando uma solução de cor amarela, difenil-picril-hidrazina, com consequente perda de absorção máxima no comprimento de onda de 516 nm acompanhamento do decréscimo da absorbância e então a partir dos resultados obtidos se determina a porcentagem de atividade antioxidante (CHANDRASEKAR et al, 2006; KIM; THOMAS, 2006) ou a concentração de um reagente padrão que foi oxidado, que para esse estudo foi o Trolox.

Neste estudo foi encontrado um valor de 255,2 $\mu\text{M TE/g}$ de polpa. Bezerra (2015) por sua vez verificou para a fruta uma atividade antioxidante de 163,34 $\mu\text{mol de TE/g}$. Araújo (2014) estudando a propriedade antioxidante da polpa de jamelão relatou um valor em torno de 100 $\mu\text{mol TE/g}$. Kuskosky et al. (2006) analisaram a polpa de jamelão em diferentes solventes extratores (etanol e metanol) e reportaram que após 60 minutos os valores foram de 20,1 $\mu\text{M TE/g}$ para o extrato etanólico e 21 $\mu\text{M TE/g}$ para o extrato metanólico, valores estes bem abaixo do encontrado neste estudo. Correia et al. (2012) através do método de DPPH, analisaram 4 frutas secas em leite de jorro, dentre elas o jamelão, o qual apresentou um valor de 436,76 $\mu\text{M TE/g}$, sendo a fruta de maior atividade antioxidante, seguida da pitanga (206,69 $\mu\text{M TE/g}$),

acerola (191,66 $\mu\text{M TE/g}$) e cajá-umbu (10,53 $\mu\text{M TE/g}$). Singh et al. (2015) comparando o extrato polifenólico de jamelão com alguns padrões, encontraram um valor de 6700 $\mu\text{M TE/g}$, sendo este um valor de atividade considerável.

O teste de ABTS é um método espectrofotométrico que mede a perda de cor quando um agente antioxidante reduz o cromóforo ABTS⁺ (2,2-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), transformando-o em ABTS, com conseqüente perda da cor verde-escuro. O radical ABTS⁺ não é encontrado no corpo humano. Esta metodologia permite analisar substâncias antioxidantes tanto de caráter hidrofílico (compostos fenólicos, flavonóides, ácido ascórbico), como também, de caráter lipofílico (carotenóides) (ALAM; BRISTI; RAFIQUZZAMAN, 2013; KUSKOSKI et al., 2006). A capacidade com a qual o extrato reage com o radical ou inibe processos oxidativos é determinado pelo valor de Trolox Equivalente (TE). É um método simples, porém existem limitações, devido o radical ABTS⁺ ser pouco seletivo com relação aos compostos doadores de elétrons e do tempo de reação com a amostra, o que pode levar a resultados discrepantes (RICE-EVANS et al., 1996; CAMPOS; LISSI, 1997).

Este estudo mostrou que o valor de ABTS encontrado em Trolox Equivalente foi de 2944,5 $\mu\text{M /g}$. Neves (2017) em seu estudo encontrou um valor de 159,32 $\mu\text{M TE/g}$ para a polpa de jamelão e 1705,69 $\mu\text{M TE/g}$ para a casca do jamelão. Singh et al. (2016) estudando a comparação do extrato polifenólico da polpa de jamelão com outros padrões de polifenóis, encontraram um valor de 8,2 mM TE/g, um valor elevado de atividade, mostrando uma relação direta entre os compostos polifenólicos e a atividade antioxidante.

Rufino et al., (2010) analisaram a capacidade antioxidante de 18 frutas tropicais do Brasil não tradicionais e reportaram um valor de 125 $\mu\text{M TE/g}$, sendo este maior que o do açaí (64,5 $\mu\text{M TE/g}$) e menor que o da jaboticaba (317 $\mu\text{M TE/g}$) e acerola (953 $\mu\text{M TE/g}$).

Sá (2008) estudou o potencial antioxidante da parte comestível e da semente do jamelão e encontrou 262,13 $\mu\text{M TE/g}$ na fração comestível do jamelão. Ainda reporta que o valor encontrado para a fração comestível do jamelão é maior que o da amora (4,3 $\mu\text{M TE/g}$), uva (7 $\mu\text{M TE/g}$), açaí (6,9 $\mu\text{M TE/g}$), goiaba (5,9 $\mu\text{M TE/g}$), morango (9,2 $\mu\text{M TE/g}$), acerola (53,2 $\mu\text{M TE/g}$). O que destaca ainda mais o jamelão como uma fruta rica em compostos antioxidantes.

O teste de Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP) é um método baseado na redução do íon férrico (Fe^{3+}) para o íon ferroso (Fe^{2+}), com conseqüente mudança de coloração para o azul intenso em meio ácido. Com esta mudança de coloração, a absorvância

observada é reduzida em 593 nm (comprimento de onda de maior absorção) e o resultado expresso em micromolar de Fe^{2+}/g ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$) ou micromolar do padrão utilizado/g (ex: $\mu\text{M TE}/\text{g}$) (ANTOLOVICH *et al.*, 2002).

O valor encontrado em estudo foi de 2952,7 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$, sendo este valor o maior entre os testes de atividade antioxidante discutidos anteriormente (DPPH e ABTS). Neves (2017) encontrou para a polpa de jamelão um valor próximo ao deste estudo (2485,17 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$) e para a casca um valor de 4681,19 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$, revelando uma maior capacidade antioxidante da casca com relação a polpa. Rufino *et al.* (2010) encontraram um valor de 173 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ para o jamelão, sendo este inferior ao do açaí (220 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$), acerola (1996 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$), jaboticaba (635 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$). Singh *et al.* (2016) fizeram esta metodologia para o extrato polifenólico do jamelão, utilizando como resposta o padrão Trolox e encontraram um valor de 7500 $\mu\text{M TE}/\text{g}$, considerado elevado.

Aqil *et al.* (2012) relatam que o método FRAP tem sido amplamente utilizado para avaliar compostos antioxidantes na dieta de polifenóis. Em avaliação, observaram que a habilidade redutora tanto do extrato hidrolisado e não-hidrolisado de jamelão depende da sua concentração, isto é, eles perceberam que baixas concentrações eram suficientes para eliminar 50% do radical e que os valores de atividade encontrados para a semente de jamelão foram significativos ($p < 0,001$) com relação aos extratos da polpa.

Zhang e Lin (2009) reportaram, em seu estudo sobre o poder antioxidante dos taninos presentes no jamelão, um valor de atividade de 3020 $\mu\text{M Ácido Ascórbico Equiv.}/\text{g}$ para a casca do jamelão e 6210 $\mu\text{M Ácido Ascórbico Equiv.}/\text{g}$ na fruta. Eles avaliaram também a correlação entre o aumento do poder de redução do ferro e a concentração de taninos, concluindo que o aumento da concentração de taninos indicava um aumento na redução do ferro.

Rufino *et al.* (2010) estudaram a correlação existente entre substâncias com poder antioxidante e os métodos de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e reportaram que os compostos polifenólicos apresentaram uma correlação positiva para os testes de ABTS e FRAP, já para o teste de DPPH estes compostos apresentaram uma correlação negativa e significativa, o que pode ser devido o resultado deste método ser inversamente proporcional.

O que pode ser observado é que os resultados apresentados possuem uma certa coerência, devido as peculiaridades dos métodos. É possível concluir que para o jamelão, os métodos de ABTS e FRAP produzem bons resultados, mostrando que estes métodos são mais adequados para esta fruta, enquanto o teste de DPPH não foi satisfatório. Isso pode ter

ocorrido por diversos motivos, um deles seria a cor que pode atrapalhar a leitura no espectrofotômetro, outro seria a indicação deste método para extratos contendo compostos hidro e lipofílicos, já os outros dois métodos anteriormente citados são mais indicados para compostos hidrofílicos.

Apesar da importância destas análises na descoberta de compostos bioativos e o poder antioxidante encontrado em determinado tipo de alimento, publicações que utilizam exclusivamente os métodos colorimétricos se tornarão mais escassos na Química de Alimentos, pois a comunidade científica converge para metodologias mais sensíveis e mais precisas. Com isto, os novos autores correm em busca da determinação destes compostos através da cromatografia e aplicam técnicas biológicas de simulação *in vitro*, no qual células são utilizadas para simular determinado órgão ou sistema, ou ainda, autores buscam aplicar técnicas *in vivo*.

5.3 Caracterização da polpa de jamelão desidratada por convecção em diferentes temperaturas

A polpa de jamelão foi desidratada em uma estufa com circulação e renovação de ar. Nela foram aplicadas as temperaturas de 40, 50 e 60 °C com o intuito de verificar as mudanças devido ao processo nas características físico-químicas e químicas da polpa de jamelão.

O processo de desidratação por convecção se dá pela passagem de ar quente pelo material a ser desidratado, no qual o ar quente promove a evaporação da água livre presente, com consequente redução da umidade, parâmetro utilizado para indicar o término do processo, como também reduz a atividade de água, que indica a força com a qual a água está ligada aos solutos da matriz, sendo que quanto menor é o seu valor, maior é a força de ligação e, consequentemente esta água não estará disponível para reações química, bioquímicas e desenvolvimento microbiano.

A tabela 8 mostra que o valor de atividade de água da polpa desidratada em estufa a 40, 50 e 60 °C se apresentaram bem abaixo de 0,6. Este valor é limitante para o desenvolvimento de qualquer tipo de microrganismo. Com relação às amostras, foi possível observar que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras JE50 e JE60, ambas diferiram significativamente com relação a amostra JE40, sendo o menor valor para a amostra JE60 (0,3246).

A umidade é um parâmetro que medirá a quantidade de água presente no alimento, envolvendo a água de baixa mobilidade, ou água ligada, e a água fracamente ligada, ou água

livre. A legislação não traz diretrizes referentes a alimentos em pó derivados de polpa de frutas, como valores de umidade, acidez, etc, porém pode ser seguida pela legislação para frutas secas ou desidratadas, inteiras ou em pedaços, que estabelece um teor máximo de umidade de 25% (BRASIL, 2005). O menor teor de umidade foi da amostra JE50 (11,39%). E a análise estatística de comparação entre as médias mostrou que todas as amostras diferiram significativamente ($p < 0,05$). Com isso, foi possível observar que todas as amostras apresentaram valores abaixo do exigido pela legislação citada acima.

Tabela 8 - Caracterização físico-química e química da polpa de jamelão desidratada em estufa com circulação e renovação de ar com diferentes temperaturas.

Características	JE40	JE50	JE60
A _w (-)	0,3685 ^a ± 0,0015	0,328 ^b ± 0,0011	0,3246 ^b ± 0,006
Umidade (%)	11,69 ^a ± 0,07	11,39 ^b ± 0,04	12,92 ^c ± 0,03
pH (-)	3,62 ^a ± 0,03	3,88 ^b ± 0,04	3,95 ^b ± 0,009
Acidez (%)	51,03 ^a ± 0,62	26,24 ^b ± 0,25	27,49 ^b ± 0,11
L*	19,97 ^a ± 0,9	18,33 ^a ± 0,7	22,28 ^a ± 1,35
a*	15,91 ^a ± 0,6	12,25 ^b ± 0,4	15,65 ^a ± 0,2
b*	-0,85 ^a ± 0,42	-2,51 ^a ± 0,26	2,34 ^b ± 0,32
C*	16,67 ^a ± 0,28	12,04 ^b ± 0,04	16,14 ^a ± 0,06
°Hue	356,92 ^a ± 1,49	348,47 ^b ± 1,18	8,52 ^c ± 1,06
Fenólicos Totais (mg GA/100g)	203,6 ^a ± 5,07	201,09 ^a ± 5,16	56,7 ^b ± 2,1
Flavonóides Totais (mg QE/100 g)	51,05 ^a ± 4,26	43,96 ^a ± 1,31	2,27 ^b ± 0,13
Concentração de Antocianinas (mg 3-cy-glicoside/100 g de amostra)	766,9 ^a ± 6,9	887,7 ^b ± 10,2	106,8 ^c ± 6,3
DPPH (µmol TE/g)	189,5 ^a ± 2,32	158,25 ^b ± 5,00	105,83 ^c ± 5,15
ABTS (µmol TE/g)	641,17 ^a ± 11,97	970,5 ^b ± 17,86	181,33 ^c ± 7,26
FRAP (µmol Fe ²⁺ /g)	656,8 ^a ± 17,8	475,6 ^b ± 19,8	515,8 ^b ± 9,1
Higroscopicidade (%)	10,12 ^a ± 0,04	15,36 ^b ± 0,14	13,27 ^c ± 0,02

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

O pH das amostras permaneceram abaixo de 4,0 o que caracteriza que as amostras são consideradas muito ácidas, dentro da classificação com relação a acidez de alimentos. Apenas não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras JE50 e JE60. A amostra JE40 apresentou diferença significativa e o menor valor de pH (3,64). As amostras apresentaram um valor de pH próximo ao da polpa *in natura*.

Porém, o mesmo não aconteceu para a acidez da polpa desidratada. Em todas as amostras a acidez aumentou com relação a polpa *in natura*. A tabela 8 mostra que apenas as amostras JE50 e JE60 não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) e a amostra JE40 diferiu significativamente de ambas com o maior valor de acidez (51,03%) e a amostra JE50

apresentou o menor valor (26,24%). Algumas variáveis podem ter influenciado para esse aumento como o teor de umidade, pois devido a polpa apresentar um elevadíssimo teor de umidade, essa quantidade de água dilui os ácidos da amostra, já a polpa desidratada apresenta baixo teor de umidade e, conseqüentemente, há uma concentração dos ácidos presentes. Outro fator que pode ter aumentado a concentração de ácidos na polpa é o processo de desidratação, que pode provocar a formação de alguns ácidos durante o processo através de reações químicas e bioquímicas, ou seja, as variáveis do processo como o tempo, velocidade do ar e temperatura, podem ter relação direta na acidez.

Neves (2017) realizou a desidratação das cascas de jmelão em estufa a 40 °C e obteve um valor de 23,81% de acidez, ela relata que esta concentração foi maior que para a polpa *in natura* e que isso pode ter ocorrido devido a evaporação de água causar a concentração dos compostos que dão acidez.

A cor é um parâmetro importante para o produto, ainda mais, quando o produto é submetido a temperaturas altas por um certo período de tempo. É sabido que esses parâmetros são um dos principais influenciadores desta propriedade, pois altas temperaturas podem agir tanto para a aceleração da formação de pigmentos escuros através de reações de escurecimento não enzimático (reação de Maillard e caramelização) como também altas temperaturas podem degradar os pigmentos naturais presentes no alimento, levando a uma coloração que não é tão atrativa. Deste modo, se faz importante o estudo da influência da temperatura sobre este parâmetro.

Os valores para a coordenada L* não apresentaram diferença significativa. Os valores obtidos indicam que as 3 amostras possuem uma baixa luminosidade, tendenciando a uma cor mais escura, que era o esperado, já que o jmelão possui um cor escura.

Com relação aos valores da coordenada a*, apenas as amostra JE40 e JE60 não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Entretanto, ambas apresentaram valores positivos, entre 12,15 e 15,96 o que indica que as amostras apresentam uma tonalidade avermelhada.

Dos valores da coordenada b* apresentados, apenas as amostras JE40 e JE50 não tiveram diferença significativa ($p < 0,05$) e ambas apresentaram valores negativos, o que era esperado. Todavia, a amostra JE60 apresentou um valor positivo, diferenciando-se significativamente ($p < 0,05$) das duas outras amostras, apesar de ter sido um valor muito baixo.

Já os valores de saturação ou cromaticidade (C^*) da cor da polpa desidratada, apenas as amostras JE40 e JE60 não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). A cromaticidade da amostra JE50 foi a menor indicando que a cor desta amostra é menos saturada que a das outras amostras. Entretanto, todas as 3 amostras apresentaram valores inferiores ao encontrado para a polpa *in natura*, dando ênfase à perda de coloração devido ao uso de altas temperaturas no processo de desidratação por convecção.

Por fim, os valores do ângulo Hue ($^{\circ}\text{Hue}$) apresentados mostram que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as 3 amostras. As amostras JE40 e JE50 apresentaram um valor próximo ao de 360° , o que indica uma tonalidade vermelha. Já a amostra JE60 apresentou um valor próximo a 0° (8,52) indicando também uma tonalidade voltada ao vermelho.

Méndez-Lagunas *et al.* (2017) analisaram a cor de morangos desidratados por convecção em duas temperaturas e encontraram os seguintes valores: para morangos desidratados a 50°C $L^* = 28,26$; $a^* = 34,63$; $b^* = 19,19$ e em 60°C $L^* = 27,5$; $a^* = 31,1$; $b^* = 17,2$. Eles relatam que a amostra desidratada a 50°C tiveram uma maior perda de cor devido ao longo tempo de exposição.

Neves (2017) relata que devido à redução da quantidade de água na casca de jamelão, houve escurecimento da farinha, acontecendo o mesmo à coordenada b^* e observa também que o processo de desidratação ocasionou a intensificação da cor e aumento no valor da coordenada a^* em relação à polpa.

Segundo Aral e Beşe (2016) os parâmetros de cor podem se usados para otimizar processos de desidratação de forma a minimizar as perdas de compostos importantes. Eles relatam que a redução da temperatura e da velocidade do ar, causando o aumento no tempo do processo, houve um aumento no escurecimento, redução do valor da coordenada b^* e aumento de a^* . Eles relatam também que todas as amostras desidratadas mudaram a cor esverdeada para uma coloração avermelhada, podendo ser devido a reações de escurecimento não-enzimático.

Szychowski *et al.* (2018) compararam diferentes métodos de desidratação em marmelos e chegaram a conclusão que a convecção foi o método que proporcionou os produtos mais escuros e que o aumento de temperatura intensifica ainda mais essa coloração escura.

Os compostos bioativos estão presentes em uma quantidade considerável no jamelão, como pôde ser visto durante todo o estudo. Foram medidos os conteúdos de fenólicos totais,

flavonóides totais e o teor de antocianinas monoméricas para saber se o processo exerceria um efeito degradativo no produto final.

O conteúdo de fenólicos totais foi medido entre as amostras e o teste estatístico de comparação das médias indicou que apenas as amostras JE40 (203,6 mg GA/100g) e JE50 (201,09 mg GA/100g) não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). O menor conteúdo foi da amostra JE60, que apresentou um valor de 56,7 mg GA/100g, podendo ser devido à ação negativa que a elevada temperatura (60 °C) exerce sobre esses compostos.

Méndez-Lagunas *et al.* (2017) encontraram 264.25 g GAE/100 g em morangos fresco e após o processo de desidratação houve uma redução de cerca de 61%, a 50 °C, e 78% a 60 °C.

Araújo (2014) efetuou a desidratação da polpa de jamelão em leite de jorro, encontrando 468,6 mg GAE/100 g. Ela observou que em comparação à polpa, houve uma redução no teor de compostos fenólicos totais, porém o processo promoveu uma boa retenção destes compostos.

Nóbrega *et al.* (2014) avaliaram o teor de compostos fenólicos totais em resíduo de acerola desidratada por convecção em diferentes temperaturas e relataram que a desidratação teve um impacto negativo na retenção destes compostos. Eles justificam isso através da suscetibilidade de degradação térmica e que não necessariamente esses compostos foram perdidos durante o processo, eles podem ter sido convertidos quimicamente, não sendo detectados pelo método escolhido.

Apesar do efeito negativo que o método de desidratação tem, com o uso de elevadas temperaturas, este estudo mostrou que o conteúdo de fenólicos totais em polpa de jamelão desidratada foi superior a outras frutas desidratadas relatadas como: figo, damasco (KAMILOGLU *et al.*, 2014) ou até mesmo em em casca de jamelão (NEVES, 2017).

Para o teor de flavonóides totais, as amostras JE40 (51,95 mg QE/100 g) e JE50 (46,93 mg QE/100 g) também não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). A amostra JE60, novamente, exibiu o menor valor (2,27 mg QE/100 g), sendo outra evidência do efeito degradativo da temperatura utilizada na desidratação.

Segundo Chang, Alasalvar e Shahidi (2016) as principais classes de flavonóides encontradas em frutas desidratadas são antocianinas, flavonóis, dihidrochalconas, flavonas e flavan-3-óis. Foram encontrados teores semelhantes aos deste estudo no trabalho de Ouchemoukh *et al.* (2012), que relatam valores de 59,7 mg QE/100 g em ameixa desidratada, 56,8 mg QE/100 g em damasco desidratado, já com relação a uva-passa o valor foi inferior

(20,8 mg QE/100 g). Vallejo, Marín e Tomás-Barberán (2012) encontraram concentrações ainda maiores de flavonóides em figos, em uma faixa de 107-140 mg/100 g.

Os valores do teor de antocianinas surpreenderam, pois em 2 amostras esse pigmento não exibiu um efeito degradativo referente ao processo. De acordo com a tabela 8 as amostras tiveram diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que a amostra JE50 apresentou o maior valor de compostos antociânicos (887,7 mg 3-cy-glicoside/100 g) e a amostra JE60 o menor valor (106,8 mg 3-cy-glicoside/100 g de amostra). Mais uma vez é possível notar o efeito da temperatura elevada durante o processo de desidratação da polpa de jamelão.

Alguns trabalhos encontraram valores dentro da faixa encontrada neste estudo. Tavares *et al.* (2018) realizaram a desidratação de suco de jamelão pelo processo de desidratação em espuma (*foam mat drying*) nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e obtiveram concentrações antociânicas menores que este estudo (209,5 mg/100 g; 220,7 mg/100 g e 155,1 mg/100 g).

Kapoor, Ranote e Sharma (2015) ao realizarem a desidratação da polpa de jamelão por convecção a 40 °C, encontraram uma concentração em torno de 260 mg/100 g Nóbrega *et al.* (2015) encontraram uma faixa de 189,7 – 290,9 mg/100 g de antocianinas para o resíduo de acerola desidratada por convecção em diferentes condições de temperatura e velocidade de ar de desidratação. Araújo (2014) verificou para a polpa de jamelão seca em leito de jorro a concentração em torno de 492 mg 3-cy-glicoside/100 g.

Mussi (2014) realizou a desidratação de resíduo de jamelão em leito de jorro, com diferentes condições experimentais, e obteve valores bem abaixo dos citados anteriormente. Ela encontrou uma faixa de 18,2 – 26,3 mg/100 g de antocianinas, isto é, uma perda de 60-70% do teor antociânico, concluindo que quanto maior a temperatura do processo maior a degradação.

A atividade antioxidante de frutas é um parâmetro importante, pois correlaciona a presença de substâncias com potencial efeito antioxidante. Estudar o efeito do processamento de frutas como o de desidratação através dos parâmetros do processo tem por objetivo buscar minimizar as perdas dos compostos com potencial antioxidante, aproximando-o ao máximo da fruta fresca. A atividade antioxidante foi avaliada através de três métodos (DPPH, ABTS e FRAP).

Os valores de atividade pelo método de DPPH mostraram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras, sendo a amostra JE40 a que apresentou a maior atividade (189,5 $\mu\text{mol TE/g}$) e a amostra JE60 a que apresentou a menor atividade (105,83

$\mu\text{mol TE/g}$). Os resultados obtidos pelo método ABTS mostraram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras, sendo a amostra JE50 a que apresentou a maior atividade ($970,5 \mu\text{mol TE/g}$) e a amostra JE60 a que apresentou a menor atividade ($181,33 \mu\text{mol TE/g}$). Já para o método FRAP, os resultados das amostras JE50 e JE60 mostraram que não houve diferença significativa ($p < 0,05$). A amostra que apresentou a maior atividade foi a JE40 ($656,8 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$).

Tavares *et al.* (2018) realizaram os testes de DPPH e FRAP em suco de jamelão desidratado através de espuma de desidratação (*foam mat drying*) a 60, 70 e 80 °C e obtiveram valores de atividade bem abaixo dos encontrados neste estudo. Eles relatam que a atividade foi maior pelo método FRAP que o DPPH, sendo os maiores valores pertencentes ao pó obtido a 80 °C ($58,9 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$; $13,79 \mu\text{mol TE/g}$).

Wojdyło *et al.* (2016) mediram a atividade antioxidante (ABTS e FRAP) de 3 cultivares de jujuba desidratada por convecção (50, 60 e 70 °C) e verificaram que o aumento da temperatura provocou a redução da atividade. Eles reportam que processos de desidratação em geral, com o uso de elevadas temperaturas e longos tempos de exposição podem degradar alguns compostos fenólicos, incidindo na perda de atividade antioxidante. Com isso, as amostras produzidas a baixas temperaturas tiveram melhores resultados. A maior atividade em ABTS encontrada foi para o cultivar PSI (41 mmol TE/g), já em FRAP foi para o cultivar MSI ($31,7 \text{ mmol TE/g}$), ambas produzidas a 50 °C.

Neves (2017) otimizando a obtenção do extrato através da atividade antioxidante da farinha de casca de jamelão observou que o ensaio que apresentou as melhores respostas segundo o teste estatístico tinha $9,96 \mu\text{g/mL}$ para o método de DPPH (EC 50%); $921 \mu\text{mol TE/g}$ para o método ABTS e $7042 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ para o método FRAP.

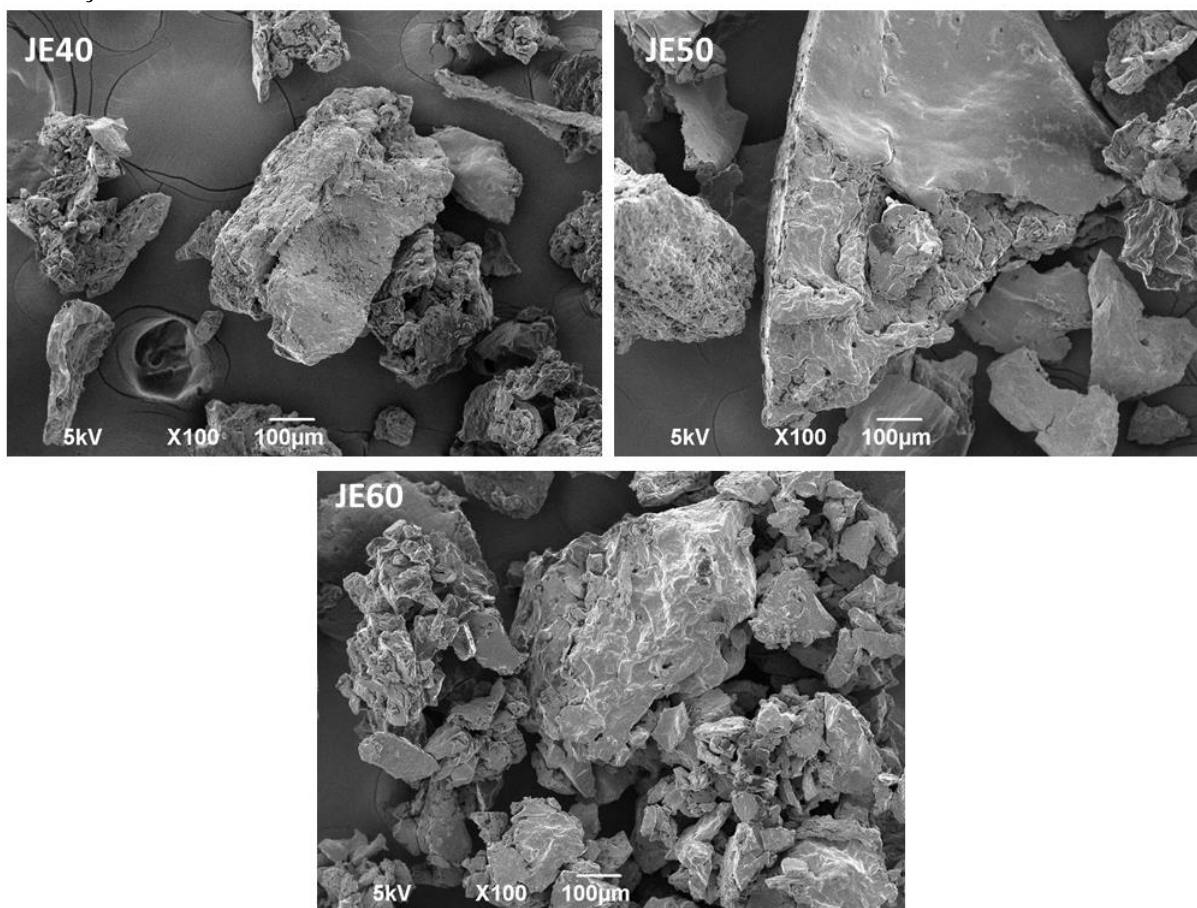
Nóbrega *et al.* (2015) avaliaram a atividade antioxidante do resíduo de acerola desidratado por convecção em diferentes condições de temperatura e velocidade de ar pelo método de DPPH e encontraram uma faixa de $21,7 - 24,1 \mu\text{mol TE/g}$, valores bem abaixo do encontrado neste estudo.

Kamiloglu *et al.* (2014) ao determinar a atividade antioxidante de algumas frutas desidratadas através dos métodos de DPPH, ABTS e FRAP, observando os seguintes valores: para figo $44 \text{ mg TE}/100 \text{ g}$ (DPPH) $163 \text{ mg TE}/100\text{g}$ (ABTS) e $46 \text{ mg}/100 \text{ g}$ (FRAP); para uva-passa $1204 \text{ mg TE}/100 \text{ g}$ (DPPH) $2262 \text{ mg TE}/100\text{g}$ (ABTS) e $646 \text{ mg}/100 \text{ g}$ (FRAP) e para o damasco $82 \text{ mg TE}/100 \text{ g}$ (DPPH) $238 \text{ mg TE}/100\text{g}$ (ABTS) e $108 \text{ mg}/100 \text{ g}$ (FRAP).

De acordo com o nível com o qual os alimentos desidratados absorvem água do ambiente em determinadas condições, eles são classificados como: não higroscópico ($< 10\%$); levemente higroscópico ($10,1 - 15\%$); higroscópico ($15,1 - 20\%$); muito higroscópico ($20,1 - 25\%$) e extremamente higroscópico ($> 25\%$) (GEA NIRO RESEARCH LABORATORY, 2003). De acordo com os resultados obtidos para a higroscopicidade dos pós de jamelão desidratados em estufa, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as três amostras, sendo a amostra JE40 a que apresentou o menor valor. Onde em 40 e 60 °C o pó foi levemente higroscópico e em 50 °C o pó foi higroscópico.

5.3.1 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Figura 8 – Microestrutura das amostras desidratadas a 40, 50 e 60 °C em estufa com circulação e renovação de ar.



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser visto através das imagens, a temperatura de 50 °C causou uma maior formação de poros, já a temperatura de 40 °C levou a uma formação de pequenas partículas desuniformes com uma superfície mais sólida, isto é, uma formação de uma superfície menos porosa, podendo ser visto também nas partículas formadas a 60 °C.

Em tecidos de frutas frescas, a maioria das células é semelhante com relação ao tamanho e formato. Isso está relacionado ao equilíbrio das forças de pressão de turgência do fluido celular e à tensão da parede celular. Devido ao processo de desidratação, há a ocorrência da deformação dos tecidos pela remoção da água presente no fluido celular, com a perda de turgescência. Esta perda pode ser explanada através de duas etapas. A primeira ocorre devido a redução da pressão de turgescência, com isso, a parede celular tem suas dimensões diminuídas, podendo haver contrações da parede com queda na área, diâmetro e perímetro das células individuais. Já a segunda ocorre quando a pressão atinge um mínimo. Nesta etapa a tensão da parede é muito pequena, sofrendo um maior nível de deformidade e enrugamento para armazenar volumes menores de fluidos celulares. Devido a essas contrações, durante a desidratação tende a aumentar o número de espaços vazios e com a rigidez da parede celular, as células parecem sofrer destruição mínima durante o processo (KARUNASENA et al. 2014).

Segundo Dong *et al.* (2017) o estudo da microestrutura é essencial para o entendimento do comportamento celular e, assim, melhorar o desempenho dos processos de desidratação de alimentos, pois ela influencia as propriedades macrosscópicas e a qualidade dos produtos desidratados. Em estudo com diferentes métodos de desidratação com pimentas vermelhas, eles observaram que as pimentas vermelhas desidratadas pelo método convectivo através de ar quente a 70 °C são menos porosas e exibem alguns pequenos poros na seção transversal.

Aral e Beşe (2016) desidrataram espinheiro a 50 e 70 °C e observaram um resultado oposto ao encontrado neste estudo. Eles explicam que uma maior temperatura causou a formação de partículas mais porosas, pois devido a alta taxa de evaporação de água, há um aumento no estresse interno das células com a ocorrência de altas pressões de vapor, formando mais poros. Já a temperaturas menores, a taxa de evaporação é menor, proporcionando um processo mais lento, com um pequeno gradiente de umidade entre a superfície e o centro da fruta, causando um menor estresse interno. E, ainda, um maior tempo de exposição da fruta ao calor pode causar o colapso ou a fusão das paredes celulares.

Araújo (2014) relata que o jamelão desidratado em leito de jorro apresentou um formato disforme com partículas menores que o liofilizado. Ela associa essas pequenas partículas devido a colisão entre as partículas inertes, fragmentando o pó, como também a adição de goma arábica influenciar nesta redução.

5.4 Caracterização físico-química e química do pó desidratado da polpa de jamelão pela liofilização

A tabela 9 apresenta os resultados obtidos de diversas análises físico-químicas e químicas realizadas com a polpa de jamelão liofilizada.

Tabela 9 - Caracterização físico-química e química do pó desidratado da polpa de jamelão pela liofilização.

Características	Valor
Aw (-)	0,1395 ± 0,004
Umidade (%)	6,7 ± 0,33
pH (-)	3,79 ± 0,03
Acidez (%)	74,67 ± 0,34
L*	20,47 ± 1,73
a*	24,53 ± 0,77
b*	-7,27 ± 0,25
C*	25,1 ± 0,1
°Hue	343,59 ± 0,49
Fenólicos Totais (mg GA/100g)	977,4 ± 13,1
Flavonóides Totais (mg QE/100 g)	443,1 ± 2,4
Antocianinas (mg 3-cy-glicoside/100 g de amostra)	1116,4 ± 33,1
DPPH (µmol TE/g)	395,25 ± 10,74
ABTS (µmol TE/g)	3331,5 ± 63,99
FRAP (µmol Fe²⁺/g)	5311,11 ± 22,97
Higroscopicidade (%)	23,73 ± 0,14

A atividade de água, de acordo com o resultado obtido, está muito abaixo da faixa considerada limite para o desenvolvimento microbiano, mostrando que o produto está seguro sob este ponto de vista. Vale ressaltar que a liofilização não envolve a aplicação de elevadas temperaturas, ou seja, a aplicação das boas práticas antes, durante e após o processo é imprescindível para evitar a contaminação do produto final.

Bezerra (2015) encontrou na polpa de jamelão liofilizada uma atividade de água de 0,45. Valor bem superior ao deste estudo, porém abaixo da faixa limite de 0,6. Mussi (2014) estudando a cinética de desidratação da polpa de jamelão em leito de jorro, encontrou uma faixa de atividade de água de 0,123 a 0,37. Araújo (2014) caracterizando a polpa de jamelão liofilizada, encontrou uma atividade de água de 0,256. Caparino *et al.* (2012) encontraram um valor de atividade de água de 0,174 em manga liofilizada.

O valor de umidade obtido foi abaixo de 10%, isto é, o produto perdeu uma grande quantidade de água, o que pode facilitar o seu armazenamento e transporte, pois em consequência disto houve a redução do seu peso. Araújo (2014) encontrou 3,54% de teor de umidade para a polpa de jamelão liofilizada, sendo um valor abaixo do encontrado. Bezerra (2015) relata uma redução de 27 vezes no teor de umidade da polpa de jamelão liofilizada. Mussi (2014) encontrou uma faixa de umidade de 3,9 a 8,7% durante a desidratação da polpa de jamelão em leito de jorro, em diferentes condições.

O pH apresentou um valor característico de um alimento muito ácido ($\text{pH} < 4,0$) e a acidez 74,67%. Este valor elevado de acidez pode ter ocorrido devido à concentração de compostos de caráter ácido no produto com a perda de água. Resultado próximo ao encontrado por Bezerra (2015) para a polpa de jamelão liofilizada e inferior ao resultado encontrado por Migliato *et al.* (2007) em frutos de jamelão desidratados por convecção a 45 °C.

Com relação à cor a luminosidade foi baixa, mostrando que o produto tem uma característica escura. Isso é devido a sua coloração, que pela grande presença de antocianinas nas cascas e na parte comestível torna o produto ainda mais escuro, outra observação é a perda de água, aumentando ainda mais essa perda de brilho e consequentemente a luminosidade. A coordenada a^* apresentou valor positivo, tendendo a uma tonalidade vermelha e a coordenada b^* um valor negativo, tendendo a uma tonalidade voltada ao azul. Isso é também esperado já que pela grande concentração de compostos antociânicos. O valor de cromaticidade (C^*) obtido indicou que o produto tem uma saturação regular. Quanto maior for esse valor, maior será o grau de saturação ou pureza da cor. O ângulo hue ($^{\circ}\text{Hue}$) está voltado à tonalidade vermelha, pois está próximo de 360°.

A cor dos alimentos desidratados é um importante fator de impacto na atração sensorial, sendo um parâmetro de qualidade para produtos com cores peculiares e chamativas, com poder corante (YAMASHITA *et al.*, 2017). Com isso, tornar alimentos processados comercializáveis é um desafio para ciência e indústria de alimentos, pois a cor desses produtos deve permanecer intacta durante toda a sua vida de prateleira.

Os valores encontrados em alguns estudos são próximos aos deste, porém com algumas diferenças em três parâmetros (L^* , c^* e $^{\circ}\text{Hue}$). Por exemplo, Bezerra (2015) encontrou na polpa de jamelão liofilizada valores de luminosidade de 28,15; croma de 38,52 e ângulo hue de 359,53. Já Araújo (2014) encontrou na polpa de jamelão liofilizada uma

luminosidade em torno de 21, um croma de 18,31 e um ângulo hue de 359,7. Para as coordenadas a* e b* encontrou, respectivamente, 17,51 e -5,34.

Os resultados para compostos fenólicos e flavonóides totais demonstraram que o produto possui uma boa concentração dos mesmos. Isso mostra que não há uma relação degradativa destas substâncias no processo.

Alguns estudos mostraram um teor de fenólicos e flavonóides próximos aos deste estudo. Singh *et al.* (2016) encontraram na polpa de jamelão liofilizada para fenólicos a concentração de 11,74 mg GAE/g e um teor de flavonóides de 5,73 mg QE/g.

Nunes *et al.* (2016) relatam que o processo de liofilização de goiaba não incidiu em perda significativa de flavonoides e que as principais perdas de compostos fenólicos, no processo de liofilização, ocorrem via enzimática.

Valores muito acima foram encontrados em outros frutos com no trabalho de Kang *et al.* (2012), que estudaram as seguintes espécies de açaí liofilizadas, *Euterpe precatoria* (EP) e *Euterpe oleracea* (EO), obtiveram respectivamente as seguintes concentrações de fenólicos, 73 mg GAE/g e 31,2 mg GAE/g.

A concentração de antocianinas obtida foi considerada boa. E, assim como os compostos fenólicos e flavonóides, o processo de liofilização proporcionou uma boa retenção, tornando o produto uma boa fonte dessas substâncias nutracêuticas consideradas antioxidantes.

Yamashita *et al.* (2017) promoveram a desidratação do extrato antociânico de amora através da liofilização, com o uso de maltodextrina 10 e 20 DE, e observaram uma retenção de 297,86 mg cyd 3-glu/100 g e 265,73 mg cyd 3-glu/100 g, respectivamente. Eles reportam que esta técnica de adição de um agente carreador na liofilização de extratos é uma alternativa para manter a estabilidade das antocianinas durante o processo, com a obtenção de um pó com elevada concentração deste composto.

Foram realizados três testes de atividade antioxidante: DPPH, ABTS e FRAP. Eles apresentaram bons resultados, indicando o potencial antioxidante que este fruto tem, mesmo desidratado. Aponta também uma característica não degenerativa que o processo tem em reter os compostos antioxidantes, responsáveis por estes resultados.

A higroscopicidade de alimentos desidratados é um parâmetro importante, pois determina as condições necessárias de armazenamento que o produto deve ter, influenciando, principalmente, na escolha da melhor embalagem. E ela é definida como a quantidade de água

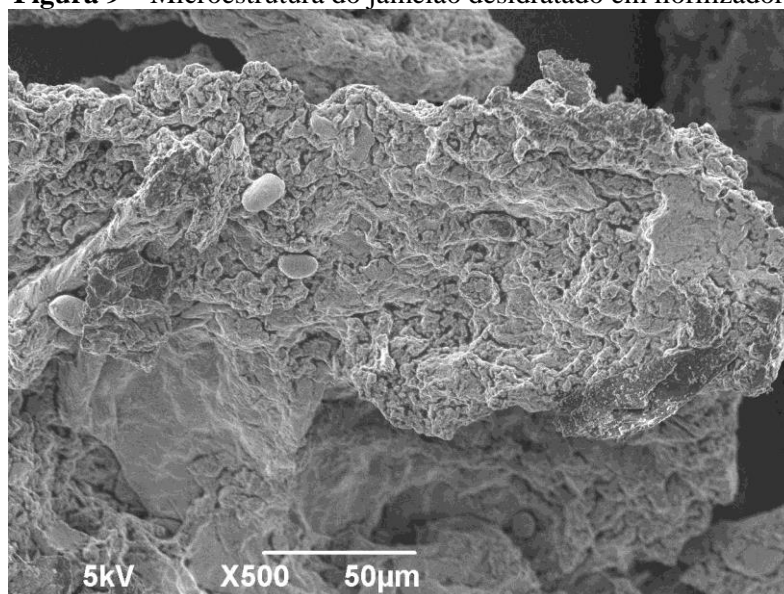
que é absorvida pelo alimento, quando o mesmo é submetido a um condição determinada de umidade (CAPARINO et al., 2012).

Araújo (2014) relata que observou uma polpa de jamelão liofilizada de baixa higroscopicidade, encontrando um valor de 9,83%; sendo um valor muito menor ao encontrado neste estudo.

Segundo a classificação da Gea Niro Research Laboratory (2003) a polpa de jamelão liofilizada deste estudo se enquadra como sendo muito higroscópico. Isto pode estar atrelado à morfologia das partículas, que podem apresentar uma grande quantidade de espaços vazios (poros). O processo é um grande influenciador, pois antes da liofilização, o fruto passa pelo congelamento, que a depender do seu tipo (lento e rápido) pode danificar as células. O líquido presente em todo o fruto, no processo de liofilização, é sublimado, o que significa dizer que as células danificadas formarão os espaços vazios, facilitando a interação com a água. Outro ponto seria a concentração de sólidos presentes, principalmente os carboidratos (açúcares), pois eles são podem se apresentar no estado amorfo e elevada higroscopicidade (ROOS, 1995).

5.4. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Figura 9 – Microestrutura do jamelão desidratado em liofilizador.



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser visto na figura 8, houve uma grande formação de poros na partícula, indicando os danos que o processo de liofilização pode causar e uma superfície bastante irregular. Araújo (2014) também relata que as partículas da polpa de jamelão liofilizada possuem uma elevada quantidade de poros, quando comparada com a polpa de jamelão desidratada em leite de jorro.

Lucas, Zambiasi e Costa (2018) realizaram o estudo com polpa de açaí desidratada em liofilizador e observaram que a morfologia das partículas apresentaram superfície irregular e estrutura porosa.

Caparino *et al.* (2012) reportaram que as partículas formadas durante a desidratação da manga por liofilização tinha uma forma de esqueleto era bem mais porosa que as partículas formadas pelos outros métodos de desidratação. Eles justificam pelo fato dos cristais de gelo não permitem que a estrutura da fruta entre em colapso e encolha.

Porém, Nemzer *et al.* (2018) estudando a morfologia de cranberries liofilizadas, relatam que as amostras parecem ter mantido sua estrutura celular intacta, no qual a micrografia mostra as estruturas das paredes celulares bem definidas. O que deve ser observado aqui é que diferente deste e dos outros estudos, nos quais trabalhou-se com a polpa, isto é, houve um processamento mecânico para retirada da polpa, o estudo de Nemzer *et al.* (2018) mostra um estudo feito com as frutas inteiras e isso pode ter contribuído para a permanência da estrutura celular.

A estrutura porosa de alimentos liofilizados facilita a reidratação rápida e completa do alimento, porém torna o produto frágil e higroscópico, exigindo proteção por embalagem contra absorção de umidade e danos mecânicos. Ela também pode permitir a deterioração oxidativa de lipídios, vitaminas e pigmentos, podendo causar uma perda de qualidade. Como sugestão, o alimento é embalado em caixas de papelão para proteção mecânica e em filmes de barreira de oxigênio e umidade e pode estar rodeado por um gás inerte. Isso aumenta o custo do produto com relação a outros produtos desidratados (FELLOWS, 2009). Terroni *et al.* (2013) relatam que a porosidade produzida, faz com que o produto se torne altamente higroscópico.

5.5 Otimização do processo de *spray drying*

5.5.1 Rendimento da produção de suco

Tabela 10 – Rendimento da produção de suco de jamelão.

Massa de Polpa (g)	Massa de Suco (g)	Rendimento (%)
2650,00	1814,00	68,45

O processo de obtenção do suco integral de jamelão também apresentou resultado favorável, demonstrando mais uma vez que esta fruta possui boas características e rentabilidade favorável ao processo de fabricação de diversos produtos alimentícios.

5.5.2 Rendimento da produção de suco em pó atomizado

É possível observar de acordo com os dados experimentais obtidos que o Ensaio 7 teve o maior rendimento, seguido do Ensaio 4 e dos três pontos centrais (Ensaio 9, 10 e 11). Os valores de rendimentos podem estar diretamente relacionados à concentração de maltodextrina utilizada no design experimental.

Tabela 11 – Rendimento do processo de produção de pó desidratado do suco de jamelão de acordo com os parâmetros usados no design experimental.

Ensaio	Concentração de Maltodextrina (%)	Temperatura de entrada (°C)	Rendimento (%)
1	17,5	140	17,8
2	22,5	140	23,2
3	17,5	160	20,8
4	22,5	160	27,5
5	15	150	17,5
6	25	150	23,6
7	20	130	28,5
8	20	170	22,7
9	20	150	25,2
10	20	150	25,4
11	20	150	25,3

A temperatura de entrada pode também exercer influência sobre o rendimento do processo, pois devido à câmara permanecer a uma temperatura próxima à temperatura de entrada. O pó aderido à superfície da câmara pode sofrer o processo de caramelização, dificultando assim a sua remoção. Como também observado, para que a temperatura exerça tal influência, é necessário a determinação do tempo de processo, já que a reação de caramelização depende do tempo e da temperatura, no qual o tempo de processo é totalmente dependente da quantidade de amostra e da vazão de alimentação.

5.5.3 Performance da desidratação por *spray drying*

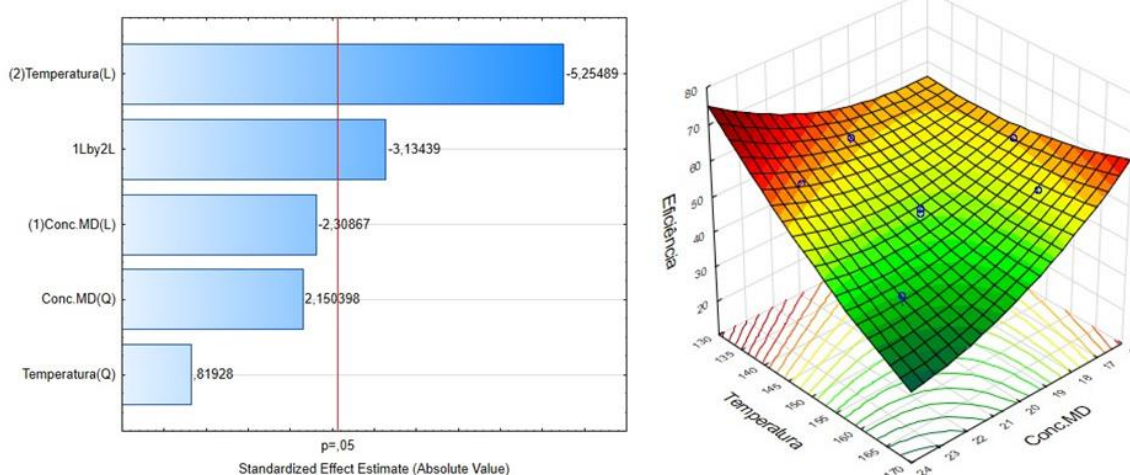
A eficiência da desidratação é apresentada em função das temperaturas de entrada, saída e ambiente ao qual o processo ocorre. De acordo com o diagrama de Pareto gerado, houve influência linear significativa ($p < 0,05$) da temperatura de entrada, como também, da interação linear entre ambas as variáveis independentes sobre o processo, indicando que o aumento da temperatura provocaria a redução da eficiência e a relação entre ambas também causa esta redução, isto é, aumento da temperatura de entrada e concentração de maltodextrina reduziram a eficiência. O aumento na concentração da maltodextrina pode ter

reduzido a taxa de transferência de calor e por consequência ter diminuído a eficiência do processo.

A maior eficiência foi obtida através da menor temperatura de entrada. A menor eficiência de desidratação de 38,9 foi observada no ensaio 8 e a maior de 56,9 no ensaio 7.

De acordo com Cortés-Rojas et al. (2015) isso pode ser explicado pelo fato de que quando elevadas temperaturas de desidratação são empregadas a taxa de transferência é mais rápida devido a uma maior capacidade de evaporação do ar, no entanto as perdas de calor para o ambiente acabam aumentando. Eles encontraram também uma correlação inversa entre temperatura e eficiência, onde a menor eficiência (31,0) foi encontrada a uma temperatura de 160 °C e a maior eficiência em 100 °C (51,8).

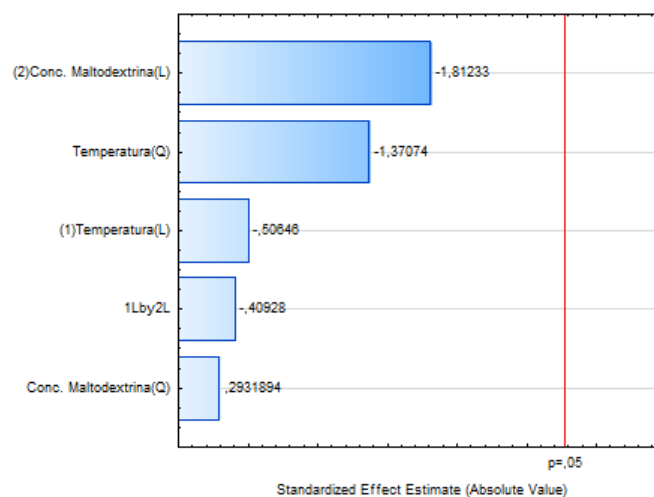
Figura 10 – Diagrama de Pareto para a eficiência da desidratação.



Fonte: Próprio autor.

Com relação à recuperação do produto é possível perceber, através do diagrama de Pareto (figura 9) que não houve influência significativa ($p < 0,05$) da temperatura de entrada e nem da concentração de maltodextrina. A amostra que apresentou a menor recuperação foi o ensaio 6 (56,4%); enquanto a maior recuperação foi verificada no ensaio 11 (83,6%).

Uma soma de fatores inerentes ao processo contribuem para isso, dentre eles a temperatura de entrada, a vazão de alimentação do suco, o fluxo de ar de desidratação. A temperatura, um dos parâmetros da otimização, influencia em algumas propriedades físicas e químicas que podem ter efeitos negativos na recuperação do produto. Tais efeitos como a aglomeração do produto dentro da câmara de desidratação causada pela interação entre as partículas, teor de umidade, teor de sólidos do suco, reação de escurecimento não-enzimático de caramelização, que pode deixar a câmara impregnada e tornar a remoção do produto mais difícil, refletindo em perdas.

Figura 11 – Diagrama de Pareto para a recuperação do produto.

Fonte: Próprio autor.

5.5.4 Umidade e atividade de água

Atividade de água é o termo utilizado para indicar a intensidade com a qual a água está associada aos constituintes não aquosos (solutos) da matriz alimentícia. A partir deste parâmetro é possível determinar se a matriz possui uma quantidade de água de baixa mobilidade (“ligada”), ou água livre. Quanto maior for a quantidade de moléculas de água livres na matriz, mais o alimento estará suscetível à reações de degradação química, bioquímica e microbiológica,

O conteúdo de água (umidade) e a atividade de água dos ensaios de suco de jamelão atomizados tiveram uma faixa de 1,16% a 5,76% e de 0,0784 a 0,3352 respectivamente, sendo estes valores favoráveis a manter as características físicas, químicas e a estabilidade microbiológica do produto desidratado.

De acordo com os resultados obtidos os valores encontrados tiveram um comportamento mais ou menos linear, isto é, a medida que há o aumento de temperatura ocorre também uma pequena redução tanto no conteúdo de água como na atividade de água. Esse comportamento é mostrado claramente na figura 11. Algumas anormalidades foram observadas, os ensaios produzidos a 150 °C tiveram diferentes valores de umidade e atividade de água, contradizendo a linearidade de que com o aumento da temperatura há redução destes dois parâmetros. Por exemplo, ensaios com temperaturas menores tiveram valores menores. Isso pode ser devido à influência da concentração de maltodextrina utilizada nos diferentes ensaios, como também a temperatura de saída, que é um parâmetro importante do processo, pois interfere na perda de massa de água do produto desidratado. Outro parâmetro a ser considerado é a higroscopicidade do produto desidratado.

Segundo Islam et al.(2016), o conteúdo de umidade do pó tem um grande impacto na fluidez, viscosidade e estabilidade no armazenamento devido as suas características plásticas e comportamento de cristalização. A disponibilidade de água livre em uma matriz alimentar é expressa como atividade de água, a qual é responsável pelas reações microbiológicas e bioquímicas. Em seu trabalho “*Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder*” todas as amostras de pó tiveram valores de atividade de água entre 0,15 e 0,25 e os valores de conteúdo de umidade entre 2,29 e 3,35%.

Santhalakshmy *et al.*, 2015 em “*Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder*”, obtiveram uma faixa de valores de atividade de água de 0,18 e 0,25; enquanto que a umidade das amostras estavam numa faixa entre 3,22 e 4,18%.

Durante o processo de atomização, *spray drying*, a desidratação da gotícula acontece em 2 etapas. A primeira é caracterizada pela vaporização da umidade livre na superfície da gotícula. A segunda etapa tem uma redução na taxa de desidratação como resultado da formação de uma crosta na superfície da gota e da concentração de água não ligada na região interna da gotícula (AKKAYA et al., 2012). Especialmente em produtos com elevados teores de açúcares, a evaporação da água é controlada pela difusividade na crosta (ROUSTAPOUR; HOSSEINALIPOUR; GHOBADIAN, 2006).

O conteúdo de umidade dos pós produzidos através de atomização são geralmente inferiores a 5%, sendo microbiologicamente seguros e podem ser armazenados por longos períodos. Além disso, esses pós atomizados com baixas umidades limitam a habilidade da ação plastificante da água, portanto, afeta a aglomeração do pó durante o armazenamento (SANTANA et al., 2017).

Diversos artigos reportam que há uma relação da redução da atividade de água com o aumento da concentração de maltodextrina (BAKAR; MUHAMMAD; HASHIM; ADZAHAN, 2013; OBEROI; SOGI, 2015; QUEK *et al.*, 2007). Entretanto, o aumento da concentração de maltodextrina não causa uma mudança na atividade de água de outros produtos como sapoti em pó (CHONG; WONG, 2015) e Gac em pó (KHA et al., 2010).

Pode influenciar, também, a desxtrose equivalente da maltodextrina. Tonon, Freitas e Hubinger (2011) reportaram que os pós produzidos com maltodextrina 10 DE mostraram maiores valores de atividade de água que os produzidos com 20 DE e goma arábica. Isso

mostra que o equivalente dextrose da maltodextrina pode ser a razão para essa variação entre os diferentes estudos.

Figura 12 – Conteúdo de água (a) e atividade de água (b) em função da temperatura do ar de entrada.

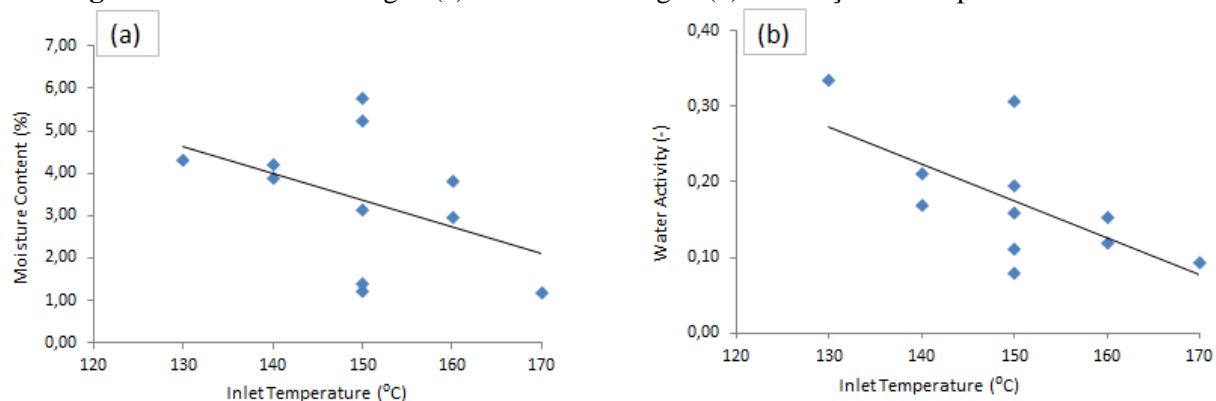


Tabela 12 – Teor de umidade dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

Ensaio	MD Concentration (%)	Inlet Temperature (°C)	Moisture Content (%)
Ensaio 1	17,5	140	4,18 ± 0,12 ^{af}
Ensaio 2	22,5	140	3,89 ± 0,08 ^{ab}
Ensaio 3	17,5	160	3,79 ± 0,07 ^b
Ensaio 4	22,5	160	2,96 ± 0,01 ^c
Ensaio 5	15	150	5,24 ± 0,06 ^d
Ensaio 6	25	150	5,76 ± 0,05 ^e
Ensaio 7	20	130	4,31 ± 0,7 ^f
Ensaio 8	20	170	1,16 ± 0,05 ^g
Ensaio 9	20	150	1,37 ± 0,1 ^g
Ensaio 10	20	150	1,20 ± 0,08 ^g
Ensaio 11	20	150	3,14 ± 0,04 ^c

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

O Ensaio 8 apresentou o menor teor de umidade, porém muito próximo aos dos ensaios 9 e 10, não sendo significativo. Todos os ensaios resultaram em baixos níveis de umidade, fazendo com que o produto seja mantido intacto se mantido em condições ideais de armazenamento.

Outro parâmetro ainda mais importante na conservação do produto contra os efeitos físicos, químicos e microbiológicos é a atividade de água. Desta vez, o Ensaio 10 apresentou o menor valor, seguido dos ensaios 8 e 9. O ensaio 8 não mostrou diferença significativa, já o 9 apresentou. Todavia, todos os ensaios apresentaram valores muito inferiores, isto é, valores

abaixo de 0,6. Portanto, qualquer uma das condições impostas à otimização do processo dará ao produto a segurança de uma baixa atividade de água, garantindo assim a sua qualidade. A tabela 13 abaixo mostra os resultados obtidos na avaliação da atividade de água após cada final de produção.

Tabela 13 – Atividade de água dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

Ensaio	MD Concentration (%)	Inlet Temperature (°C)	Water Activity (-)
Ensaio 1	17,5	140	0,1686 ± 0,0024 ^a
Ensaio 2	22,5	140	0,2108 ± 0,0072 ^b
Ensaio 3	17,5	160	0,1188 ± 0,0057 ^c
Ensaio 4	22,5	160	0,1532 ± 0,0064 ^a
Ensaio 5	15	150	0,1596 ± 0,0032 ^a
Ensaio 6	25	150	0,3068 ± 0,0003 ^d
Ensaio 7	20	130	0,3352 ± 0,0001 ^e
Ensaio 8	20	170	0,0933 ± 0,002 ^f
Ensaio 9	20	150	0,1105 ± 0,0016 ^c
Ensaio 10	20	150	0,0784 ± 0,0005 ^f
Ensaio 11	20	150	0,1944 ± 0,002 ^g

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de

Tukey, ao nível de 5% de significância.

5.5.5 Potencial hidrogeniônico (pH) e acidez

Os valores de pH obtidos foram bem próximos, em uma faixa de 3,63 a 3,81. São valores característicos de alimentos muito ácidos. O potencial hidrogeniônico de um alimento

Tabela 14 – Valores de pH dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

Ensaio	MD Concentration (%)	Inlet Temperature (°C)	pH
Ensaio 1	17,5	140	3,73 ± 0,006 ^{ad}
Ensaio 2	22,5	140	3,78 ± 0,022 ^{ab}
Ensaio 3	17,5	160	3,73 ± 0,022 ^{ad}
Ensaio 4	22,5	160	3,77 ± 0,003 ^{ab}
Ensaio 5	15	150	3,65 ± 0,012 ^c
Ensaio 6	25	150	3,74 ± 0,009 ^{ad}
Ensaio 7	20	130	3,74 ± 0,009 ^{ad}
Ensaio 8	20	170	3,73 ± 0,035 ^{ad}
Ensaio 9	20	150	3,63 ± 0,003 ^c
Ensaio 10	20	150	3,68 ± 0,012 ^{dc}
Ensaio 11	20	150	3,81 ± 0,012 ^b

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

é um fator intrínseco de grande importância em conservação de alimentos, principalmente, no que diz respeito às alterações microbiológicas. Nesta faixa de pH é possível que fungos e/ou leveduras consigam se desenvolver e alterem de forma negativa as características organolépticas, se o mesmo estiver em seu estado líquido. Com isso, a desidratação é uma alternativa para aumentar a vida de prateleira do mesmo, inibindo ou retardando o desenvolvimento destes microrganismos.

Em concomitância ao potencial hidrogeniônico (pH), está a acidez do produto. Esta é medida através de uma análise volumétrica de titulação, na qual será mensurado o valor de acidez, que segundo o livro de análises Adolfo Lutz, (2008) a acidez total titulável é o somatório da concentração de todos os ácidos presentes na amostra, de acordo com o ácido predominante no alimento que está sendo analisado, neste caso o ácido cítrico.

Tabela 15 – Valores de acidez dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

Ensaio	MD Concentration (%)	Inlet Temperature (°C)	Valor (g /100g de ác.cítrico)
Ensaio 1	17,5	140	8,02 ± 0,043 ^a
Ensaio 2	22,5	140	7,22 ± 0,057 ^{bc}
Ensaio 3	17,5	160	7,52 ± 0,19 ^b
Ensaio 4	22,5	160	7,33 ± 0,036 ^b
Ensaio 5	15	150	7,46 ± 0,099 ^b
Ensaio 6	25	150	6,95 ± 0,023 ^c
Ensaio 7	20	130	7,17 ± 0,064 ^{bc}
Ensaio 8	20	170	8,50 ± 0,092 ^d
Ensaio 9	20	150	8,62 ± 0,042 ^d
Ensaio 10	20	150	8,71 ± 0,043 ^d
Ensaio 11	20	150	8,12 ± 0,055 ^a

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

A acidez dos sucos de jamelão atomizados tiveram uma faixa de 6,95 a 8,71 g/100 g de ác. cítrico. O ensaio com maior acidez foi o ensaio 10, seguido dos ensaios 9 e 8.

Santhalakshmy et al. (2015) estudaram o efeito da temperatura de entrada nas propriedades físico-químicas do suco de jamelão em pó atomizado e esperavam que a acidez total encontrada fosse maior no pó produzido em baixas temperaturas. O que aconteceu foi o inverso, com o aumento da temperatura de entrada do *spray dryer*, houve uma redução na acidez dos pós. Segundo os autores deste artigo, a amostra de pó produzida a 140° C apresentou a maior acidez (0,65%), enquanto a amostra produzida a 160° C apresentou o

menor valor de acidez (0,32%). Nesta presente pesquisa os valores de acidez encontrados foram bem maiores. Isso pode estar atrelado ao modo em que, supostamente, a análise foi feita. Outra observação a ser considerada, é a concentração de maltodextrina utilizada, que no artigo não se encontra tão bem esclarecida.

5.5.6 Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis é um parâmetro utilizado para mensurar, através de um refratômetro a quantidade de açúcares presentes no alimento. É também muito utilizado para determinar o estágio de maturação de frutas. Neste caso será avaliada a influência da concentração de maltodextrina nos diferentes ensaios de otimização da produção de suco atomizado em *spray dryer*.

Tabela 16 – Teor de sólidos solúveis (°Brix) dos diferentes ensaios de otimização da produção de suco de jamelão atomizado.

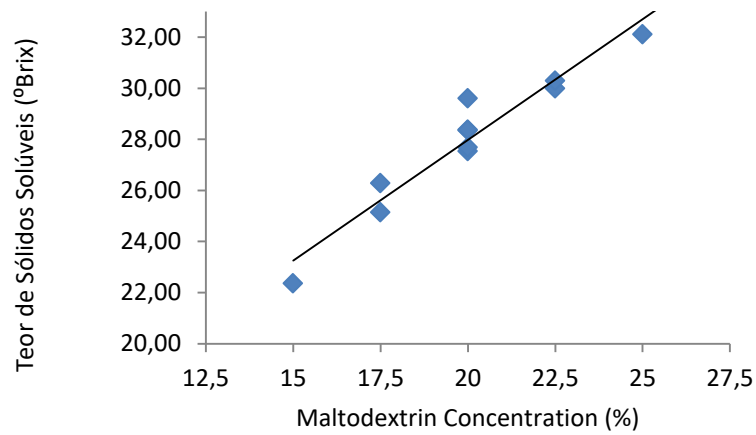
Ensaio	Inlet Temperature (°C)	Maltodextrin Concentration (%)	TSS (°Brix)
Ensaio 1	17,5	140	26,28 ^a
Ensaio 2	22,5	140	29,99 ^{bf}
Ensaio 3	17,5	160	25,14 ^c
Ensaio 4	22,5	160	30,29 ^b
Ensaio 5	15	150	22,36 ^c
Ensaio 6	25	150	32,11 ^d
Ensaio 7	20	130	28,37 ^e
Ensaio 8	20	170	28,34 ^{eh}
Ensaio 9	20	150	29,60 ^f
Ensaio 10	20	150	27,53 ^{gh}
Ensaio 11	20	150	27,69 ^h

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

O teor de sólidos solúveis teve uma faixa de 22,36° Brix a 32,11° Brix. Este parâmetro é um indicativo de qualidade sensorial para o quesito doçura e conseqüentemente pode exercer influência sobre o sabor.

A Figura 12 mostra o comportamento do teor de sólidos solúveis em função da concentração de maltodextrina utilizada. E como pode ser observado há uma linearidade gráfica já esperada, pois a maltodextrina é um carboidrato que em meio aquoso irá se solubilizar aumentando então o teor de sólidos solúveis do meio. Portanto, quanto maior a quantidade utilizada, maior será a medida, como pode ser observado.

Figura 13 – Teor de sólidos solúveis em função da concentração de maltodextrina.

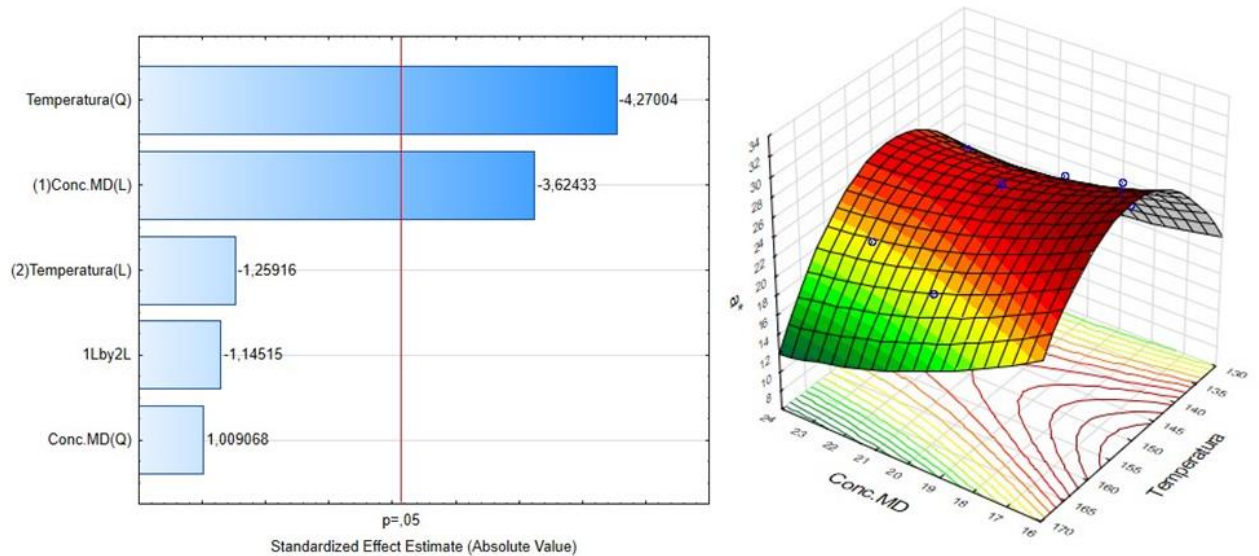


Fonte: Próprio autor.

5.5.7 Cor

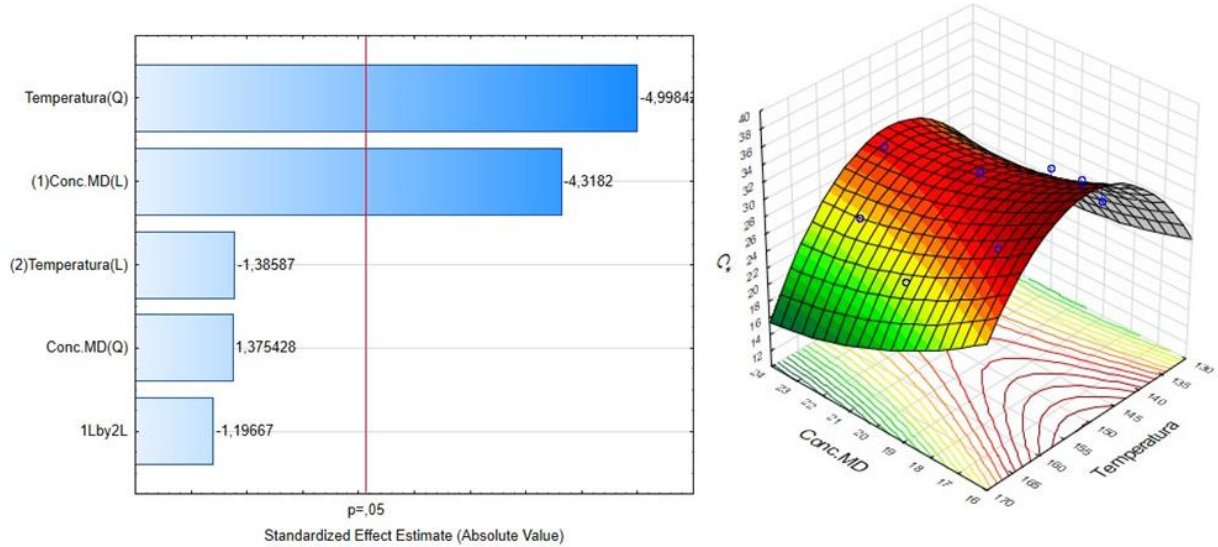
As figuras 14, 15 e 16 abaixo mostram, através do diagrama de Pareto e superfície de resposta, a influência da temperatura e da concentração de maltodextrina no suco desidratado.

Figura 14 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta sobre a coordenada a*.



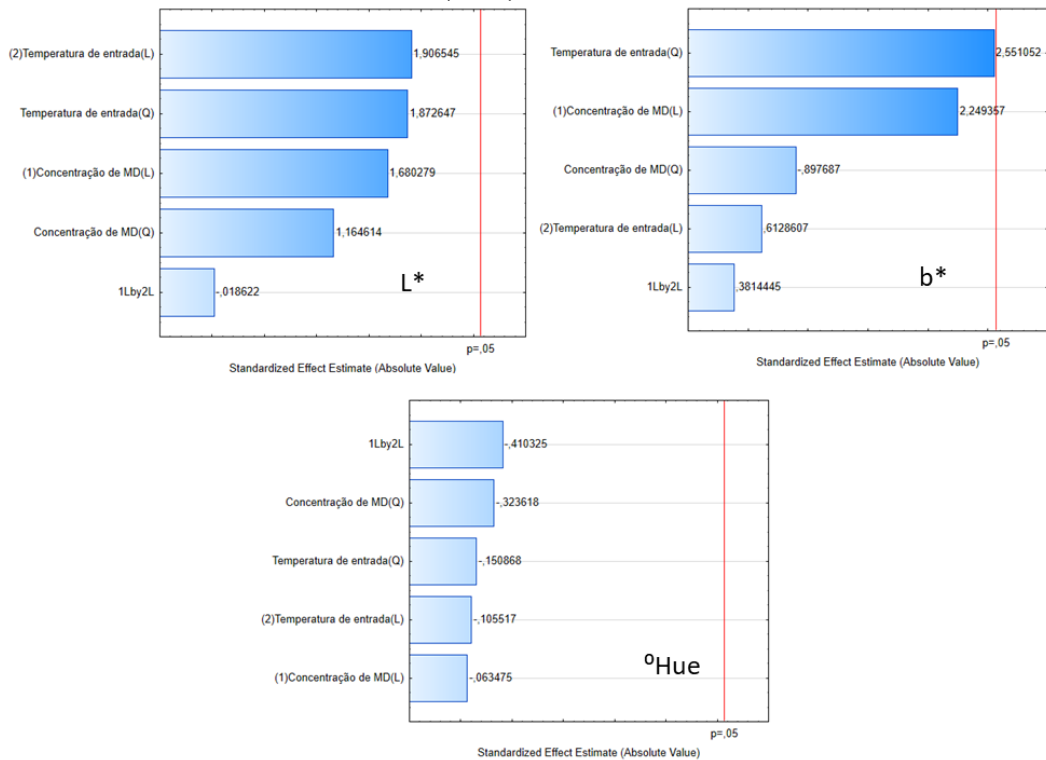
Fonte: Próprio autor.

Figura 15 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta sobre a coordenada C*.



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Diagrama de Pareto sobre a coordenada b*, luminosidade (L*) e o ângulo Hue (°Hue).



Fonte: Próprio autor.

De acordo com os diagramas de Pareto apresentados nas figuras acima foi possível perceber que os parâmetros de cor que sofreram influência significativa ($p < 0,05$) foram a coordenada a^* e a cromaticidade. Ambos tiveram uma influência quadrática negativa da temperatura, isto é, o aumento da temperatura causará a redução dos valores destes

parâmetros, com consequente perda de cor vermelha e saturação. A concentração de maltodextrina também apresentou uma correlação negativa, porém linear, indicando que o aumento desta variável incide na redução da cor avermelhada e na saturação.

Como pode ser visto, os outros parâmetros (luminosidade, coordenada b^* e o ângulo Hue) não sofreram influência das variáveis do processo (Temperatura e concentração de maltodextrina) dentro da faixa estudada, em qualquer combinação, Temperatura/concentração de maltodextrina, as mudanças ocorridas serão insignificantes ($p < 0,05$).

Para o processo de atomização é necessária a utilização de um agente carreador, para este trabalho utilizou-se a maltodextrina, que possui a cor branca. O suco de jamelão possui uma cor púrpura escura, consequentemente, todos os pós produzidos terão uma coloração púrpura clara. Segundo Santhalakshmy et al. (2015) a cor de cada amostra de pó dependerá da temperatura de entrada no secador e da umidade. Eles observaram que a amostra produzida na menor temperatura de entrada, 140°C , era a mais escura dentre todas as amostras, a qual foi caracterizada por baixos valores de L^* . Eles também puderam notar que a faixa de temperatura de 140 a 160°C não afetou as coordenadas a^* e b^* para sucos de jamelão em pó atomizados. Reportam ainda que as principais diferenças na cor dos pós foram devido às variações na temperatura de entrada, que com o aumento desta temperatura, o ângulo hue aumentou, indicando uma redução correspondente na cor púrpura quando a temperatura de entrada era aumentada. Isso pode ocorrer devido à degradação substancial das antocianinas em elevadas temperaturas.

Bakar et al. (2013) em “*Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (Hylocereus polyrhizus)*” reportaram que como a casca da pitaya é vermelho-púrpura e a maltodextrina é de cor branca, portanto, o perfil da cor esperada entre a mistura destas variasse de acordo com suas proporções percentuais. O aumento da concentração de maltodextrina resulta no aumento do valor do parâmetro L^* com consequente redução no valor de a^* dos pós de casca de pitaya atomizada.

A cor de alimentos em pó é um fator crucial na sua aceitação pelos consumidores e representante do produto alimentar original para eles. Mesmo se o alimento tem uma alta aplicabilidade (em outros produtos) e traz vantagens consideráveis para a saúde dos consumidores, mas careça de aspectos visuais atrativos, pode não atrair os consumidores. Por exemplo, em suco de romã em pó atomizado, o aumento da temperatura causou o aumento do valor L^* . Um aumento em 10% na concentração de maltodextrina reduziu substancialmente os valores de a^* e b^* das amostras. Menor valor de a^* em altas concentrações de

maltodextrina e temperaturas poderia ser atribuído a menores quantidades de antocianinas remanescentes, desde que haja relação direta (JAFARI et al., 2017).

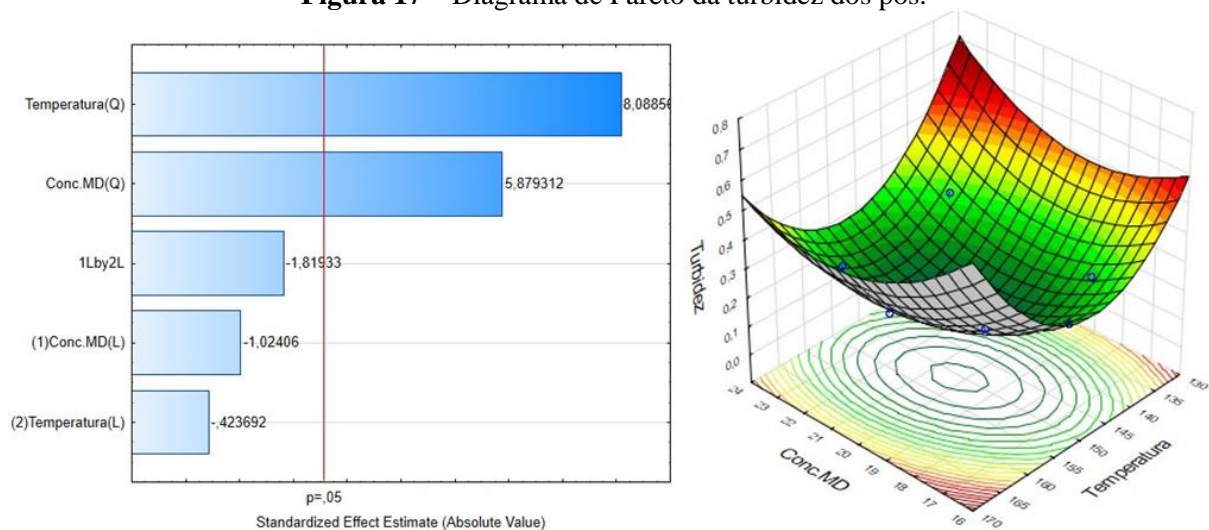
Segundo Tontul e Topuz (2017) a cor dos produtos é afetada pelo agente carreador, suas elevadas concentrações, sua cor natural e reações de escurecimento não-enzimático de açúcares em altas temperaturas de desidratação.

Ramakrishnan *et al.*, 2018 avaliando o efeito do material de parede na eficiência da desidratação por atomização, propriedades do pó e estabilidade dos compostos bioativos no suco de tamarillo microencapsulado observaram que os pós produzidos possuíam a cor laranja-rosada e devido a adição de material de parede, houve um aumento no valor de L, tornando a cor do pó menos concentrada. Os sucos de tamarillos em pó produzidos a partir de N-octenyl succinic anhydride modificado apresentaram um valor de L* menos e os maiores valores de a* e b*, enquanto os pós produzidos com maltodextrina tiveram maiores valores de L* e menores valores de a* e b*. Isso pode contribuir para a menor capacidade dos materiais de parede para encapsular os pigmentos ou a diferença na espessura dos materiais de parede formados.

5.5.8 Turbidez

A turbidez de um suco pode servir de critério de qualidade quanto à sua clarificação. Em se tratando de suco reconstituído é muito importante que este atributo seja respeitado, aproximando-se ao máximo do suco *in natura*. Por esse motivo, deve-se levar em consideração a composição química e a influência dos parâmetros do processo de produção do suco em pó. Neste estudo de otimização, avaliou-se a influência da concentração de maltodextrina e da temperatura de entrada.

Figura 17 – Diagrama de Pareto da turbidez dos pós.



Fonte: Próprio autor.

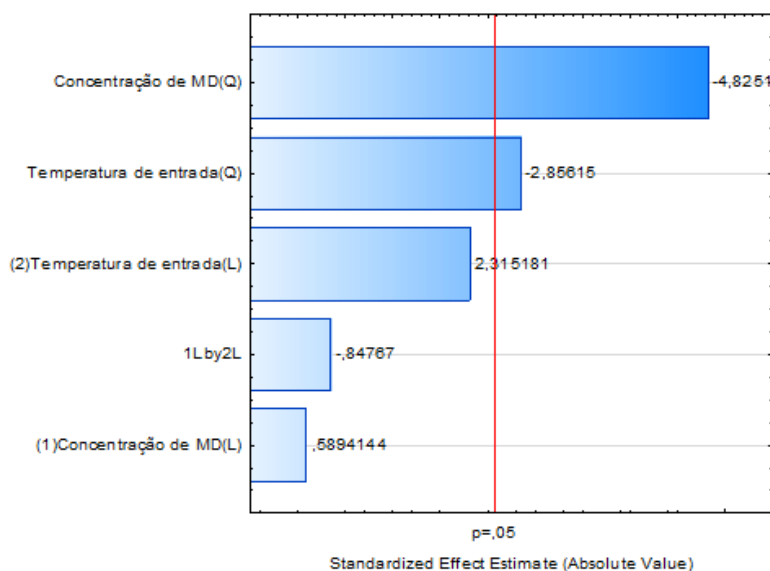
De acordo com o diagrama de Pareto houve influência significativa ($p < 0,05$) tanto da temperatura de entrada como da concentração de maltodextrina e ambas tiveram uma correlação quadrática positiva, ou seja, quanto maior a temperatura de entrada ou a concentração de maltodextrina, maior o valor de absorvância, indicando uma menor turbidez, na qual a temperatura proporcionou maior influência sobre esta variável. Os valores de turbidez das amostras variaram de 0,136 a 0,333. Foi analisada também a turbidez do suco in natura e obteve-se um valor de absorvância de 0,354. Ou seja, quanto maior o valor de absorvância, menor será a turbidez, o que explica a relação positiva da concentração de agente carreador.

Santhalakshmy et al. (2015) avaliaram suco de jamelão em pó, produzidos em diferentes temperaturas e obtiveram o maior valor de turbidez no pó produzido a 140 °C e o menor valor no pó produzido a 160 °C, mostrando a influência da temperatura no parâmetro de turbidez das amostras reconstituídas.

5.5.9 Densidade da Partícula

A densidade da partícula representa a razão entre a massa de sólido presente na partícula e o volume real, incluindo todos os espaços internos vazios (poros).

Figura 18 – Diagrama de Pareto da densidade da partícula dos pós



Fonte: Próprio autor.

De acordo com o diagrama de Pareto, houve influência significativa ($p < 0,05$) tanto da temperatura de entrada como da concentração de maltodextrina, na qual apresentaram uma correlação quadrática negativa sobre a densidade da partícula, com isto, o aumento da concentração de maltodextrina ou da temperatura causaria uma redução na densidade da

partícula dos pós de suco de jamelão. Os valores de densidade variaram de 1,0053 a 2,0145 g.cm^{-3} . Menores valores de densidade indicam maiores quantidades de poros nas partículas. A aplicação de elevadas temperaturas e o tipo de agente carreador pode afetar esta propriedade, pois no início da desidratação a água da superfície da gotícula é vaporizada, formando uma camada externa de material desidratado, que a depender da permeabilidade e da elasticidade deste material, haverá a formação de grandes ou pequenas quantidades de poros.

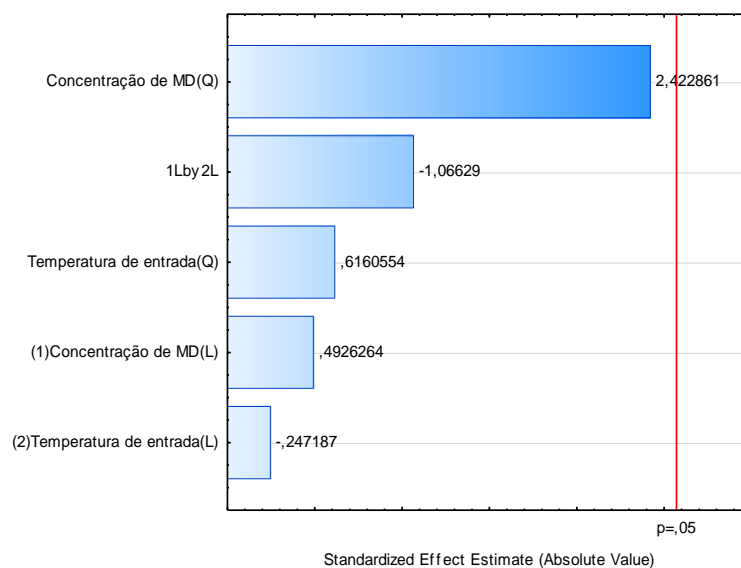
Jinapong, Suphantharika e Jamnong (2008) em seu trabalho "*Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration*" verificaram que as partículas formadas pelo processo de *spray drying* apresentaram uma densidade maior que as do aglomerado, indicando que os aglomerados possuem uma estrutura mais porosa.

Santhalakshmy et al. (2015) estudaram o efeito da temperatura na produção de suco de jamelão em pó atomizado, utilizando maltodextrina (10 DE) e encontraram valores que variavam de 5,17 a 5,23 g.cm^{-3} . Valores estes muito acima dos que foram encontrados na otimização. Jinapong, Suphantharika e Jamnong (2008) encontraram valores que variaram entre 1,04 e 1,25 g.cm^{-3} utilizando maltodextrina (14 DE). Isso mostra um forte indício da influência do valor de dextrose equivalente na densidade das partículas do pó.

Calva-Estrada et al. (2018) estudando a microencapsulação e caracterização dos pós de baunilha (*Vanilla planifolia* Andrews), relataram que a densidade da partícula das microcápsulas variou de 740-750 Kg.m^3 (0,740-0,750 g.cm^3); sendo bem abaixo dos resultados encontrados neste estudo. Isso pode ser devido a combinação entre material de parede e temperatura (*whey protein* / 150 °C), formando partículas com grandes quantidades de poros, o que reduz o valor de densidade.

5.5.10 Dispersibilidade

É a característica do pó ser distribuído por toda a água sem formar aglomerados. Essa propriedade define o quão fácil o pó é reconstituído.

Figura 19 – Diagrama de Pareto da dispersibilidade dos pós

Fonte: Próprio autor.

De acordo com o diagrama de Pareto as variáveis independentes não exerceram influência significativa ($p < 0,05$) sobre a dispersibilidade. Portanto, a qualquer temperatura e concentração de agente carreador, dentro da faixa na qual o estudo de otimização foi feito, não haverá mudanças significativas nesta variável. Os valores de dispersibilidade variaram de 86,57 e 88,47%, encontrando-se abaixo dos valores encontrados por Santhalakshmy et al. (2015). Eles relataram que a dispersibilidade do pó aumentou com o aumento da temperatura de entrada, porém eles avaliaram apenas o efeito da temperatura de entrada do *spray dryer* sobre os pós.

Jaya e Das (2008) relataram que uma menor concentração de agente carreador, neste caso a maltodextrina, aumenta a dispersibilidade, na qual a recíproca dificulta a reconstituição do produto. Além da quantidade de agente, o tamanho das partículas formadas durante o processo de *spray drying*, que varia entre 10 e 100 μm , mostra um relevante aspecto negativo com relação à reconstituição e manipulação (FUCHS et al., 2006). A partir do momento em que as partículas finas entram em contato com a água, elas acabam formando uma superfície hidrofóbica, dificultando o acesso do líquido à região interna. A formação de aglomerados promoverá uma estrutura porosa, com aumento na quantidade de ar nos espaços vazios, facilitando a entrada de água (MAUREL, 1994).

5.5.11 Molhabilidade

Molhabilidade é definida como a capacidade de penetração de um líquido em determinada massa de pó através de forças capilares (HOGEKAMP; SCHUBERT, 2003).

Esta propriedade é dimensionada através do tempo (em segundos) requerido para uma determinada massa de pó se tornar totalmente molhado.

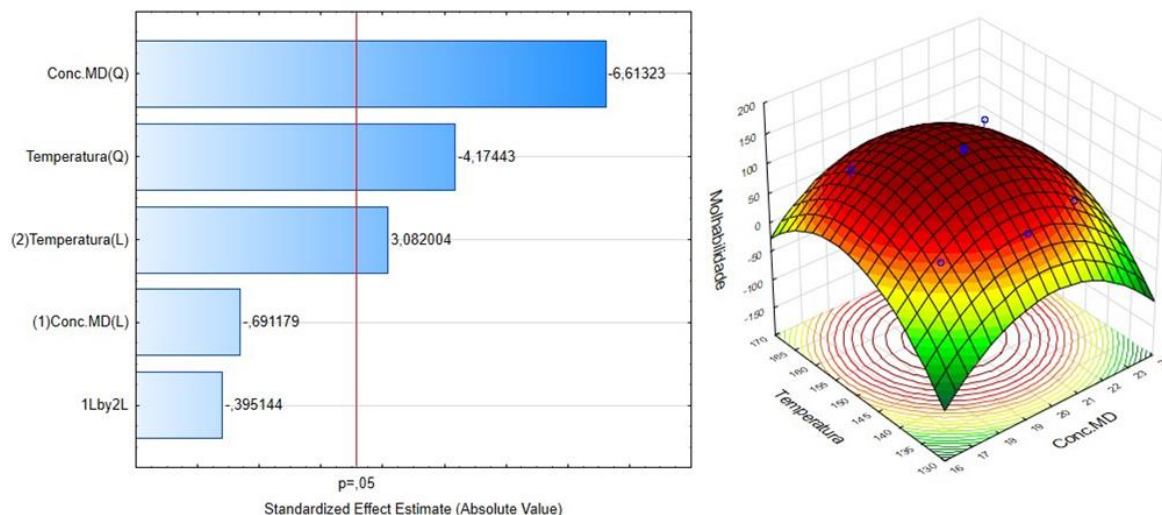
De acordo com o diagrama de Pareto (figura 10), houve influência significativa ($p < 0,05$) tanto da concentração de maltodextrina (quadrática) como da temperatura (quadrática e linear). A temperatura exerceu uma menor influência com relação ao agente carreador. Ambas as variáveis independentes apresentaram uma correlação quadrática inversa com relação a molhabilidade, isto é, aumento de temperatura de entrada ou concentração de maltodextrina significa a redução da molhabilidade. Porém a relação linear da temperatura apresenta uma relação positiva.

Como a falta de ajuste (Lack of Fit) do primeiro modelo foi significativa, o modelo gerado não seria preditivo. Com isso, fez-se necessário o ajuste do modelo para a forma quadrática, elevando-se os valores ao quadrado. Feito isso, verificou-se a falta de ajuste, na qual não foi significativa, podendo então gerar um modelo preditivo.

Os valores de molhabilidade variaram de 39,3s a 142s. O ensaio 6 apresentou o menor valor, possuindo a maior concentração de maltodextrina (25%), dentre os ensaios, e uma temperatura intermediária (150 °C). Ensaios com as menores concentrações de maltodextrina (15 e 17,5%) apresentaram valores entre 50s e 55s, tendo estas temperaturas de 140,150 e 160 °C. Esta propriedade está fortemente ligada ao tamanho da partícula, quanto maior é o seu tamanho, maior será a superfície de contato com o líquido solvente.

Com relação aos ensaios cuja concentração de maltodextrina é de 20%, se submetido a menor temperatura de entrada (130 °C) o valor é de 67,7s. Porém, se submetido a maior temperatura (170 °C) o valor de molhabilidade tem um aumento considerável para 88,7s; mas não tão alto com relação ao uso da temperatura intermediária (150 °C), representando os ensaios do ponto central, que elevou o valor entre 134,7s e 142s. Esses resultados podem ser explicados devido ao fato de existir uma correlação linear positiva com relação a concentração de maltodextrina, ou seja, quanto maior a concentração de agente carreador, maior será o tempo para total molhabilidade. Com isto, é notória a relação do agente de parede, no qual exercerá influência na formação das partículas do produto, as quais interferem na molhabilidade devido a formação de capilares.

Figura 20 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta da molhabilidade dos pós.



Santhalakshmy et al. (2015) verificaram em seu trabalho que pós de suco de jamelão produzidos a 160 °C mostraram os menores valores de molhabilidade, enquanto os maiores valores foram encontrados a 140 °C. Eles concluíram que um aumento na temperatura de entrada diminui o tempo de molhabilidade e que esta propriedade é inversamente proporcional ao tamanho da partícula, porque partículas maiores possuem mais espaços entre elas, tornando mais fácil a penetração da água. É importante ressaltar que este trabalho foi feito apenas variando-se a temperatura de entrada.

Akkaya et al. (2012) em seu trabalho “*Effects Of Spray Drying On Physical Properties, Total Phenolic Content And Antioxidant Activity Of Carob Molasses*” observaram que a velocidade de imersão dos pós diminui com relação ao aumento da dextrose equivalente (DE) da maltodextrina, no qual baixas velocidades de imersão foram observadas com maltodextrina de 18,4 DE. Eles também verificaram que o aumento entre a razão de suco e maltodextrina e a temperatura de entrada também causa uma redução na velocidade de imersão dos pós, porém menos significativo que o aumento do valor de dextrose equivalente. A redução devido à maior temperatura de entrada de ar pode estar relacionada à formação de uma crosta espessa e menos porosa no primeiro estágio da desidratação, nessas condições de desidratação.

Fernandes, Borges e Botrel (2013) estudaram a influência das condições operacionais da desidratação por atomização nas propriedades de óleo de alecrim microencapsulado e verificaram que o tempo no qual os pós ficaram totalmente úmidos variou de 155 a 481 segundos. Eles relataram que o material de parede e a interação do material de parede com a temperatura foram as variáveis que mais influenciaram os valores dessa propriedade, que os

maiores tempos de instantanização das partículas ocorreram em temperaturas de entrada de ar e concentração de agente carreador maiores, podendo este fato ser explicado devido ao baixo conteúdo de umidade dos pós obtidos sob essas condições.

Catelam (2010) em seu trabalho “*Estudo da influência da proporção de um “mix” leite/polpa de maracujá na produção de pó obtido por três diferentes métodos de desidratação*” utilizando maltodextrina 10 DE e goma arábica obtiveram valores de molabilidade de 646s e 679s; respectivamente. Ela explica que esse tempo ocorreu devido a provável presença do leite desnatado.

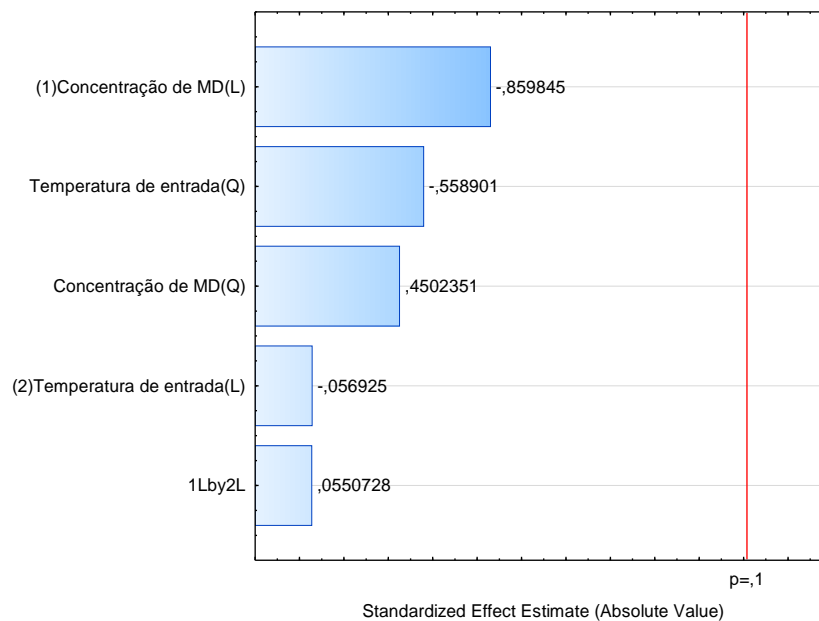
5.5.12 Higroscopicidade

Higroscopicidade é uma propriedade física de produtos desidratados no qual é medida a quantidade de água absorvida pelo produto. Esse valor nos dá a dimensão do comportamento do produto com relação ao ambiente e faz com que sejam escolhidas as melhores condições de armazenamento, principalmente, com relação as características da embalagem (permeabilidade, atmosfera, uso de antiulectantes, etc), que será um ponto crítico para que o produto não perca a qualidade.

Produtos desidratados pelo processo de *spray drying* podem apresentar determinado nível de higroscopicidade, que sob determinadas condições tornam-se partículas fortemente aderentes e, conseqüentemente, aglutinam-se. A atenção deve ser redobrada quanto a isso, principalmente durante o acondicionamento e armazenamento e, às vezes, durante o processo de atomização, pois eles não somente se aderem uns aos outros, mas, principalmente, aderem as paredes do equipamento, reduzindo a eficiência do processo e a produtividade. Os exemplos mais comumente citados estão relacionados à produção de leite em pó, sucos de frutas com elevados teores de sólidos, dentre outros (KING; KIECKBUSCH; GREENWALD, 1984; HAHNE, 2001; BIRCHAL, 2003; ILARI; MEKKAOUI, 2005; LANGRISH, 2007 TONON; BRABET; HUBINGER, 2008 apud WOO; MUJUMDAR; DAUD, 2010, p. 49).

Foi verificado, através do diagrama de Pareto, que a higroscopicidade não sofreu influência significativa ($p < 0,05$) da temperatura de entrada e nem da concentração de maltodextrina. Os valores variaram de 14,24 a 20,46 g de água absorvida/100 g de pó.

Figura 21 – Diagrama de Pareto para a higroscopia dos pós.



Fonte: Próprio autor.

Essa capacidade de absorção de água pode estar relacionada com a morfologia estrutural e o tamanho das partículas do pó, isto é, no momento em que a gotícula é formada na pulverização da amostra todo o conteúdo de água, superfície e região interna, será vaporizado, formando uma partícula sólida com espaços vazios (poros), ou seja, uma esfera oca. Só restará toda matéria do suco integral, que não foi vaporizada, com o agente de parede interagindo e a depender da concentração deste agente e da temperatura, que foi aplicada na desidratação, a partícula pode ter uma maior higroscopicidade ou não. Além da estrutura, a aglomeração destas partículas pode exercer influência nesta propriedade física, pois quanto maior o número de partículas aglomeradas menor será a exposição da área superficial de cada partícula individualmente, conseqüentemente, diminuirá a possibilidade de absorção de água do ambiente.

Santhalakshmy *et al.* (2015) em seu trabalho “*Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder*” verificou uma relação diretamente proporcional entre o aumento da higroscopicidade e o aumento da temperatura de entrada do *spray drying* e os valores variaram entre 17 e 25,33 g de água absorvida/100 g de pó. Outra observação feita pelos pesquisadores foi de que a higroscopicidade dos pós aumentaram com o aumento do teor de umidade de modo que baixo teor de umidade indicou baixa higroscopicidade.

Farías-Cervantes *et al.*, (2017) estudaram o efeito da atomização em frutos de agave, mucilagem de nopal e suco de aloe vera numa faixa de temperatura de entrada de 70 a 110 °C,

com incrementos de 10 °C e observaram que para frutos de agave e mucilagem de nopal o menor valor de higroscopicidade foi encontrado na temperatura de 110 °C. Eles relatam que alguns autores (JAYA; DAS, 2004; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; PHANINDRAKUMAR et al. 2005) associam as mudanças ocorridas na higroscopicidade à temperatura do ar de entrada e ao conteúdo de umidade, devido ao aumento da temperatura causar uma redução no teor de umidade.

Islam et al. (2016) em seu trabalho "*Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder*" utilizaram maltodextrina 12 DE em diferentes proporções e observaram que houve uma redução na higroscopicidade com o aumento da concentração de maltodextrina.

A higroscopicidade é medida através da quantidade de água do ambiente que um determinado alimento absorve durante um tempo, geralmente 1 semana. Para alimentos em pó é desejável que essa propriedade apresente valores baixos, isto é, quanto mais higroscópico for o produto, mais ele absorverá água do alimento e, conseqüentemente, isso reduzirá sua vida de prateleira, pois o produto em pó sofrerá reações degradativas de origem química e bioquímica e crescimento microbiano. Tontul e Topuz (2017) citam em seu trabalho a importância de alguns fatores que podem influenciar esta propriedade como: a concentração e o tipo de agente carreador, a vazão de alimentação do produto e as temperaturas de entrada e saída.

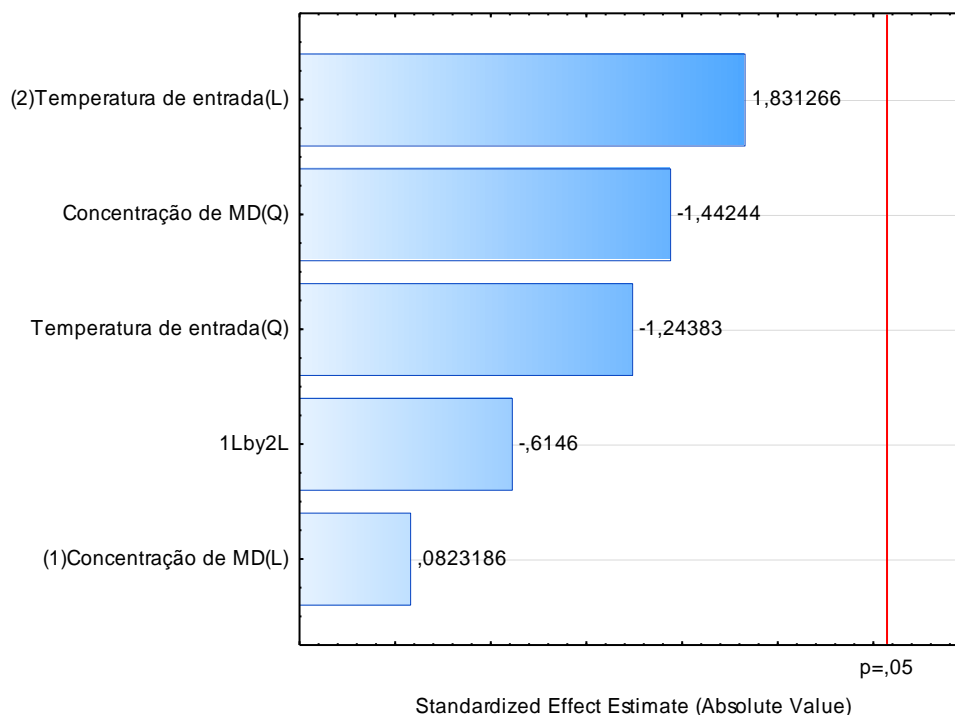
5.5.13 Solubilidade

Solubilidade é uma importante propriedade física para alimentos desidratados, que passarão pelo processo de reconstituição, a exemplo de sucos em pó, pois mede a quantidade de massa de pó que foi solubilizada em solvente, neste caso a água, conotando influência na reconstituição do pó. Esse valor incidirá também na turbidez do produto, pois quanto menor for a solubilidade mais turva será a solução devido a significativa quantidade de partículas dispersas. Segundo Woo, Mujumdar e Daud (2010) refere-se a taxa e extensão na qual as partículas se dissolvem na água. Após a reconstituição do pó, a solução é centrifugada e as partículas não dissolvidas que assentam ao fundo do tubo são medidas diretamente pelo volume (índice de solubilidade) ou levada à estufa até a secura (porcentagem de sólidos solúveis).

De acordo com o diagrama de Pareto as variáveis independentes (Temperatura de entrada e concentração de maltodextrina) não exerceram influência significativa ($p < 0,05$) sobre a solubilidade. Portanto, a qualquer temperatura e concentração de agente carreador

(dentro da faixa) não haverão mudanças significativas. Os valores de solubilidade variaram de 65,66% a 86,04%.

Figura 22 – Diagrama de Pareto da solubilidade dos pós.



Fonte: Próprio autor.

Santhalakshmy et al. (2015) estudaram o efeito de diferentes temperaturas na solubilidade dos sucos de jamelão atomizados e verificaram que na maior temperatura utilizada encontraram o maior valor de solubilidade e na menor temperatura o menor valor de solubilidade, indicando que a solubilidade dos pós aumentam com a elevação da temperatura de entrada. Eles relatam também que devido o uso do agente carreador ser a maltodextrina, que é um material de estado amorfo e não cristalino, logo isso pode levar a uma maior solubilidade.

Tontul e Topuz (2017) relatam que solubilidade é a habilidade do pó formar uma solução ou uma suspensão em água. É definida como o critério mais confiável para avaliar o comportamento do pó em uma solução aquosa. Eles relatam que diversos trabalhos mostram que o aumento da concentração de maltodextrina aumentam a solubilidade, porém que o uso em excesso de agente carreador provocaria a redução na solubilidade. O tipo do agente também é um fator muito importante, pois suas propriedades influenciarão na solubilidade e dentre os carboidratos a maltodextrina e a goma arábica possui maior solubilidade.

Barbosa (2010) avaliando a qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por *spray drying* observou que não houve influência significativa da temperatura do ar de desidratação na solubilidade dos sucos em pó produzidos com maltodextrina 10 DE em qualquer concentração utilizada em seu trabalho. Entretanto, os sucos em pó produzidos com 18 e 21% de maltodextrina 20 DE sofreu influência da temperatura. Ainda de acordo com Chegeni e Ghobadian (2005 apud Barbosa, 2010, p. 59) as partículas do pó podem formar superfícies mais rígidas em elevadas temperaturas de desidratação, dificultando a difusividade das moléculas de água por entre as partículas.

Fazaeli et al. (2012) estudaram o efeito das condições do *spray drying* e da composição nas propriedades físicas do suco de amora preta em pó e observaram que o aumento da temperatura de entrada causou o aumento da solubilidade dos pós. Nesse estudo eles utilizaram temperaturas de 110, 130 e 150 °C e os seguintes agentes carreadores: maltodextrina (6, 9 e 20 DE) e goma arábica em determinadas proporções. Eles relatam que o aumento na dextrose equivalente da maltodextrina causa a redução da solubilidade, atribuindo este efeito ao conteúdo de umidade. Outra variável relacionada a solubilidade, neste estudo, foi a taxa de ar comprimido, que altas taxas de ar comprimido levaram a formação de partículas menores, reduzindo a solubilidade do pó.

5.5.14 Índice de solubilidade em água e Índice de Adsorção em Água (WSI e WAI)

O índice de solubilidade em água é uma propriedade de reconstituição estudada para avaliar os efeitos das variáveis do processo (SANTHALAKSHMY et al., 2015). Segundo Jafari, Ghalegi, Ghalenoei e Dehnad (2017) o índice de solubilidade representa o comportamento do produto em solução aquosa e é um critério geral na determinação da qualidade de reconstituição do pó.

Figura 23 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta do Índice de Solubilidade em água (WSI) dos pós.

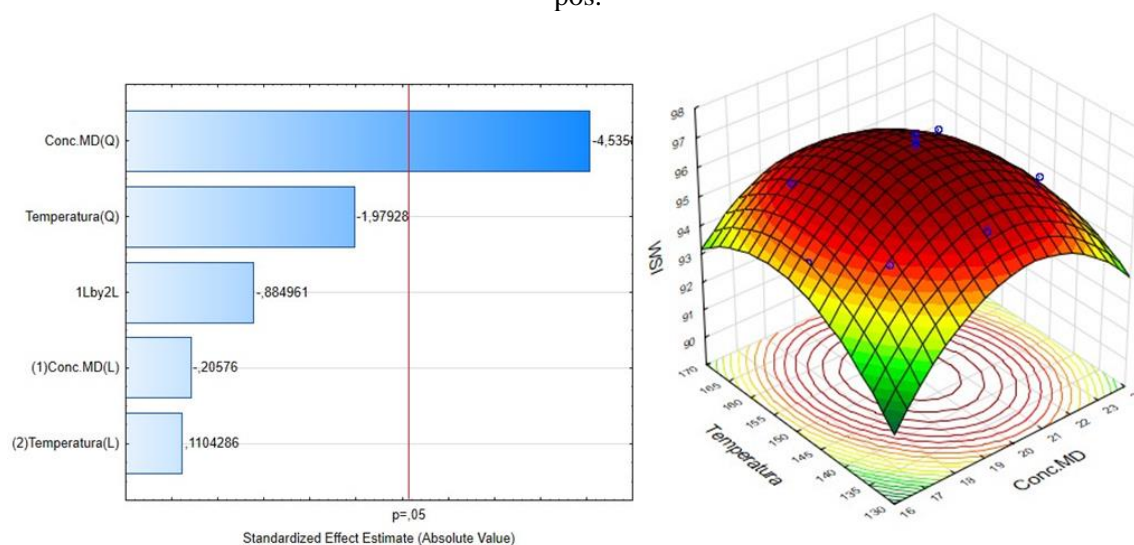
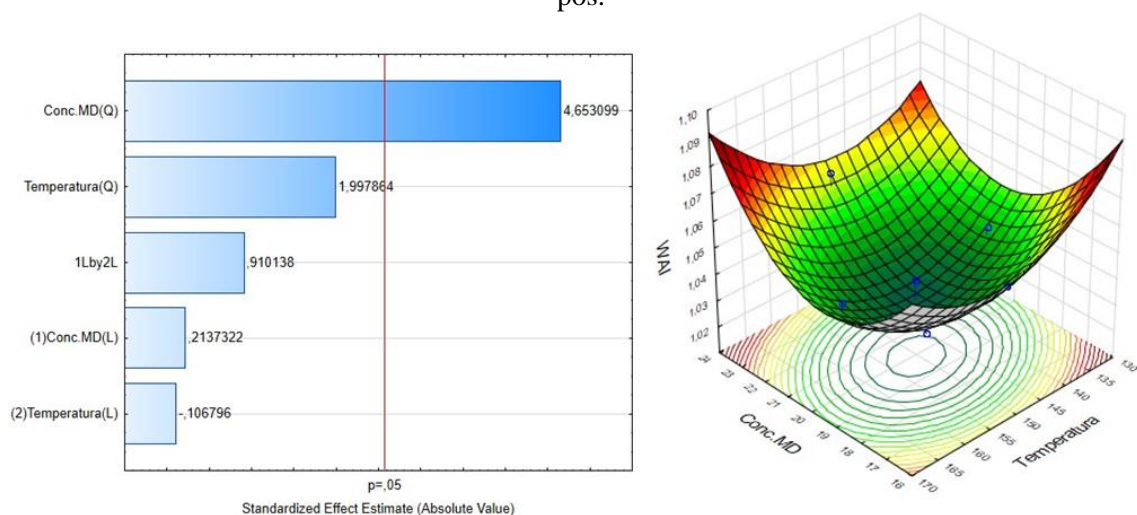


Figura 24 – Diagrama de Pareto e superfície de resposta do Índice de Absorção em água (WAI) dos pós.



Os consumidores esperam que produtos em pó tenham uma rápida e completa dissolução ou reconstituição, sendo assim um indicador da qualidade do produto. Alguns parâmetros podem afetar a solubilidade dos pós como composição inicial do material de parede a ser atomizado, agentes carreadores, taxa de compressão de ar, taxa de alimentação (KHA; NGUYEN; ROACH, 2010).

De acordo com os diagramas de Pareto, a concentração de maltodextrina exerceu influência significativa ($p < 0,05$) sobre o índice de solubilidade (WSI) e absorção (WAI) de água. Houve uma correlação quadrática negativa da concentração de maltodextrina com relação ao índice de solubilidade (WSI). Logo, se houver o aumento da concentração de

maltodextrina, haverá uma redução no índice de solubilidade. Já para o índice de absorção de água (WAI) houve uma correlação quadrática positiva da concentração de maltodextrina. Com isto, se houver o aumento da concentração de maltodextrina, haverá um aumento no índice de absorção de água.

Chegini e Ghobadian (2005) relatam que a elevação da temperatura de entrada reduziu a solubilidade do suco de laranja em pó, podendo ser explicado pela formação de uma camada de superfície muito dura devido a aplicação de elevadas temperaturas, atrapalhando a difusão das moléculas de água através da partícula, reduzindo a molhabilidade e a dissolução do pó.

Santhalakshmy et al. (2015) encontraram um resultado de índice de solubilidade e absorção em água (WSI e WAI) oposto ao relatado nesse estudo. Eles reportaram que o maior índice foi encontrado na maior temperatura utilizada (160 °C) e o menor índice na menor temperatura (140 °C), porém eles apenas variaram a temperatura de entrada e mantiveram a concentração de maltodextrina fixa, o que pode ter levado a este resultado. Já o índice de absorção (WAI) foi maior em 140 °C e o menor índice em 160 °C. Portanto, seus resultados mostram que o aumento da temperatura de entrada causa o aumento do índice de solubilidade e a redução do índice de absorção.

Anderson (1982), no estudo de absorção e solubilidade de água e características amilográficas de produtos de grão pequeno cozidos em rolos, relatou que o índice de solubilidade diminuiu significativamente quando a temperatura aumentou (entre 204 e 218 °C), testando em dois níveis de umidade (15 e 25%). O índice da amostra a 15% de umidade permanece constante até 218 °C e depois aumenta progressivamente, já a 25% de umidade aumenta uma taxa ligeiramente maior. Ou seja, há também uma relação da umidade do produto para um aumento significativo do índice de solubilidade em água. Ele observou que o índice de absorção de água (WAI) se estabilizou nas maiores temperaturas utilizadas em experimento, relacionando isso a torra e padrões de viscosidade. A amostra com 25% de umidade atinge o índice máximo em 218 °C, após isso este índice cai. Já a amostra com 15% de umidade nunca atinge o índice de absorção máximo, precisando de uma temperatura maior (238 °C) para chegar próximo ao nível máximo, tendendo a reduzir este índice logo após.

Gomez e Aguilera (1984) estudaram um modelo físico-químico par extrusão de amido de milho e relataram que a gelatinização levou a modificações estruturais significativas, permitindo a liberação de polímeros de baixo peso molecular. Com isso, o índice de solubilidade de água do amido gelatinizado foi muito maior que o amido cru. Eles reportam que valores muito altos de índice de absorção (WAI) ocorrem devido a presença de longas

cadeias poliméricas não danificadas. Aplicando uma dextrinização enzimática, eles perceberam que o índice de solubilidade foi máximo, enquanto que o índice de absorção foi menor do que para o material gelatinizado, porém superiores aos do amido cru, podendo ser explicado pelo fato do índice de absorção diminuir com a redução do comprimento das cadeias poliméricas, enquanto que o oposto ocorre para o índice de solubilidade.

Jafari, Ghalegi Ghaleñoi e Dehnad (2017) estudando a influência do *spray drying* no índice de solubilidade em água de suco de romã em pó, observaram que a influência dos níveis de maltodextrina e temperatura não foram consideráveis. O aumento da temperatura causou um pequeno aumento no índice de solubilidade (WSI), porém este aumento não foi significativo.

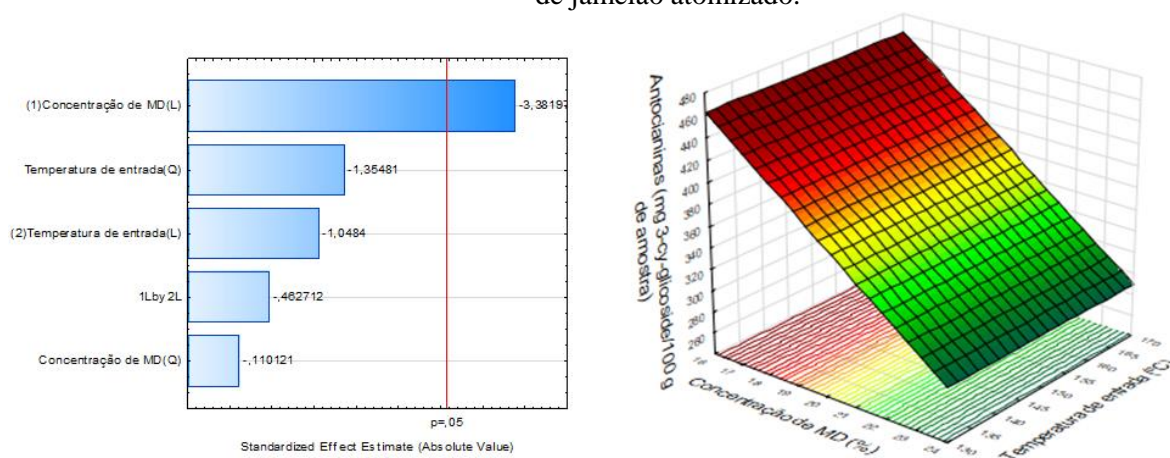
5.5.15 Compostos bioativos

5.5.15.1 Determinação de antocianinas monoméricas totais (TMA)

Compostos antociânicos são moléculas que possuem uma estrutura fenólica, pertencentes ao grupo dos flavonóides, ocorrendo como glicosídeos de poli-hidroxi e/ou polimetoxi derivados do sal *flavilium* e são altamente sensíveis a alguns fatores como pH, temperatura, oxigênio, luz, metais causando a sua instabilidade durante o processamento e/ou armazenamento (FENEMA, 2010).

É importante ressaltar que o teor antociânico está diretamente ligado ao aspecto sensorial visual, pois a cor do produto é um dos atributos que chamam a atenção inicialmente do consumidor, causando o primeiro impacto atrativo. E se este for afetado no processo, fará com que o consumidor tenha uma pré-avaliação positiva ou negativa.

Figura 25 – Diagrama de Pareto e Superfície de resposta para a concentração de antocianinas em suco de jamelão atomizado.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com os resultados obtidos experimentalmente, foi possível observar que há uma correlação linear inversa da concentração de antocianinas com a concentração de maltodextrina. Por exemplo, o suco obtido a 150° C com uma concentração de maltodextrina de 25% (ensaio 6) exibiu o menor valor de teor antociânico. Isso é confirmado pelo diagrama de Pareto (fig. 25) mostrando um efeito negativo da concentração de maltodextrina, a qual foi a variável que apresentou significância estatística na resposta ($p < 0,05$). Os resultados obtidos variaram entre 282 e 435 mg 3-cy-glicoside/100 g FW.

Os resultados de teor antociânico estão apresentados também como superfície de resposta (fig. 21) em função da concentração de maltodextrina e temperatura de entrada. A concentração de antocianina monitorada teve um padrão no qual mostra que altas concentrações deste composto são obtidas a baixas concentrações de maltodextrina sob qualquer condição de temperatura. Esses resultados poderiam ser explicados pelo fato da densidade das amostras serem diferentes, isto é, a massa de maltodextrina utilizada nos ensaios pode ter exercido influência na quantificação desta classe de compostos. Outra observação a ser feita é que mesmo sob menores concentrações a temperatura não influenciou na degradação do pigmento. Do ponto de vista do custo energético e de insumos haverá economia na produção, o que é considerado bom, pois se gastará menos com baixas temperaturas e com a utilização de menores concentrações de maltodextrina, mantendo boas concentrações antocianinas, se este for o objetivo.

Jafari, Ghalegi Ghalenoei e Dehnad (2017) estudando a influência do processo de desidratação por *spray dryer* em suco de romã em pó, avaliaram o conteúdo de antocianinas através de 3 concentrações de maltodextrina e 2 níveis de temperatura. Eles relatam que o aumento da concentração de maltodextrina causou uma redução no teor de antocianinas no produto e que em elevadas concentrações (35 e 45%) esta redução não foi significativa. Eles encontraram valores de 5,98 a 8,015 mg.L⁻¹.

Rezende, Nogueira e Narain (2018) fizeram o estudo da microencapsulação de extrato de compostos bioativos da polpa e do resíduo de acerola por *spray drying* e obtiveram valores que variaram entre 2 e 11,16 mg TA/100g. Já Correia et al. (2017) estudando a comparação de compostos bioativos como ingredientes de alimentos produzidos através de três diferentes métodos de desidratação, encontraram valores excelentes de antocianinas (quase 150 mg cya/100g) pelo processo de *spra drying* usando diferentes materiais de parede. Eles relatam que neste estudo matrizes com proteína isolada de soja como material de parede apresentaram os maiores valores de antocianinas.

Righi da Rosa et al. (2018) estudando a microencapsulação de compostos antociânicos de blueberry por *spray dryer* com diferentes agentes encapsulantes, observaram que a concentração inicial de antocianinas foi de 65,9 mg/mL e que após a atomização, com o uso de diferentes agentes, esta concentração caiu para uma faixa de 23,18 a 37,98 mg/mL, isto é, perdas entre 42,36 e 64% durante a desidratação. Eles relatam que as partículas produzidas com 9% de maltodextrina mais 9% de amido de milho modificado (*hi-maize*) apresentaram as maiores retenções de antocianinas.

Suravanichnirachorn et al. (2018) reportam no estudo do efeito do tipo e da concentração do agente carreador que o aumento da concentração de maltodextrina causou uma redução no teor antociânico total, uma vez que os compostos antociânicos foram diluídos com o agente carreador. O uso de 35% de maltodextrina resultou em 2,63 mg/g de antocianinas.

5.5.15.2 Compostos fenólicos totais (CFT)

Compostos polifenólicos e fenólicos são substâncias comuns em alimentos de origem vegetal. Esses compostos compreendem uma ampla variedade de moléculas que possuem uma estrutura polifenólica, isto é, vários grupos hidroxil em anéis aromáticos, mas também moléculas com um anel fenólico como ácidos fenólicos e álcoois fenólicos. Eles são divididos em diversas classes de acordo com o número de anéis fenólicos que eles possuem e em relação aos elementos estruturais que ligam esses anéis uns aos outros. Os principais grupos de polifenóis são: flavonóides, ácidos fenólicos, álcoois fenólicos, estilbenos e lignanas (D'ARCHIVIO et al., 2007).

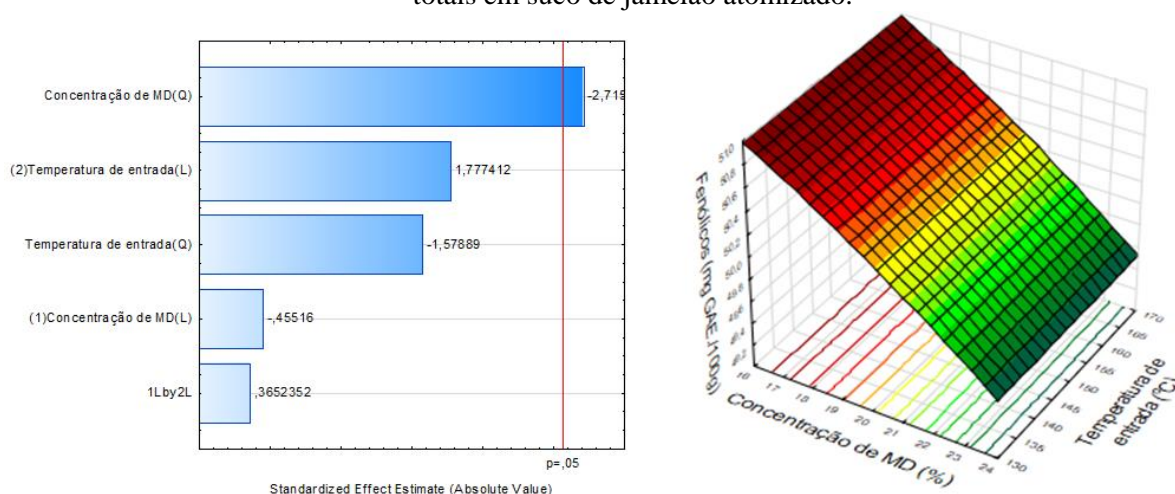
A importância da determinação destes compostos é devido ao seu potencial antioxidante, pois a sua estrutura tem a capacidade de neutralizar a ação de radicais livres com a doação de um elétron (hidrogênio), isto é, alta capacidade oxi-redutora. De acordo com Fenema (2010), essa característica antioxidante está associada à prevenção de doenças cardiovasculares, propriedades antiinflamatórias, redução de colesterol LDL, inibem diversas enzimas envolvidas no crescimento e desenvolvimento de tumores e na indução de apoptose. Ou seja, quantificar esses compostos, em geral, em uma matriz serve para que saibamos se nela há a presença de substâncias consideradas nutraceuticas benéficas à saúde.

Os resultados obtidos mostraram que existe uma relação quadrática inversa no conteúdo de compostos fenólicos com a concentração de maltodextrina. O ensaio obtido a 150° C (0) com uma concentração de 25% (1,41) de maltodextrina exibiu um menor teor de compostos fenólicos, isso é observado no diagrama de Pareto (Fig. 20), que mostra um efeito

negativo da concentração de maltodextrina, a qual foi a variável que apresentou significância estatística a essa resposta ($p \leq 0,05$).

Os resultados estão apresentados também como superfície de resposta em função da concentração de maltodextrina e temperatura de entrada. A concentração de compostos fenólicos totais monitorada teve um padrão no qual altas concentrações deste composto são obtidas a baixas concentrações de maltodextrina sob qualquer condição de temperatura de entrada estudada.

Figura 26 – Diagrama de Pareto e Superfície de resposta para a concentração de compostos fenólicos totais em suco de jamelão atomizado.



Fonte: Próprio autor (2018).

Emam-Djomeh, Seddighi e Askari (2017) estudaram a influência das condições do processo de atomização em suco de amora preta, utilizando maltodextrina 6 DE em concentrações que variaram de 4 a 8%, e reportaram que o conteúdo de compostos fenólicos do suco variaram de 40,07 a 43,48 mg GAE/g de pó (em base seca), indicando que as condições de desidratação sobre esses compostos não foram intensas.

Mishra, Mishra e Mahanta (2014), utilizando temperaturas de 125, 150, 175 a 200 °C e concentrações de 3, 5, 7 e 9% de maltodextrina, mostram que houve um efeito significativo da temperatura de desidratação e da concentração de maltodextrina. O teor de fenólicos foi reduzido com o aumento de temperatura de 125 °C para 175 °C, porém eles relatam que acima de 175 °C houve uma tendência inversa, devido à polimerização e à síntese de polifenóis a 200 °C, levando ao acréscimo deste composto no pó. O teor de fenólicos foi reduzido quando houve o aumento da concentração de maltodextrina de 5 a 9%, ou seja, houve um efeito negativo da concentração e concluem que a combinação 125 °C e 5% de maltodextrina resultou na melhor retenção de compostos fenólicos.

Elez Garofulić et al. (2017) estudaram a retenção de polifenóis em suco cereja azeda encapsulada utilizando temperaturas de 150, 175 e 200 °C e maltodextrina 4-7 DE, maltodextrina 13-17 DE e goma arábica em diferentes proporções agente e suco (1:1; 2:1; 3:1), relataram que maiores concentrações de maltodextrina 4-7 DE resultaram em menores teores de polifenóis. Já para maltodextrina 13-17 DE houve uma maior retenção de polifenólicos com o emprego da maior proporção. Eles reportam que geralmente, quando se compara o efeito de dois parâmetros de encapsulamento, independente do material de parede utilizado, a relação entre o agente de parede e o suco é crucial para a retenção polifenólica. Eles ainda concluem que a técnica de *spray drying* é adequada para encapsulamento de suco de cereja azeda com elevada retenção de fenólicos de diferentes classes e que a maltodextrina 13-17 DE apresentou as melhores propriedades como agente de parede na proporção de 3:1, retendo mais de 93% de ácidos fenólicos e 89% de antocianinas presentes no suco fresco.

Correia et al. (2017) comparando o teor de polifenóis de diferentes pós de mirtilo obtidos por diferentes métodos de desidratação relataram que as matrizes secas por atomização, utilizando proteína isolada de soja, tiveram a maior concentração de polifenóis e antocianinas. Eles explicam que um dos principais fatores, que influenciam esse valor superior, é a capacidade da proteína de se ligar e complexar os polifenóis de mirtilo. Por essa eficiência de complexação, pode ocorrer a formação de uma fina camada protéica protetora ao redor da gotícula, aliado à alta velocidade de desidratação.

5.5.15.3 Flavonóides totais

Os flavonóides são encontrados amplamente em vegetais, os quais são capazes de sintetizá-los. Há pelo menos 2.000 destes compostos de ocorrência natural. Estão presentes em partes comestíveis de frutas, vegetais folhosos, raízes, tubérculos, bulbos, ervas, tempêros, legumes, chás, café e vinho tinto (FENEMA, 2010).

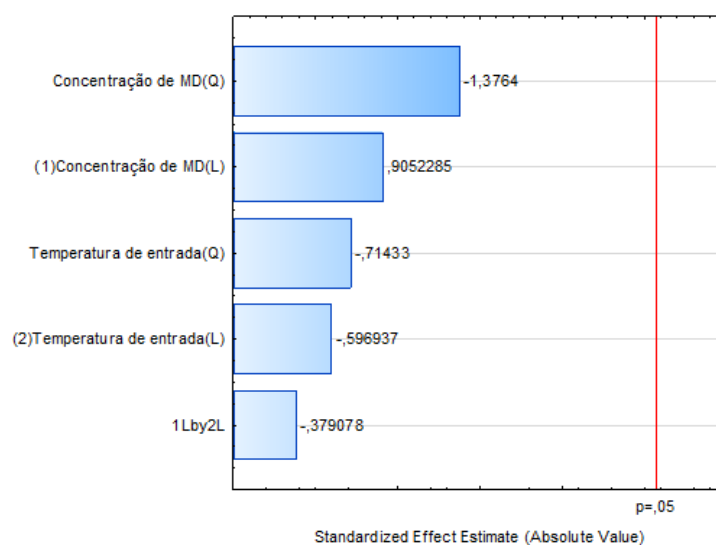
Devido à sua grande presença em plantas, os flavonóides são parte importante da dieta humana. Eles podem ser classificados em 7 grupos e quase todos eles possuem características químicas e biológicas em comum: atividade antioxidante, sequestrantes de oxigênios reativos e eletrófilos, inibir a nitrosação, quelar metais, modular algumas enzimas celulares. Portanto, essas peculiaridades que trazem benefícios à saúde nos mostra que uma dieta rica em flavonóides pode proteger contra doenças cardiovasculares, distúrbios neurodegenerativos e alguns tipos de câncer (HUANG; FERRARO, 1992; FENEMA, 2010).

Com o intuito de aumentar a eficiência da extração, as amostras podem ser pulverizadas. O solvente é escolhido de acordo com o tipo de flavonóide a ser estudado com

solventes menos polares extraindo flavonóides menos polares (clorofórmio, éter dietílico, acetato de etila) e solventes mais polares extraindo flavonóides mais polares (álcool, solução hidroalcoólica) (MARSTON; HOSTETTMANN, 2005).

Para melhorar a eficiência da extração, as amostras sólidas são geralmente pulverizadas. A escolha do solvente é baseada no tipo de flavonóide requerido com flavonóides menos polares sendo extraídos com clorofórmio, diclorometano, éter dietílico ou acetato de etila, enquanto glicosídeos flavonóides e agliconas mais polares são extraídos com álcoois ou misturas álcool-água.

Figura 27 – Diagrama de Pareto do teor de flavonóides totais dos pós.



Fonte: Próprio autor (2018).

O diagrama de Pareto da figura 23 mostra que não houve influência significativa ($p < 0,05$) das variáveis independentes, mostrando que o processo não incide em perdas significativas no conteúdo de flavonóides totais. Os valores destes compostos variaram de 1,267 a 46,943 mg QE/100 g de pó. Tais valores abaixo do esperado pode ser explicado pela retenção da maior parte desses compostos no resíduo da produção do suco ou pela perda durante o processamento. Esses compostos são sensíveis à temperatura, luz, oxigênio, metais.

Rezende, Nogueira e Narain (2018) reportaram que a eficiência da microencapsulação do extrato de resíduo de polpa de acerola foi maior que 50% para flavonóides totais. Eles encontraram valores entre 226,53 e 551,50 mg QE/100 g de pó. Leite Neta et al. (2018) encontraram a concentração de 85,17 mg QE/100 g em pó reidratado de polpa de graviola.

De acordo com Cortés-Rojas, Souza e Oliveira (2015) a quantificação de flavonóides totais é um teste simples e poderia ser aplicado como indicador da degradação do processo de desidratação de amostra vegetais. Estudando a otimização das condições de *spray*

drying em extrato de *Bidens pilosa L.*, eles reportaram que a temperatura de desidratação apresentou uma correlação inversa com relação ao teor de flavonóides totais. Eles usaram 3 variáveis independentes (temperatura de entrada, vazão de alimentação, tipo de agente carreador), no qual além da temperatura, a taxa de de alimentação também apresentou efeito significativo.

As frutas são fontes ricas de flavonóides, em especial, a quercetina, que é um flavonol, comumente encontrado nelas. Por exemplo, baga de sabugueiro contém 17 mg / 100 g de fruto; mirtilos contém 12,6 mg / 100 g de fruto; cranberries contêm 13,0 mg / 100 g de fruto, tornando-se uma rica fonte desses compostos. O suco de frutas também contém certas quantidades de flavonóis, porém em uma concentração mais inferior. O suco de maçã, por exemplo, é uma rica fonte de catequina, (contendo 6,3 mg epicatequina / 100 mL e 0,8 mg catequina / 100 mL), enquanto o suco de cranberry tem uma maior concentração de flavonóis, principalmente sob a forma de quercetina e miricetina (17,5 mg / 100 mL e 4,7 mg / 100 mL, respectivamente).

5.5.17 Perfis dos modelos preditos e aplicação da função Desirability

Apenas as variáveis dependentes que sofreram influência da(s) variável(is) independente(s) durante o processo foram avaliadas quanto aos seus modelos preditivos. A tabela 18 apresenta os modelos ajustados para antocianinas monoméricas totais, compostos fenólicos totais, eficiência, molhabilidade, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, turbidez, coordenada a^* , cromaticidade c^* e densidade da partícula, bem como os coeficientes de determinação dos modelos (R^2) com suas respectivas probabilidades de significância (pR^2) e valores de F com suas probabilidade de significância (pF) do teste de *Lack of fit* de cada modelo.

Para fins preditivos, observa-se que os coeficientes de determinação da regressão (R^2) são válidos com destaque para o modelo de molhabilidade que apresentou um valor de 0,9368. Isso indica uma porcentagem de variação explicada de 93,68%. Os modelos de regressão para tais variáveis estudadas foram satisfatórios, pois os valores de pR^2 foram menores que 0,05. Todos os modelos apresentaram ajuste adequado, uma vez que os valores de $pF_{\text{lack-of-fit}}$ não foram significativos ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Tabela 17 - Modelos preditivos e respectivas estatísticas associados aos efeitos da temperatura de entrada do spray dryer e a concentração de maltodextrina no suco de jamelão sobre as variáveis dependentes importantes que sofreram influência durante o processo.

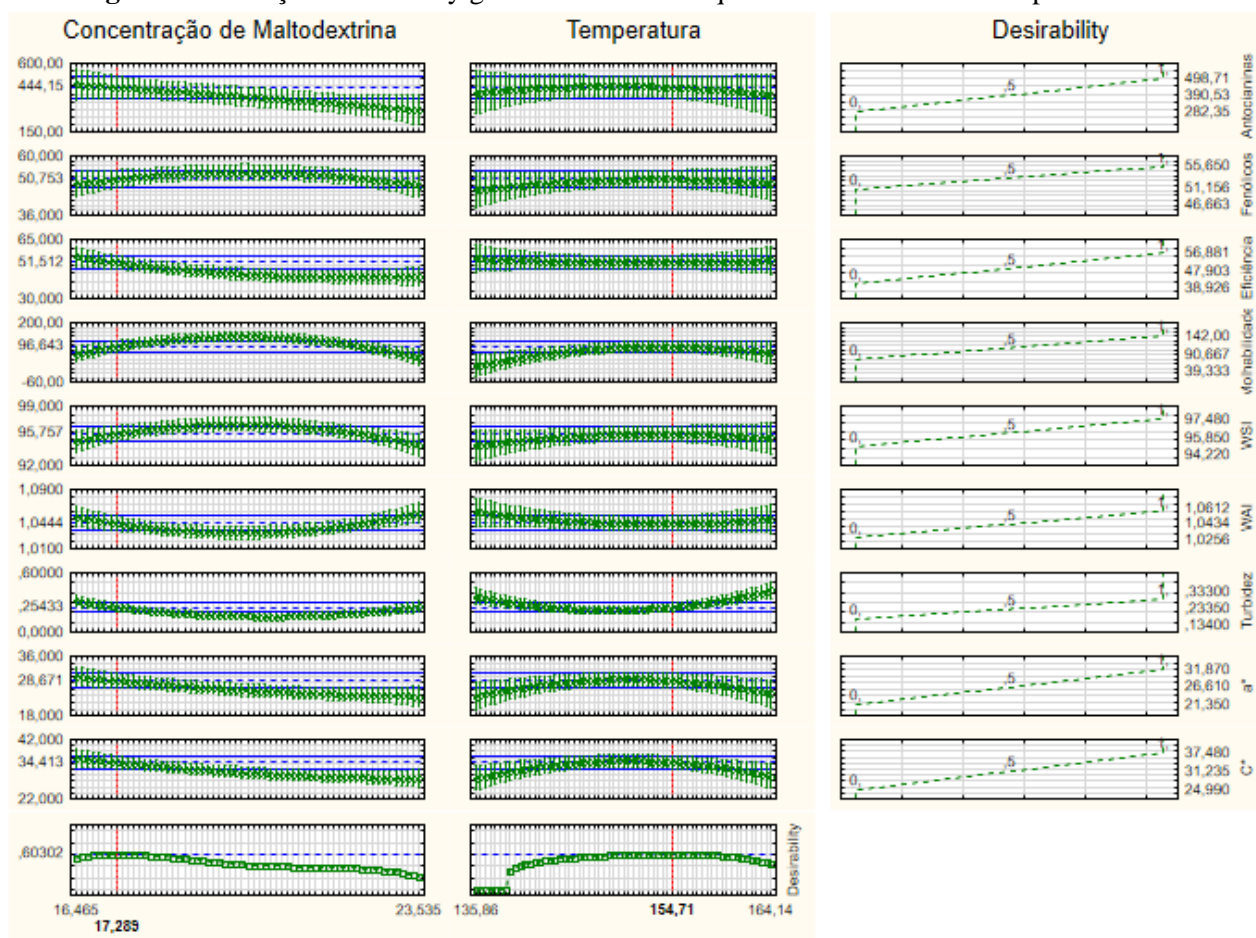
Características	Modelo ¹	R ²	pR ²	F (<i>Lack of fit</i>)	pF (<i>Lack of fit</i>)
Antocianinas	$Y = 808,66 - 21,63 X_1$	0,581	0,0064	1,6048	0,4364
Fenólicos	$Y = 52,16 - 0,0046 X_1^2$	0,3355	0,0619	1,4736	0,4622
Eficiência	$Y = 120,28 - 0,3578 X_2 - 0,0059 X_1 X_2$	0,7141	0,0069	6,4972	0,1394
Molhabilidade	$Y^2 = -839041 - 8 X_1^2 + 11133 X_2 - 36 X_2^2$	0,9368	0,00014	5,598	0,1585
WSI	$Y = 96,18 - 0,0009 X_1^2$	0,6369	0,00324	0,8396	0,6413
WAI	$Y = 1,0398 + 0,00001 X_1^2$	0,6469	0,002840	0,88052	0,626
Turbidez	$Y = 0,2945 - 0,000073 X_1^2 - 0,000001 X_2^2$	0,8921	0,00014	4,8184	0,1818
a*	$Y = 44,0015 - 0,68929 X_1 - 0,00022 X_2^2$	0,8014	0,00156	5,24126	0,16887
c*	$Y = 52,12115 - 0,81396 X_1 - 0,00024 X_2^2$	0,8316	0,0008	3,37919	0,245898

¹ X₁ = Concentração de maltodextrina (%); X₂ = Temperatura de entrada (°C)

Como visto nas seções anteriores, estes modelos serviram para gerar as superfícies de resposta (seções: 5.5.3, 5.5.7, 5.5.8, 5.5.11, 5.5.14 e 5.5.15) de cada variável estudada. Para facilitar a análise e interpretação dos resultados vistos na respectiva seção de cada variável, foi utilizada a função *Desirability*, proposta por Derringer & Suich (1980).

Em todos os ensaios foi possível perceber a prevalência de partículas esféricas. Como no ensaio 1 que mostrou esferas de superfície lisa e aglomeradas. O ensaio 2 apresentou uma superfície mais enrugada com algumas aglomerações. O ensaio 3 mostrou esferas de superfície lisa e algumas esferas com um certo grau de encolhimento, além de algumas partículas serem maiores. O ensaio 4 esferas menores e regulares, com algumas apresentando certa rugosidade e outras com certo encolhimento. O ensaio 5 apresenta partículas esféricas com algum encolhimento e outras de superfície lisa. O ensaio 6 apresentou partículas irregulares, com certo grau de encolhimento e rugosas, em sua maioria formaram-se partículas menores e aglomeradas. Formaram-se no ensaio 7 partículas esféricas de superfície lisa e algumas enrugadas com certo grau de encolhimento. O ensaio 8 foi caracterizado pela formação de partículas irregulares, algumas esféricas de superfície lisa e outras enrugadas com aglomeração. Já os pontos centrais, ensaios 9, 10 e 11, caracterizaram-se pela aglomeração das partículas, pelo formato irregular e com encolhimento e algumas rugosas no ensaio 11. As partículas dos ensaios 9 e 10 apresentaram-se com esferas de superfície mais lisa.

Figura 28 – Função Desirability global das variáveis que sofreram influência do processo.



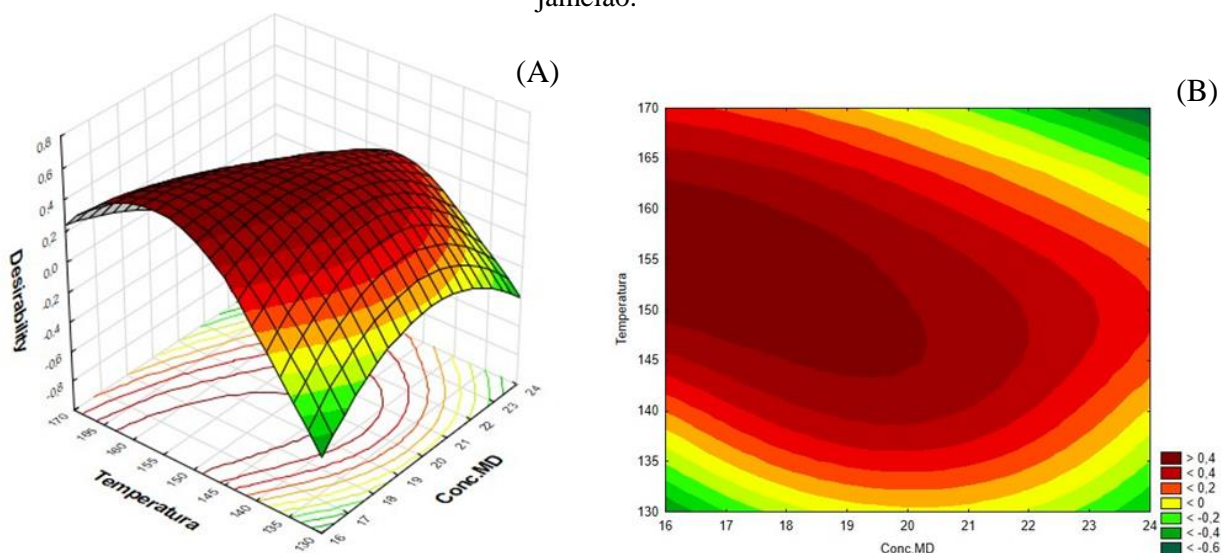
Fonte: Próprio autor.

A figura 28 apresenta a função *Desirability* global dos dados, mostrando as condições de otimização do processo de produção de suco de jamelão desidratado em pó, que foram 17,289% de maltodextrina e temperatura de entrada de 154,7 °C. Além disto a figura ainda mostra que nessas condições o teor de antocianinas monoméricas totais serão de 390,53 mg 3-cy-glicoside/100 g; o teor de fenólicos totais será 51,156 mg GAE/100 g; a eficiência será de 47,903; a molhabilidade será de 90,667s; o WSI será de 95,85%; o WAI será de 1,0434 g/g; a turbidez será de 0,2335; a coordenada a^* será de 26,61 e a cromaticidade (c^*) será de 31,24.

Esta função proposta por Derringer & Suich (1980) foi importante na determinação das condições ótimas de temperatura de entrada do *spray dryer* e concentração de maltodextrina na desidratação do suco de jamelão. Através desta função foi gerada também uma superfície de resposta e uma curva de contorno (figura 26). Elas permitem a visualização das condições mais desejáveis de temperatura de entrada (entre 149 a 162 °C) e concentração de maltodextrina (entre 16 e 19%). Esses valores são aqueles em que o suco de jamelão

desidratado é produzido com a maior retenção de antocianinas e compostos fenólicos, possui a melhor eficiência de processo, turbidez, molhabilidade, características de índice de solubilidade e absorção de água, com coloração atrativa provenientes da coordenada a^* e da saturação ou cromaticidade.

Figura 29 – Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a função *Desirability* em função da temperatura de entrada do spray dryer e concentração de maltodextrina na desidratação de suco de jamelão.



Fonte: Próprio autor.

A tabela 18 apresenta os resultados propostos na pela função *Desirability* com o objetivo de validar os valores preditos sob as condições ótimas de temperatura de entrada do *spray dryer* e concentração de maltodextrina no suco de jamelão.

Tabela 18 – Resultados preditos e experimentais nas condições ótimas de temperatura de entrada do *spray dryer* e concentração de maltodextrina na desidratação de suco de jamelão de terminadas pela Metodologia de Superfície de Resposta associada à função *Desirability*.

Características	Valor predito	Valor experimental	Coefficiente de variação (%)
Antocianinas (mg 3-cy-glic./100 g)	390,53	411,9	2,66
Fenólicos (mg GAE/100 g)	51,156	48,074	3,11
Eficiência	47,903	48,5	0,62
Molhabilidade (s)	90,667	92,4	0,95
WSI (%)	95,85	93,7	1,13
WAI (g/g)	1,0434	1,0392	0,20
Turbidez	0,2335	0,2179	3,46
a^*	26,61	28,4	3,25
c^*	31,23	29,0	3,70

O resultado das variáveis dependentes estudadas foi próximo aos resultados preditos pela função *Desirability*. Com isso, é relevante observar o quão útil e válido é o estudo de um planejamento experimental, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta e a função *Desirability* para otimizar as condições de produção de um suco em pó com as melhores características possíveis.

5.5.18 Morfologia do produto

A morfologia dos produtos atomizados obtidos através das condições de otimização foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e estão apresentadas nas figuras 30 e 31.

Santhalakshmy *et al.* (2015) observaram que os produtos feitos em elevadas temperaturas (155 e 160 °C) mostraram partículas esféricas com algum grau de encolhimento quando comparado aos pós produzidos a temperaturas menores, que mostraram superfícies mais lisas. Eles também supõem que devido a alta temperatura, o pó produzido a 150 °C obteve uma superfície mais lisa e isso foi associado à alta temperatura aplicada.

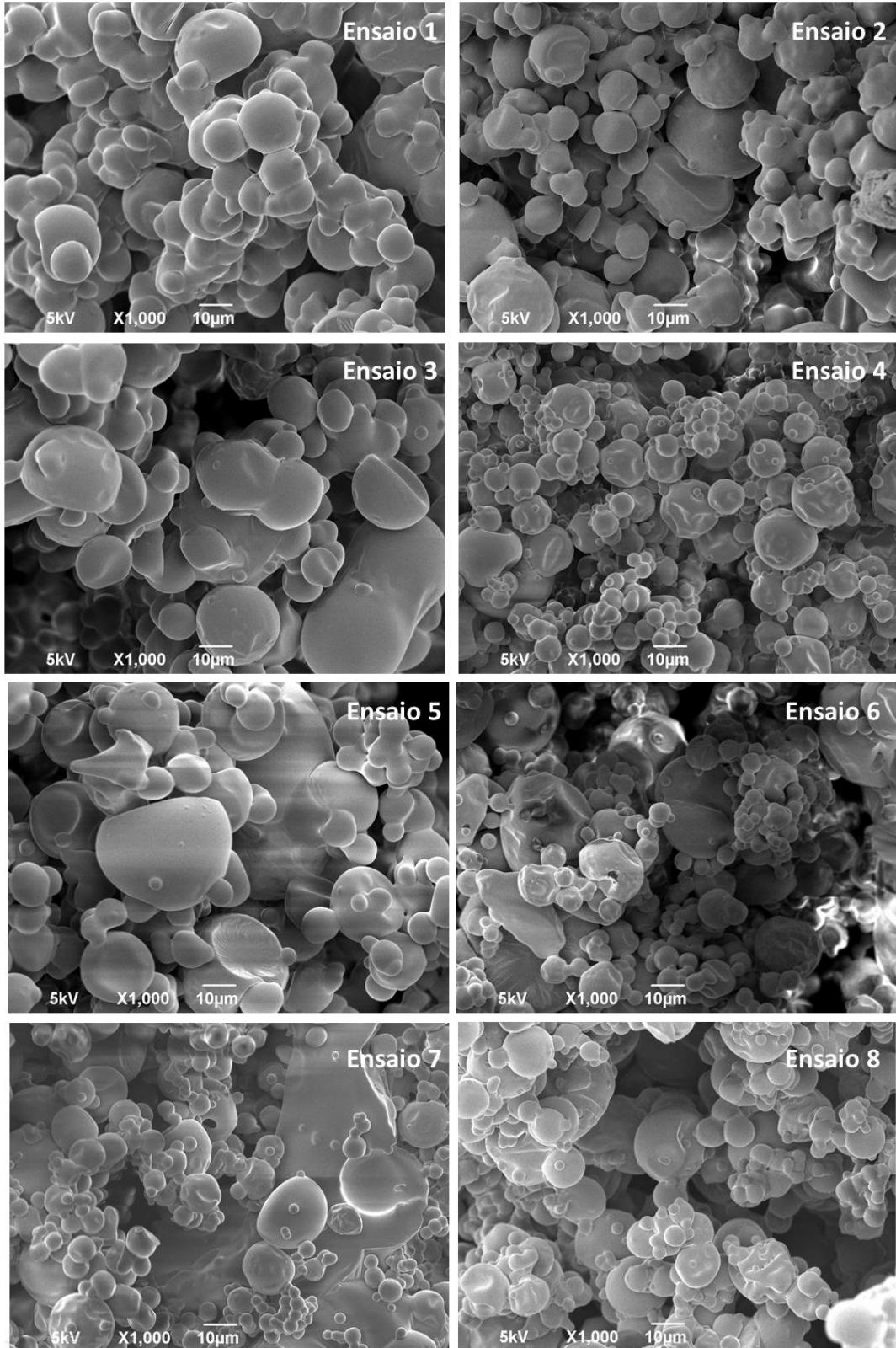
Cortés-Rojas, Souza e Oliveira (2015) relataram que dois diferentes padrões de partículas foram detectadas: partículas esféricas redondas e partículas fibrosas. Eles associaram esses padrões ao tipo de agente carreador empregado na produção de extrato de *Bidens pilosa L.* em pó e que o tamanho das partículas aumentam de acordo com a proporção de agente utilizado no processo, neste caso, eles utilizaram Aerosil® e celulose.

Souza e Oliveira (2006) reportam que o produto em pó formado apresentou um perfil de partículas esféricas característico do processo de atomização.

Rezende, Nogueira e Narain (2018) relataram que a maioria das amostras apresentou partículas esféricas, sem aglomeração, formas irregulares e poucas fissuras, embora algumas partículas apresentassem a superfície lisa, o que é característico do processo de atomização.

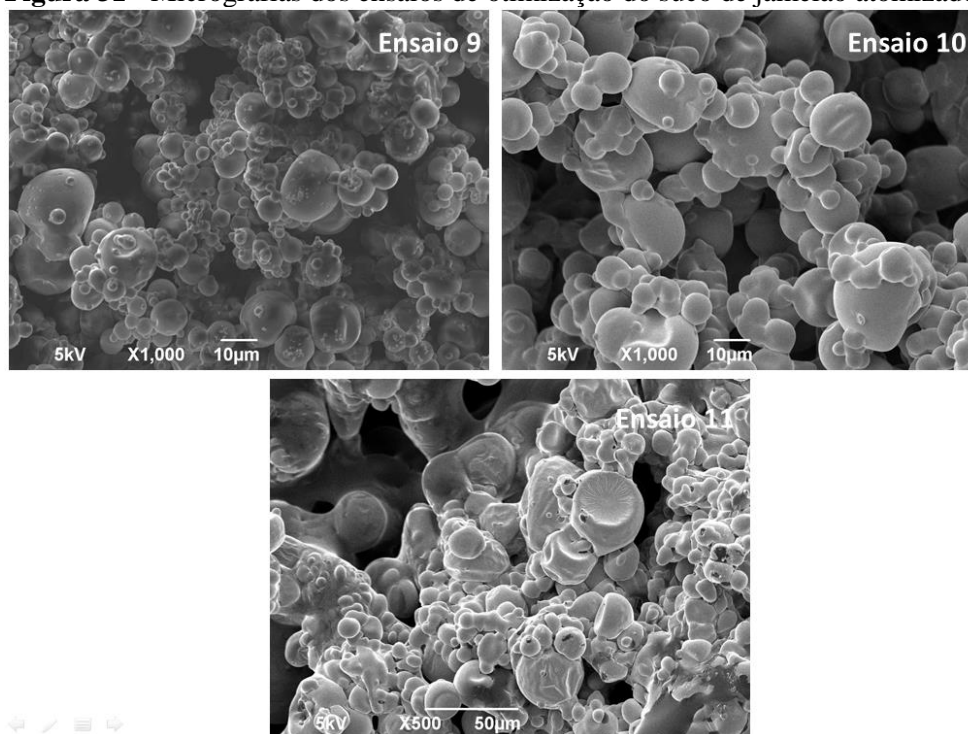
Tonon, Brabet e Hubinger (2008) reportam que foram formadas partículas esféricas de vários tamanhos. Avaliando o efeito da temperatura, perceberam que temperaturas menores formaram partículas de superfície enrugada, enquanto temperaturas maiores produziam partículas de superfície mais lisa. Eles relacionam que isso ocorre devido às diferenças na taxa de desidratação, que é maior para temperaturas mais altas, isto é, a água evapora rapidamente, formando uma superfície macia e dura.

Figura 30 – Micrografias dos ensaios de otimização do suco de jamelão atomizado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 31 - Micrografias dos ensaios de otimização do suco de jamelão atomizado.



Fonte: Próprio autor.

Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) relataram que o suco de amora-preta em pó produzido a temperatura de 180 °C apresentou um formato esférico de superfície lisa e uma maior uniformidade com relação as amostras produzidas a 160 °C. Observaram ainda, que o teor de maltodextrina influenciou no formato das partículas, pois com 15% a 160 °C, as partículas apresentaram-se murchas e enrugadas. Eles também explicam que o efeito de aglomeração reduz a exposição ao oxigênio, protegendo os pigmentos do suco contra a oxidação.

Araujo-Díaz *et al.* (2017) observaram que a morfologia formada foi esférica, porém com uma superfície irregular. Eles relacionaram a influência da atividade de água, reportando que em maiores atividades de água há um aumento na aglomeração de forma irregular devido a adsorção de água.

Santiago-Adame *et al.* (2015) observaram que as micropartículas formadas possuíam superfícies rugosas com cavidades e fissuras estruturais e que formatos irregulares podem acontecer devido a taxas de vaporização da água. Quanto maior a temperatura, mais rápida é a evaporação, formando partículas mais suaves e de superfícies regulares.

Sansone *et al.* (2011) atomizaram extrato de ervas utilizando maltodextrina e reportaram micropartículas esféricas, com superfícies mais irregulares, com muita

aglomeração. Houve a formação de fissuras em algumas partículas, o que pode ter promovido a perda de material do núcleo, desfavorável à proteção.

5.6 Compostos bioativos da polpa de jamelão e de seus produtos desidratados

O jamelão é uma fruta conhecida por ter excelentes propriedades funcionais relacionadas aos compostos bioativos presentes na sua casca, polpa e semente, além de possuir uma cor muito atrativa, relacionada a grande quantidade de antocianinas, um aroma doce e floral agradáveis e um sabor adocicado, levemente adstringente devido a alta presença de taninos.

Baliga et al. (2011) em sua revisão sobre fitoquímica, uso tradicional e farmacológico do jamelão relataram as propriedades farmacológicas validadas do jamelão encontradas em alguns estudos realizados e reporta sobre a sua atividade antibacteriana, antifúngica e antiviral, limpeza de radicais livres, efeitos antiinflamatórios, gastroprotetivos, hepatoprotetivos, atividade antidiabética, efeito hipolipemiante, efeitos cardioprotetores, efeitos antidiarreicos, atividade antifertilidade, efeitos antialérgicos, efeitos antipiréticos, efeitos neuropsicofarmacológicos, efeitos antineoplásticos, efeitos quimiopreventivos, efeitos radioprotetores, efeitos anticlastogênicos.

Considerados antioxidantes, os compostos fenólicos estão presentes em abundância nos alimentos de origem vegetal. Os efeitos nutracêuticos que esta substância possui só chamaram a atenção de pesquisadores nos últimos anos, devido a sua variedade e complexidade química estrutural (D'ARCHIVIO et al., 2007).

A Tabela 19 apresenta os resultados da concentração de compostos bioativos da polpa *in natura* de jamelão, polpa desidratada em liofilizador, em estufa a 40 °C e do suco de jamelão desidratado em *spray dryer* nas condições ótimas da função *desirability*.

O perfil de bioativos investigado neste estudo foi baseado em compostos fenólicos (ácido gálico, ácido clorogênico, ácido elágico, catequina, rutina e miricetina). Como critério de comparação, os resultados foram analisados estatisticamente através do teste de médias Tukey e, para o processo de desidratação em estufa, foi escolhida a amostra que apresentou o maior teor de fenólicos totais (JE40 – Tabela 8 – seção 5.3). Os cromatogramas da análise se encontram como forma de apêndice.

Tabela 19 – Quantificação de compostos bioativos na polpa de jamelão e em seus produtos desidratados (mg/100 g peso fresco).

Composto (mg/100g)	Amostra			
	PJ (b.s)	PJLIO	PJE40	PSD
Ác. Gálico	402,5 ^a ± 0,0013	395 ^b ± 0,006	300,4 ^c ± 0,01	162 ^d ± 0,001
Ác. Clorogênico	42,5 ^a ± 0,58	32,8 ^b ± 0,64	27,4 ^c ± 0,59	10 ^d ± 0,57
Catequina	227,5 ^a ± 0,59	155 ^b ± 0,003	186 ^c ± 0,005	52,6 ^d ± 0,611
Ác. Elágico	-	12,1 ^a ± 0,578	43,8 ^b ± 0,634	-
Rutina	-	14,3 ^a ± 0,0003	11 ^b ± 0,0001	0,9 ^c ± 0,0002
Miricetina	70,0 ^a ± 0,592	10,2 ^b ± 0,581	9,6 ^c ± 0,611	8,4 ^d ± 0,7
Total	742,5	619,4	578,2	233,9

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. (PJ (b.s) = polpa de jamelão em base seca; PJLIO = Pó de polpa de jamelão liofilizada; PJE40 = Pó de polpa de jamelão desidratado em Estufa a 40 °C; PSD = Pó de suco de jamelão desidratado em spray dryer (Condições ótimas).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) de todos os compostos estudados entre todas as amostras. O ácido gálico se destacou em todas as amostras com relação as outras substâncias. A polpa de jamelão foi a amostra que apresentou a maior concentração deste composto e observa-se que dentre os produtos desidratados, a polpa liofilizada foi a que apresentou a maior concentração, seguida da polpa desidratada em estufa a 40 °C e do suco atomizado nas condições ótimas e da polpa de jamelão fresca. A catequina foi o outro composto de destaque, sendo encontrada em maior quantidade na polpa de jamelão, seguida seguida da polpa desidratada em estufa a 40 °C, da polpa liofilizada e do pó atomizado.

Na polpa de jamelão não foram detectados o ácido elágico e a rutina, podendo estes compostos estarem diluídos, já que a mesma possui uma elevada quantidade de água em sua composição. O ácido elágico também não foi detectado no suco de jamelão desidratado em *spray dryer* nas condições ótimas, o que pode estar relacionado ao fracionamento, pois a polpa é prensada de forma a sair apenas o suco integral e, assim como na polpa, este composto pode também estar presente em pequena quantidade e até mesmo sofrer degradação através da aplicação de elevada temperatura durante o processo.

De acordo com os dados da tabela 19 é possível observar também que se somarmos as concentrações dos compostos bioativos dos produtos desidratados, a polpa liofilizada apresenta o maior valor (619,4 mg/100 g). Isto indica que o processo de liofilização faz com que esses compostos sejam mais preservados, havendo uma maior retenção, que está devidamente ligado ao processo, pois o mesmo envolve temperaturas negativas, isto é, esses

compostos não são submetidos a temperaturas de aquecimento e com isso não sofre degradação térmica. Já a desidratação em estufa ocorre em uma temperatura mais branda (40 °C), porém o tempo de no qual a polpa está exposta a esta temperatura é suficiente para iniciar o processo de degradação destes compostos.

Com relação ao processo de desidratação do suco de jamelão por *spray dryer*, deve-se levar em consideração as perdas causadas na obtenção do suco integral (prensagem e filtração da polpa), bem como do processo propriamente dito, pois o mesmo submete a matriz a elevadíssimas temperaturas, que neste caso foi de aproximadamente 155 °C, além do efeito protetor da maltodextrina. Isso incide em grandes perdas, porém este produto ainda se faz uma boa alternativa no consumo destes compostos.

A formação destes compostos nas plantas já é bem elucidado de acordo com as rotas metabólicas propostas para cada composto. Segundo Cerdá *et al.* (2004), o ácido elágico são provenientes da hidrólise de elagitaninos (ex: punicalagina, ácido egalágico, ácido elágico 3-glicosídeo) e isso pode conotar um problema significativo diante de efeitos nutracêuticos. Taninos de maior massa molecular (elagitaninos e procianidinas), não são absorvidos em seu estado nativo. Com isso, o conhecimento da estrutura molecular, composição e quantidade é importante para entender seu potencial efeito nutracêutico.

Flavan-3-óis podem ser biossintetizados através de 2 rotas de leucoantocianidinas ou antocianidinas, sendo a leucoantocianidina redutase a precursora da forma *trans* e a antocianina redutase a precursora da forma *cis*. As subunidades mais comuns são aquelas 3', 4' hidroxilação do anel B (catequina e, mais comumente, epicatequina). Nos vegetais analisados, as catequinas são os flavonóides mais abundantes com a uva preta e a maçã as demaiores teores destes compostos. Com relação ao flavonol miricetina, foram mais abundantes em bagas e groselhas. Embora a miricetina também tenha sido encontrada em pêssegos e peras, suas quantidades são baixas e a casca destes frutos contém quantidades significativas, porém a sua polpa não. Com isso, a análise deste composto feita de como o fruto é consumido detectou apenas traços (ANDERSEN E MARKHAM, 2006).

Segundo Zhang e Lin (2009) os compostos ácido elágico e ácido gálico são produtos importantes, típico da hidrólise de elagitaninos em jamelão. Eles encontraram 35,46 mg/g em ácido elágico e 19,73 mg/g em ácido gálico.

Alguns estudos apresentam concentrações bem menores desses compostos, como o estudo de Rydlewski *et al.* (2017), que estudaram compostos bioativos, através de HPLC-DAD, em diferentes partes do jamelão e encontrou na polpa 5,59 mg/100 g de ácido gálico.

Eles concluem a elevada contribuição deste composto na capacidade antioxidante. DONNO *et al.* (2016) encontraram na noz uma concentração de 3,39 mg/100 g de ácido gálico.

Bezerra (2015) encontrou na polpa de jamelão as concentrações de 94,3 mg/100 g de ácido elágico e 6,1 mg/100 g de miricetina, na polpa de jamelão desidratada por liofilização 78,9 mg/100 g de ácido elágico e 4,1 mg/100 g de miricetina e no pó atomizado 29,9 mg/100 g de ácido elágico e 2,5 mg/100 g de miricetina. Os valores do teor de ácido elágico foram maiores que os encontrados neste estudo. Já os valores de miricetina foram menores.

Tavares *et al.* (2016) estudaram a composição fenólica de partes comestíveis do jamelão através de HPLC-DAD-ESI-MS/MS e encontraram, de acordo com os cálculos dos resultados cromatográficos obtidos 569 e 235 mg/kg de em ácido gálico equivalente na casca e na polpa, respectivamente, confirmando a riqueza em compostos fenólicos que o jamelão tem, sendo uma excelente fonte de compostos bioativos.

Tavares *et al.* (2018) desidrataram suco de jamelão por desidratação em espuma em temperaturas de 50, 60 e 70 °C e reportam que os flavonóis e os taninos hidrolisáveis foram afetados, principalmente, pela oxidação e pelo tempo de exposição ao aquecimento do que pela temperatura propriamente dita. E este método de desidratação evidencia o potencial do processo na produção de um alimento rico nutricionalmente em compostos bioativos.

Singh *et al.* (2016) estudando a atividade dos polifenóis do jamelão na atividade antioxidante e antimicrobiana *in vitro*, encontraram através de HPLC-DAD a concentração de 41,4 µg/mL de ác. gálico. Eles concluem que o extrato polifenólico de jamelão, comparando-o com padrões de polifenóis, apresentou bons resultados contra microrganismos patogênicos, podendo ser usado como um conservante natural e que ele pode exibir certo efeito sinérgico aos antibióticos naturais.

Já o estudo de Balyan, Verma e Sarkar (2019) mostra o conteúdo de alguns polifenóis analisados por HPLC em extrato de folhas da árvore de jamelão com microfiltração e obtiveram conteúdos de 24,6 µg/mL de ácido gálico, 31,2 µg/mL de catequina. Eles reportam ainda que a degradação de fenólicos e flavonóides se deve a cinética em relação ao tempo de armazenamento.

Relacionando os resultados a outros estudos feitos com frutos que possuem quantidades significativas de compostos fenólicos, Elez Garofulić *et al.* (2017) desidrataram suco de cereja pelo processo de spray dryer, com diferentes temperaturas e agentes de parede, e encontraram dentre os compostos fenólicos analisados, através de HPLC-DAD, uma concentração de 2,88 mg/100 g de ác. clorogênico. Um valor abaixo do encontrado neste

estudo para qualquer uma das amostras. Eles reportam que a atomização é um processo no qual ocorre uma boa retenção dos compostos fenólicos de diferentes classes e concluem que a temperatura não afetou a retenção de polifenóis durante o processo, isso por causa da proteção que o material de parede exerceu sobre esses compostos, o que permitiu a aplicação de temperaturas até 200 °C.

Wang *et al.* (2019) encontraram em suco de morango liofilizado sem tratamento de ultra-som as concentrações de 4,05 mg/100 mL de catequina, 0,12 mg/100 mL de ácido gálico e 2,48 mg/100 mL de ácido elágico. Eles relatam que o tratamento de ultra-som melhora a extração de compostos fenólicos e outros antioxidantes e melhora ainda a qualidade do suco com as mudanças em sua microestrutura.

Rice-Evans e Miller (1996) em suco de groselha preta, as antocianinas têm apenas uma pequena participação da atividade antioxidante, juntamente com a atividade do ácido ascórbico, deve-se levar em consideração de antioxidantes, que provavelmente derivam de substâncias polifenólicas. Santiago *et al.* (2016) realizaram a desidratação de suco de romã por spray dryer e reportaram que este processo tem um bom potencial para retenção e preservação de antocianinas. Isso é um forte indicativo da preservação, também, de compostos fenólicos contra a ação oxidativa.

Como visto, estudos mostram o potencial benéfico que o jamelão tem devido aos seus altos teores de compostos bioativos, neste caso, os compostos fenólicos aqui estudados. Esses compostos são responsáveis não apenas por prevenir algumas doenças, devido a sua alta capacidade antioxidante, como também estão associados na conservação de alimentos, impedindo e/ou inibindo o crescimento microbiano.

Com o intuito de estender a vida de prateleira de diversos alimentos sem causar danos, a tecnologia de alimentos se tornou aliada na fabricação de produtos que detenham cada vez mais esses compostos responsáveis por melhorar a qualidade de vida de quem o consome. Atualmente, a procura por alimentos mais saudáveis vem se tornando mais frequente e faz com que avanços tecnológicos sejam feitos de modo a minimizar o efeito do processamento nos alimentos. Os resultados aqui apresentados a cerca dos compostos estudados mostram que o jamelão é uma ótima opção para a ingestão destas substâncias, bem como os seus produtos. É possível notar que a polpa liofilizada foi responsável por reter maiores quantidades de fenólicos, seguida da polpa desidratada em estufa 40 °C e do suco atomizado em condições ótimas definidas pela *Desirability* (seção 5.5.17).

5.7 Composição volátil da polpa de jmelão e de seus produtos desidratados

O jmelão é uma fruta exótica com propriedades organolépticas marcantes e os compostos responsáveis por essas características são formados principalmente durante o processo de amadurecimento; com isso, substâncias de impacto na cor, no sabor e no aroma deste fruto são produzidos através de diversas reações metabólicas.

Os compostos voláteis, de uma forma geral, são substâncias de baixo peso molecular que darão características odoríferas, as quais são responsáveis, por exemplo, pela formação do aroma e sabor dos alimentos. Há na natureza milhares de substâncias capazes de proporcionar o aroma e o sabor específico para cada alimento. Fennema (2010) reporta classes específicas de compostos responsáveis pelo *flavor* peculiar para cada tipo de alimento como os voláteis sulfurados em *Allium sp.*, voláteis metóxi alquil pirazina em vegetais, voláteis originados da degradação enzimática de ácidos graxos, voláteis de aminoácidos de cadeia ramificada, terpenoides voláteis, voláteis ocasionados por reações ou processos, voláteis induzidos termicamente, provenientes de clivagens oxidativas dos carotenóides.

O grande desafio para o estudo da composição volátil em alimentos é a identificação de compostos marcadores de aroma de determinado alimento. Isso geraria boas aplicações na indústria de alimentos, como por exemplo, substituição de aromas artificiais por naturais, mascarar ou neutralizar sabores indesejáveis em produtos, realçar o aroma e o sabor de alimentos processados. Há uma forte tendência das indústrias alimentícias na formulação de produtos nutracêuticos, que cada vez mais vêm ganhado espaço no mercado e o sabor se torna um aliado importante nesse seguimento, pois tornaria o produto mais atrativo.

A tabela 20 mostra os valores de área em porcentagem para cada classe de compostos encontrados na polpa de jmelão e em seus produtos desidratados.

O critério de escolha para as amostras, tanto as desidratadas em estufas (40, 50 e 60 °C) como os ensaios de otimização da desidratação do suco de jmelão em *spray dryer*, foi verificar a qual amostra mais se assemelhava à polpa de jmelão em termos de valores de porcentagem de área de terpenos, já que essa classe é a majoritária na amostra da polpa *in natura*. Este método de escolha foi definido com o objetivo de escolher a amostra processada que sofreu as menores mudanças durante o processamento térmico, aproximando cada vez mais da polpa.

Tabela 20 – Porcentagem das áreas das classes químicas encontradas na análise de compostos voláteis da polpa de jamelão e seus produtos desidratados por diferentes métodos.

Classes químicas	Área (%)			
	PJ	PJLIO	PJE40	PSD1
Álcool	0,30 ^a ± 0,012	0,36 ^a ± 0,023	-	19,89 ^b ± 0,3
Aldeído	0,42 ^a ± 0,012	0,44 ^a ± 0,012	0,24 ^a ± 0,017	19,53 ^b ± 0,15
Éster	1,14 ^a ± 0,015	0,4 ^b ± 0,1	0,22 ^b ± 0,015	6,01 ^c ± 0,02
Cetonas	-	0,14 ^a ± 0,01	-	0,40 ^a ± 0,03
Furanos	-	-	-	0,45 ± 0,013
Terpenos	82,13 ^a ± 0,09	73,56 ^b ± 0,24	88,14 ^c ± 0,17	73,87 ^b ± 0,29
Hidrocarbonetos	7,58 ^a ± 0,18	13,77 ^b ± 0,13	2,89 ^c ± 0,22	0,04 ^d ± 0,03
Não identificados	8,43 ^a ± 0,07	11,32 ^b ± 0,23	11,06 ^b ± 0,04	19,40 ^c ± 0,255

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. (PJ = polpa de jamelão em base seca; PJLIO = Pó de polpa de jamelão liofilizada; PJE40 = Pó de polpa de jamelão desidratado em estufa a 40 °C; PSD1 = Pó de suco de jamelão desidratado em *spray dryer* (Condições do ensaio 1).

De acordo com os resultados obtidos, não foi possível detectar a presença de cetonas e compostos heterocíclicos ou furanos na polpa de jamelão. Este último não seria esperado, pois são compostos induzidos termicamente (FENNEMA, 2010). Na polpa desidratada em liofilizador e estufa a 40 °C também não houve a presença de furanos.

Não foram detectados compostos da classe dos álcoois, cetonas e heterocíclicos na polpa desidratada em estufa a 40 °C. Uma das hipóteses seria a temperatura branda do processo, na qual não ocorreu a formação desses compostos; outra seria a de que por estarem em baixas concentrações, não puderam ser adsorvidos na fibra; outra hipótese seria a ocorrência de um leve aumento do pH e por serem reativos nesta situação, podem ter sofrido polimerização com compostos que contêm grupos amina e formado os pigmentos escuros, melanoidinas (FENNEMA, 2010). Já as outras classes podem ter sido volatilizadas durante o processo.

O suco desidratado em *spray dryer* apresentou todas as classes de compostos encontradas na polpa *in natura* e houve também a formação de compostos heterocíclicos, mais precisamente os furanos. Estes compostos são conhecidos por serem formados quando há uma indução térmica durante o processamento de alimentos e isso ocorre na presença de açúcares redutores, formando pigmentos marrons e sabores característicos de alimentos. Os perfis cromatográficos da polpa *in natura*, da polpa liofilizada e da desidratada em estufa a 40 °C mostraram ser similares, enquanto o perfil cromatográfico do suco desidratado em *spray dryer* apresentou algumas mudanças. Os compostos voláteis identificados, segundo a comparação dos espectros, foram distribuídos em diversas classes químicas. Os cromatogramas e a tabela contendo os compostos, as correspondentes classes químicas, os

índices de retenção e a área do pico de cada composto se encontram como forma de apêndices.

A polpa *in natura* apresentou 2 álcoois, 1 aldeído, 8 ésteres, 38 terpenos e 4 hidrocarbonetos. Os compostos identificados com as maiores áreas foram: β -pineno (3,34%), D-limoneno (2,4%), trans- β -ocimeno (27,99%), β -ocimeno (16,54%), cariofileno (14,89%), humuleno (8,61%), α -terpineol (1,89%), γ -cadineno (1,46%) e (1R)-2,6,6-trimetilbicyclo[3.1.1]hept-2-eno (6,89%).

A polpa liofilizada apresentou 2 álcoois, 1 aldeído, 4 ésteres, 2 cetonas, 22 terpenos e 3 hidrocarbonetos. Os compostos identificados com as maiores áreas foram: α -pineno (6,62%), β -pineno (3,5%), D-Limoneno (2,26%), trans- β -ocimeno (20,45%), cariofileno (25,14%), humuleno (12,77%) e 1,3,6-Octatrieno-3,7-dimetil (13,38%).

A polpa desidratada em estufa apresentou 4 aldeídos, 2 ésteres, 27 terpenos e 4 hidrocarbonetos. Os compostos identificados com as maiores áreas foram: β -pineno (1,06%), D-Limoneno (1,11%), trans- β -ocimeno (8,21%), β -ocimeno (5,25%), cariofileno (44,48%), (+)-Ledeno (1,38%), β -Chamigrene (24,71%), e (1R)-2,6,6-Trimetilbicyclo[3.1.1]hept-2-eno (2,32%).

O suco de jamelão desidratado em *spray dryer* apresentou 5 álcoois, 8 aldeídos, 6 ésteres, 1 cetona, 3 furanos, 25 terpenos e 1 hidrocarboneto. Os compostos identificados com as maiores áreas foram: 1-hexanol (8,99%), 3-hexen-1-ol (2,01%), 4-hexen-1-ol (8,54%), 2-hexenal (9,59%), nonanal (3,9%), ácido octanóico, etil éster (2,3%), formato de linalil (2,72%), cariofileno (36,94%), humuleno (19,81%) e α -Terpineol (6,29%).

É possível notar que há uma certa semelhança entre os compostos de maiores áreas da polpa *in natura*, da polpa liofilizada e da polpa desidratada em estufa. No caso do suco desidratado em *spray dryer* fica evidente a mudança de perfil de compostos majoritários. E isso pode estar relacionado ao processo como um todo, isto é, desde a extração do suco, adição de maltodextrina e aplicação de alta temperatura (140 °C), que por mais que o processo seja instantâneo, o produto formado fica por um certo período dentro da câmara de desidratação exposto a uma temperatura média de 90 °C, onde desencadeará reações que promoverão o escurecimento não enzimático (reação de Maillard e caramelização) precursores também de formação de aromas e sabores.

Mehta *et al.* (2018) estudaram a composição volátil do jamelão em três estádios de maturação e relatam que encontraram em estudo as seguintes classes químicas: álcool, aldeído, éster, ácido carboxílico, terpenos (monoterpenos de hidrocarboneto e álcool,

sesquiterpenos de hidrocarboneto e álcool) e outros compostos sem classificação química. Eles reportam que identificaram 70 compostos no jamelão maduro, dos quais 5 álcoois, 6 aldeídos, 10 ésteres, 44 terpenos e 5 outras e os compostos que apresentaram as maiores áreas foram: *trans*- β -ocimeno (31.68%), β -ocimeno (22.43%), cariofileno (13.92%), humuleno (6.66%), *D*- α -pineno (4.44%), *L*- β -pineno (4.27%), β -pineno (3.12%), α -terpineol (1.02%), and *D*-limoneno (1.38%). Deve-se levar em consideração as condições da análise, na qual ocorreu com a fibra DVB/CAR/PDMS, porém em coluna apolar.

Craveiro *et al.* (1983) estudando o óleo essencial de diferentes partes da planta do jamelão, relataram que mono e sesquiterpenos de hidrocarbonetos são muito comuns em óleos essenciais. Eles conseguiram identificar, em óleo essencial da fruta do jamelão, os seguintes compostos: α -Pineno (30,89%), β -pineno (10,81%), *cis*-ocimeno (18,5%), *trans*-ocimeno (12,1%), cariofileno (0,4%) e humuleno (2,3%).

Vijayanand, Jagan Mohan Rao e Narasimham (2001) estudaram os componentes voláteis do jamelão e identificaram 29 compostos dos quais os que apresentaram maiores porcentagens de área foram: α -Pineno (4,56%), β -pineno (4,1%), β -Mirceno (6,99%), *cis*-ocimeno (29,95%), *trans*-ocimeno (23,03%), α -terpineol (6,46%), cariofileno (4,22%), α -humuleno (4,09%).

Godoy *et al.* (2013) reportam em seu estudo de identificação dos compostos voláteis do jamelão que quase todos os compostos majoritários são da classe dos monoterpenos, onde o composto majoritário foi o β -felandreno, seguido do canfeno, β -pineno e o limoneno. Foram identificados também os sesquiterpenos β -cariofileno e o α -humuleno. Eles relatam que o perfil de compostos voláteis em frutas é formado por ésteres alifáticos, cíclicos e lactonas, podendo os compostos responsáveis pelo perfil volátil do jamelão estarem associados ao seu aroma suave e peculiar.

Avellone *et al.* (2018) com o objetivo de avaliar se o processamento por *spray dryer* afetaria os componentes importantes do aroma de vinhos tinto, perceberam que houve uma grande redução nos compostos ativos odoríferos de vinhos microencapsulados após a reconstituição do produto em água e etanol, porém isso abre portas ao desenvolvimento de produtos que reduziram custos como transporte e armazenamento, além de ser seguro microbiologicamente e ter sua vida de prateleira aumentada.

Javed *et al.* (2019) estudaram a mudança da composição volátil pós-armazenamento de uvas passas desidratadas ao sol e através de ar quente natural e identificaram compostos derivados da oxidação de ácidos gráxos (álcoois, aldeídos, ésteres, ácidos carboxílicos e

cetonas), glicosidicamente ligados (estireno, linalool, o-cimeno, terpinoleno), compostos derivados de carotenóides (β -ionona, sulcatona, sulcatol), compostos derivados da reação de Maillard (cetonas, pirazinas, furanos, aldeídos). Relatam ainda que as concentrações de voláteis em sua forma livre e ligada produzidas pela oxidação de ácidos graxos insaturados e pela reação de Maillard foram maiores nas passas desidratadas ao sol do que as desidratadas pelo ar quente. Eles relacionam esse resultado pelo fato da intensidade da temperatura e da luz ser maior no processo solar.

Leite Neta *et al.* (2018) reportaram em estudo sobre o efeito do processo de desidratação por *spray dryer* da polpa de graviola que os valores de odor ativo da polpa tiveram uma redução após a desidratação. Porém, o pó reidratado manteve os compostos voláteis chave da graviola, preservando seu aroma característico.

6 CONCLUSÕES

- Ótimo rendimento em polpa (75%), boas características físico-químicas, cor atrativa, boas concentrações de compostos bioativos, sendo considerada uma ótima fonte para a ingestão destas substâncias.
- O pó liofilizado teve boas características físico-químicas para um produto desidratado, boa retenção de compostos bioativos, sendo um processo no qual preserva as características químicas da polpa de jamelão, com perdas insignificantes. Foi considerado um produto muito higroscópico, redobrando assim a atenção no armazenamento. Como pode ser visto em sua micrografia, há uma grande quantidade de poros e partículas irregulares.
- Os pós produzidos em estufa também tiveram boas características físico-químicas, a depender da temperatura houve uma mudança de coloração. Houve uma queda na retenção dos compostos bioativos, mostrando assim o efeito deletério da temperatura, sendo o pó produzido a 40 °C que apresentou os melhores resultados para estas substâncias. Os produtos foram classificados em levemente higroscópicos e higroscópicos. E a micrografia dos pós mostrou que as temperaturas extremas produziram partículas menores, desuniformes e de superfície mais sólida com menos poros.
- Houve um bom rendimento de suco (~68%).
- Os pós produzidos em *spray dryer* tiveram boas características físico-químicas.

- Na otimização do processo apenas a eficiência da desidratação, coordenada a^* e a cromaticidade (C^*), turbidez, densidade da partícula, molhabilidade, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, antocianinas e fenólicos totais tiveram influência das variáveis independentes.
- A função *Desirability* predisse aproximadamente uma concentração de 17,3% de maltodextrina a uma temperatura de entrada de quase 155 °C. Os valores preditos sobre esta função, os resultados reais apresentaram baixos valores de coeficientes de variação, indicando que este modelo é válido dentro da faixa de concentração de maltodextrina e temperatura de entrada estudadas.
- O perfil de partículas formadas durante o processo de *spray dryer* foi com superfícies lisas, enrugadas, irregulares, esféricas com algum nível de aglomeração.
- Os resultados mostraram que houve uma boa retenção de compostos bioativos analisados por HPLC-DAD, apesar das diferenças estatísticas. Destacando-se o ácido gálico e a catequina em todas as amostras. Também foram quantificados o ácido elágico, ácido clorogênico, rutina e miricetina.
- Portanto, a polpa ou os seus produtos desidratados são uma boa fonte e uma boa opção para a ingestão destes compostos que estão relacionados na prevenção da saúde e da qualidade de vida.
- A composição volátil da polpa de jamelão e dos seus produtos desidratados são majoritariamente de terpenos. Alguns compostos tais como o D-limoneno, copaeno, cariofileno, humuleno, γ -muuroleno e α -terpineol foram encontrados tanto na polpa quanto em seus produtos desidratados.
- Apenas o pó obtido em *spray dryer* apresentou compostos furanos, indicando o processamento térmico.

Pelo exposto e pelos resultados obtidos confirma-se que os objetivos geral e específicos foram cumpridos. Fica evidente que a polpa é uma ótima alternativa para a ingestão de compostos bioativos e possui um aroma exótico e suave característico da própria fruta devido à presença principalmente dos terpenóides. O pó da polpa liofilizada é um produto alternativo, com elevada vida de prateleira, que conseguiu reter boas concentrações dos compostos bioativos e manter os principais compostos voláteis presentes na polpa *in natura*. Os resultados da polpa desidratada em estufa mostraram que menores temperaturas levaram a uma maior preservação dos compostos bioativos e voláteis provando assim o efeito deletério do processamento, pois além do uso de temperaturas altas, há o efeito da

incorporação de ar, acelerando ainda mais o processo oxidativo. Já os ensaios de otimização do suco de jamelão desidratado em *spray dryer* mostraram que apenas algumas variáveis dependentes sofreram influência da concentração de maltodextrina e/ou da temperatura de entrada, no qual o ensaio otimizado mostrou uma boa retenção de compostos bioativos, visto que, deve-se considerar as perdas desde a obtenção do suco até o efeito degradativo das variáveis do processo, como a temperatura de entrada elevada. Com relação ao perfil volátil, houve a formação de compostos característicos de indução térmica, oxidação de ácidos graxos insaturados e oxidação de carotenóides. Em análise geral, os produtos desidratados obtidos da polpa de jamelão por diferentes métodos de desidratação são boas fontes de compostos bioativos, bem como conseguiram preservar compostos voláteis presentes na polpa, aproximando assim do seu aroma e sabor característico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEM, G.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**. v. 40, p. 1107-1121, 2007.

AKKAYA, Z.; SCHRÖDER, J.; TAVMAN, S.; KUMCUOGLU, S.; SCHUCHMANN, H. P.; GAUKEL, V. Effects Of Spray Drying On Physical Properties, Total Phenolic Content And Antioxidant Activity Of Carob Molasses. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 4, 2012.

ALAM , M. D. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M.D. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 21, p. 143–152, 2013.

ALBERTON, J. R.; RIBEIRO, A.; SACRAMENTO, L. V. S.; FRANCO, S. L. Caracterização farmacognóstica do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, João Pessoa, v. 11, n. 1, p. 37 - 50, 2001.

ANDERSEN, M. O.; MARKHAM, K. R. **Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications**. New York: Taylor & Francis, 2006.

ANDERSON, R. . Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 265–269, 1982.

ANTOLOVICH, M., PRENZLER, P. D., PATSALIDES, E., McDONALD, S., ROBARDS, K. Methods for testing antioxidant activity. **The Analyst**, v. 127, p. 183-198, 2002.

AQIL, F.; GUPTA, A.; MUNAGALA, R.; JEYABALAN, J.; KAUSAR, H.; SHARMA, R. J.; SINGH, I. P.; GUPTA, R. C. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Anthocyanin/Ellagitannin-Enriched Extracts From *Syzygium cumini* L. (Jamun, the Indian Blackberry). **Jornal Nutricion and Cancer**, v. 64, ed. 3, p. 428 – 38, 2012.

AQIL, F.; MUNAGALA, R.; JEYABALAN, J.; JOSHI, T.; GUPTA, R. C.; SINGH, I. P. **The**

Indian Blackberry (Jamun), Antioxidant Capacity, and Cancer Protection. [s.l.] Elsevier, 2014.

ARAL, S.; BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210, p. 577–584, 2016.

ARAÚJO, A. L. M. **Polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) desidratada por liofilização e desidratação em leito de jorro: caracterização físico-química e funcional e impacto da desidratação.** Natal, RN: UFRN. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

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.

AVELLONE, G.; SALVO, A.; COSTA, R.; SAIJA, E.; BONGIORNO, D.; STEFANO, V. DI; CALABRESE, G.; DUGO, G. Investigation on the influence of spray-drying technology on the quality of Sicilian Nero d'Avola wines. **Food Chemistry**, v. 240, n. July 2017, p. 222–230, 2018.

AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P.; IGNACIMUTHU, S. *Syzygium cumini* (L.) Skeels., a novel therapeutic agent for diabetes: folk medicinal and pharmacological evidences. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 21, p. 232 - 243, 2013.

AZNAR, M.; ARROYO, T. Analysis of wine volatile profile by purge-and-trap-gas chromatography-mass spectrometry. Application to the analysis of red and white wines from different Spanish regions. **Journal of Chromatography A**, v. 1165, n. 1–2, p. 151–157, 2007.

BAKAR, S. C. E. J.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZAHAN, N. Spraydrying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1332-1342, 2013.

BALIGA, M., BHAT, H., BALIGA, R., WILSON, R., & PALATY, P. (2011). Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): a review. **Food Research International**, v. 44, p. 1776 - 1789, 2011.

BALYAN, U.; VERMA, S. P.; SARKAR, B. Phenolic compounds from *Syzygium cumini* (L.) Skeels leaves: Extraction and membrane purification. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, n. November 2018, p. 1–16, 2019.

BALTUSSEN, E., DAVID, F., SANDRA, P., JANSSEN, H. G., & CRAMERS, C. Automated sorptive extraction-thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry analysis: Determination of phenols in water samples. **Journal of Micro-column Separations**, v. 11, p. 471 – 474, 1999.

BANERJEE, A.; DASGUPTA, N.; DE, B. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. **Food Chemistry**, v. 90, p. 727 - 733, 2005;

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG, 2010.

BARRA, A.; BALDOVINI, N.; LOISEAU, A. M.; ALBINO, L.; LESECQ, C.; LIZZANI CUVELIER, L. Chemical analysis of French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation/ extraction (SDE). **Food Chemistry**, v. 101, p. 1279 – 1284, 2007.

BARROS, R. G. C.; ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International**, v. 102, n. July, p. 84–92, 2017.

BARZEGAR, A. Antioxidant activity of polyphenolic myricetin in vitro cell- free and cell-based systems. **Molecular biology research communications**, v. 5, n. 2, p. 87–95, 2016.

BENHERLAL, P.S. ; ARUMUGHAN, C.. Chemical composition and in vitro antioxidant studies on *Syzygium cumini* fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture** , v.87, n.14, p. 2560-2569, 2007.

BENNETT, L.; JEGASOTHY, H.; KONCZAK, I.; FRANK, D.; SUDHARMARAJAN, S.; CLINGELEFFER, P. Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. **Journal of Functional Foods**, v. 3, p. 115 - 124, 2011.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.

BEZERRA, M. F. **Polpa de jambolão (*Eugenia jambolana* Lam.) fresca e desidratada: características físico-químicas, bioativas e funcionais, efeitos biológicos em *Caenorhabditis elegans* e uso para produção de frozen yogurt caprino probiótico**. Natal, RN: UFRN. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do RioGrande do Norte, Natal, 2015.

BIEGELMEYER, R., ANDRADE, J. M. M., ABOY, A. L., APEL, M. A., DRESCH, R. R., MARIN, R., RASEIRA, M. C. B., & HENRIQUES, A. T. Comparative analysis of the chemical composition and antioxidant activity of red (*Psidium cattleianum*) and yellow (*Psidium cattleianum* var. *lucidum*) strawberry guava fruit. **Journal of Food Science**, v.76, p.991-996, 2011.

BIRCHAL, V. S. **Modeling and simulating of milk drying in spray dryers**, Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, MG, 2003.

BOBBIO, F. O.; SCAMPARINI, A. R. P. Carbohydrates, organic acids na anthocyanin of *Eugenia jambolana* Lamark. *Industrie Alimentari*, v. 21, n. 04, p. 296-298, 1982;

BOROSKI, M.; VISENTAINER, J. V.; COTTICA, S. M.; MORAIS, D. M. de. **Antioxidantes princípios e métodos analíticos**. Curitiba: Appris, 2015. 1ªed.

BRANCO, I. G.; MORAES, I. C. F.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; SANTOS, C. DOS; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J. E. DE; HAMINIUK, C. W. I. Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 225–230, 2016.

BRANDÃO, T. S. O.; SENA, A. R.; TESHIMA, E.; DAVID, J. M.; ASSIS, S.A. Alterações enzimáticas, compostos fenólicos, taninos e vitamina C em diferentes estádios de maturação do fruto Jamelão (*Syzygium cumini Lamark*). **Ciênc. Tecnol. Aliment**, Campinas, v. 31, n.4, p. 849-855, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005.

BRITO, E. S.; ARAUJO, M. C. P.; ALVES, R. E.; CARKEET, C.; CLEVIDENCE, B. A.; NOVOTNY, J. A. Anthocyanins present in selected tropical fruits: acerola, jambolao, jussara, and guajiru. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 9389 – 9394, 2007.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments, *J. Food Sci.* 65, 1248–1252, 2000;

CALVA-ESTRADA, S. J.; MENDOZA, M. R.; GARCÍA, O.; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, V. M.; JIMÉNEZ, M. Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization. **Powder Technology**, v. 323, p. 416–423, 2018.

CAMPOS, A. M., LISSI, E. A. Kinetics of the reaction between 2,2'-azinobis (3ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) derived radical cations and phenols. **International Journal of Chemical Kinetics**, p. 219–224. 1997.

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**, v. 111, n. 1, p.

135–148, 2012.

CATELAM, K. T. **Estudo Da Influência Da Proporção De Um “ Mix ” Leite / Polpa De Maracujá Na Produção De Pó Obtido Por Três Diferentes Métodos De Desidratação.** 2010. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de São José do Rio Preto. p. 119, 2010.

CERDA, B., ESPIN, J. C., PARRA, S., MARTINEZ, P., TOMAS-BARBERAN, F. A. The potent in vitro antioxidant ellagitannins from pomegranate juice are metabolised into bioavailable but poor antioxidant hydroxy-6H- dibenzopyran-6-one derivatives by the colonic microflora of healthy humans. **Eur. J. Nutr.** 43: 205-220, 2004.

CHAGAS, V. T.; FRANÇA, L. M.; MALIK, S.; PAES, A. M. A. *Syzygium cumini* (L.) skeels: a prominent source of bioactive molecules against cardiometabolic diseases. **Pharmacology**, v. 6, p. 259, 2015.

CHANDRASEKAR, D., MADHUSUDHANA, K., RAMAKRISHNA, S., DIWAN, P. V. Determination of DPPH free radical scavenging activity by reversed-phase HPLC: A sensitive screening method for polyherbal formulations. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.** v. 40, p. 460-464. 2006.

CHANDRASEKARAN, M.; VENKATESALU, V. Antibacterial and antifungal activity of *Syzygium jambolanum* seeds. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 91, n. 01, p. 105-108, 2004;

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 21, p. 113–132, 2016.

CHEGINI, G. R., GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying condition on physical properties of orange juice powder, **Dry. Technol.** v. 23, p. 657–668, 2005.

CHENG V. J., BEKHIT A. E.-D. A., MCCONNELL M., MROS S., ZHAO J. Effect of extraction solvent, waste fraction and grape variety on the antimicrobial and antioxidant activities of extracts from wine residue from cool climate. **Food Chemistry**, v.134, n.1, p.474–482, 2012.

CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. (2005). **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª Ed. Lavras, UFLA.

CHONG, S. Y., WONG, C. W. Production of spraydried Sapodilla (*Manilkara zapota*) powder from enzyme-aided liquefied puree. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 2604-2611, 2015.

COLESTINO, S. M. C. Princípios de Desidratação de Alimentos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, n. 2176–5081, p. 50, 2010.

CONTARINI, G., POVOLO, M. Volatile fraction of milk: comparison between purg and trap and solid phase microextraction techniques. **J. Agric. Food. Chem**, v. 45, 7350-7355, 2002.

CONTINI, M., ESTI, M. Effect of the matrix volatile composition in the headspace solid-phase microextraction analysis of extra virgin olive oil. **Food Chemistry**, v. 94, p. 143-150, 2006.

CORREIA, R. T. P.; BORGES, K.C.; MEDEIROS, M. F.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and phenolic-linked functionality of powdered tropical fruit residues. **Food Science and Technology**, v. 18, n. 6, p. 539-547, 2012.

CORREIA, R.; GRACE, M. H.; ESPOSITO, D.; LILA, M. A. Wild blueberry polyphenol-protein food ingredients produced by three drying methods: Comparative physico-chemical properties, phytochemical content, and stability during storage. **Food Chemistry**, v. 235, p. 76–85, 2017.

CORTÉS-ROJAS, D. F.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 93, n. July, p. 366–376, 2015.

CRAVEIRO, A. A., ANDRADE, C. H. S., MATOS, F. J. A., ALENCAR, J. W., MACHADO, M. I. L. Essential oil of *Eugenia jambolana*. **Journal of Natural Products**, v. 46, p. 591-592, 1983.

D'ARCHIVIO, M.; FILESI, C.; BENEDETTO, R. DI; GARGIULO, R.; GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Polyphenols , dietary sources and bioavailability . *Ann Ist Super Sanita* Polyphenols , dietary sources and bioavailability. **Ann Ist Super Sanita**, v. 43, n. 4, p. 348–361, 2007.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 1980.

DEVALARAJA, S.; JAIN, S.; YADAV, H. Exotic fruits as therapeutic complements for diabetes, obesity and metabolic syndrome. **Food Research International**, v. 44, p. 1856 – 1865, 2011.

DJERIDANE, A., HAMDI, A., BENSANIA, W., CHEIFA, K., LAKHDARI, I., & YOUSFI, M. The in vitro evaluation of antioxidative activity, α -glucosidase and α -amylase enzyme 54 inhibitory of natural phenolic extracts. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 2013.

DONG, W.; HU, R.; CHU, Z.; ZHAO, J.; TAN, L. Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. **Food Chemistry**, v. 234, p. 121–130, 2017.

DONNO, D.; CANANNA, M.; BECCARO, G. L.; MELLANO, M. G.; MARIONI, D. T.; BOUNOUS, A. K. G. Currants and strawberries as bioactive compound sources: determination of antioxidant profiles with HPLC-DAD/MS system. **Journal of Applied Botany and Food Quality**. v. 86, p. 1–10, 2013.

DONNO, D., BOGGIA, R., ZUNIN, P., CERUTTI, A. K., GUIDO, M., MELLANO, M. G., PRGOMET, Z., BECCARO, G. L. Phytochemical fingerprint and chemometrics for natural food preparation pattern recognition: an innovative technique in food supplement quality control. **Journal of Food Science and Technology**, vol.53, n.2, p.1071–1083, 2016.

EASTMAN, J.E.; MOORE, C.O. Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition. U.S. Patent No. 4, 465-702, 1984;

ELEZ GAROFULIĆ, I.; ZORIĆ, Z.; PEDISIĆ, S.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V. Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. **LWT - Food Science and Technology**, v. 83, p. 110–117, 2017.

EMAM-DJOMEH, Z.; SEDDIGHI, A.; ASKARI, G. Influence of Process Conditions on the Functional Properties of Spray-Dried Seedless Black Barberry (*Berberis vulgaris*) Juice Powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 3, p. 1–11, 2017.

FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolao (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, 126, 1571–1578, 2011.

FARÍAS-CERVANTES, V. S.; CHÁVEZ-RODRÍGUEZ, A.; DELGADO-LICON, E.; AGUILAR, J.; MEDRANO-ROLDAN, H.; ANDRADE-GONZÁLEZ, I. Effect of Spray Drying of Agave Fructans, Nopal Mucilage and Aloe Vera Juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, 2017.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; KALBASI ASHTARI, A.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 667–675, 2012.

FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, p.135–148, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos – Princípios e prática**, 2006.

FELLOWS, P. J. Freeze drying and freeze concentration. **Food Processing Technology**, p. 687–699, 2009.

FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. R.; DAMODARAN, S. In: **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 4 ed., cap. 12, 2010, p. 468 - 588.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, p. 171–178, 2013.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. DE. Desidratação por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 157–165, 2012.

FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR, A. S. Industrial spray drying systems. In: **Handbook of Industrial Drying**. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 4 ed., cap. 9, 1995, p. 191.

FRAGA, C. G.; OTEIZA, P. I.; GALLEANO, M. In vitro measurements and interpretation of total antioxidant capacity. **Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects**, v. 1840, n. 2, p. 931–934, 2014.

FREDES, A.; SALES, C.; BARREDA, M.; VALCERCEL, M.; ROSELLÓ, S.; BELTRÁN, J. Quantification of prominent volatile compounds responsible for muskmelon and watermelon aroma by purge and trap extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry determination. **Food Chemistry**, v. 190, p. 689–700, 2016.

FUCHS, M., TURCHIULI, C.; BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT-MAILLARD, M. N. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 27–35, 2006.

GARRUTI, D. S. **Composição de Voláteis e Qualidade de Aroma do Vinho de Caju**. 2001. 218 p. Tese de Doutorado em Ciência de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2001.

GEA Niro Research Laboratory. Analytical methods dry milk products. GEA Niro analytical methods A14 a. Soeborg, Denmark. 2003. 103 p.

GIUSTI, M., WROLSTAD, R.E., 2001. **Characterization and measurement of Anthocyanins by UV-visible spectroscopy**. In: Wrolstad, R.E. (Ed.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, New York.

GODOY, R. L. O.; PORTE, A.; GOUVÊA, A. C. M. S.; BORGUINI, R. G.; SANTIAGO, M. C. P. A.; PACHECO, S.; TORQUILHO, H. S.; PORTE, L. H. M. Identification of volatile compounds from jamelão (*syzygium cumini*). In: VI Congresso Latinoamericano e XII Congresso Brasileiro de Higienistas de Alimentos, 2013, Gramado. **Anais**. Gramado: HIGIENISTAS/RS, 2013, p. 1569 – 1573.

GOMEZ, H.; AGUILERA, J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch, *J. Food Sci.* v. 49, p. 40–43, 1984;

GOULA, A.M. and ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Sci. Emerging Technol.** v. 11, p. 342–351, 2010.

GUENTHER, E. *The essential oils*. Van Nostrand: New York, v. 1 – 6, 1948.

GUTIÉRREZ-QUEQUEZANA, L.; VUORINEN, A. L.; KALLIO, H.; YANG, B. Improved analysis of anthocyanins and vitamin C in blue-purple potato cultivars. **Food Chemistry**, v. 242, p. 217–224, 2018.

HAHNE, L.C.C. **Experimental studies about the particle drying and agglomerating in vibro-fluidized beds for milk powder production**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, MG, 2001.

HATHCOCK, J. Dietary supplements: how they are used and regulated. **Journal Nutrition**, v. 131, p. 1114 – 1117, 2001.

HERRERO, M.; PLAZA, M.; CIFUENTES, A.; IBANEZ, E. Extraction Techniques for the determination of phenolic compounds in food. **Comprehensive Sampling and Sample Preparation**, v. 4, p. 159–180, 2012.

HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of Food Powders THEORETICAL ASPECTS OF WETTING AND DISPERSING OF POWDERS. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 223–235, 2003.

HUANG, M. T.; FERRARO, T. Phenolic compounds in food and cancer prevention. In *Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health II: Antioxidants & Cancer Prevention* (Huang, M. T.; HO, C. T.; LEE, C. Y. eds), ACS Symposium Ser. 507, American Chemical Society, Washington, D.C., p. 8-34, 1992.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: *Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*, 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

IGNAT, I.; VOLF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 126, n. 4, p. 1821-1835, 2011

ILARI, J-L.; MEKKAOU, L. Physical properties of constitutive size classes of spray-dried skim milk powder and their mixtures. **Lait**, v. 85, p. 279-294, 2005.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131–140, 2016.

JAFARI, S. M.; GHALEGI GHALENOEI, M.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, p. 59–65, 2017.

JAGETIA, G. C.; BALIGA, M. S. *Syzygium cumini* (Jamun) reduces the radiation-induced DNA damage in the cultured human peripheral blood lymphocytes: A preliminary study. **Journal Toxicology Letters**, v. 132, n. 1, p. 19 – 25, 2002.

JAVED, H. U.; WANG, D.; WU, G.-F.; KALEEM, Q. M.; DUAN, C.-Q.; SHI, Y. Post-storage changes of volatile compounds in air- and sun-dried raisins with different packaging

materials using HS-SPME with GC/MS. **Food Research International**, v. 119, n. January, p. 23–33, 2019.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125-134, 2004.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal Food Eng.** 84, 194–205, 2008;

KAMMERER, D.; CLAUS, A.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. Polyphenol screening of pomace from red and white grape varieties (*Vitis vinifera* L.) by HPLC-DAD-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 14, p. 4360–4367, 2004.

KAMILOGLU, S.; PASLI, A. A.; OZCELIK, B.; CAPANOGLU, E. Evaluating the invitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant activity during consumption of dried fruits with nuts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 284–289, 2014.

KANG, J.; THAKALI, K. M.; XIE, C.; KONDO, M.; TONG, Y.; OU, B.; JENSEN, G.; MEDINA, M. B.; SCHAUSS, A. G.; WU, X. Bioactivities of açai (*Euterpe precatoria* Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleracea* Mart. **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 671–677, 2012.

KAPOOR, S.; RANOTE, P. S.; SHARMA, S. Bioactive components and quality assessment of Jamun (*Syzygium cumini* L.) powder supplemented chapatti. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, n. 4, p. 329–336, 2015.

KARUNASENA, H. C. P.; HESAMI, P.; SENADEERA, W.; GU, Y. T.; BROWN, R. J.; OLOYEDE, A. Scanning Electron Microscopic Study of Microstructure of Gala Apples During Hot Air Drying. **Drying Technology**, v. 32, n. 4, p. 455–468, 2014.

KAUSAR, H.; JEYABALAN, J.; AQIL, F.; CHABBA, D.; SIDANA, J.; SINGH, I. P.; GUPTA, R. C. Berry anthocyanidins synergistically suppress growth and invasive potential of human non-small-cell lung cancer cells. **Cancer Letters**; v. 325, p. 54 – 62, 2012.

KHA, T. C., NGUYEN, M. H., & ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 385 e 392, 2010.

KIM, KW, THOMAS, RL. Antioxidative activity of chitosans with varying molecular weight. **Food Chemistry**, 2006.

KING, C. J.; KIECKBUSCH, T. G.; GREENWALD, C. G. Food-quality factors in spray drying. In *Advances in Drying*, vol. 3, Mujumdar, A. S., Ed.; **Hemisphere Publishing Corp.**, New York, NY, p. 71-120, 1984.

KUSKOSKI, E. M; ASUERO, A. G; MORALES, M. T; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, jul-ago, 2006.

LABMAQ do BRASIL Ltda. Manual de Operações do Mini-Spray Dryer MSD 1.0. Depto de Engenharia, 2003. (engenharia@labmaqdobrasil.com.br).

LAGO, E.S.; GOMES, E.; SILVA, R. Produção de geléia de jabolão (*Syzygium cumini* Lamarck): Processamento, parâmetros físico-químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, p. 847-852, 2006.

LANGRISH, T. A. G. New engineered particles from spray dryers: research needs in spray drying. **Drying Techn.**, v. 25(6), p. 971-983, 2007.

LAKSAMEETHANASANA, P.; SOMLA, N.; JANPREM, S.; PHOCHUEN, N. Clarification of sugarcane juice for syrup production, *Procedia Eng.* 32, 141–147, 2012;

LANCAS, F. M.; QUEIROZ, M. E. C.; GROSSI, P.; OLIVARES, I. R. B. Recent developments and applications of stir bar sorptive extraction. **Journal of Separation Science**,

v. 32, n. 5–6, p. 813–824, 2009.

LEITE NETA, M. T. S.; JESUS, M. S. DE; SILVA, J. L. A. DA; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAM, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, n. April, p. 0–1, 2018.

LESTARIO, L. N.; HOWARD, L. R.; BROWNMILLER, C.; STEBBINS, N. B.; LIYANAGE, R.; LAY, J. O. Changes in polyphenolics during maturation of Java plum (*Syzygium cumini* Lam.). **Food Research International**, n. April, p. 0–1, 2017.

LI, L., ADAMS, L. S., CHEN, S., KILLIAN, C., AHMED, A., & SEERAM, N. P. *Eugenia jambolana* Lam. berry extract inhibits growth and induces apoptosis of human breast cancer but not non-tumorigenic breast cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 826–831, 2009;

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **Lwt**, v. 98, n. August, p. 335–340, 2018.

MANUAL DA QUÍMICA. **O diagrama de fases**. Disponível em: <<http://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/o-diagrama-fases.htm>>. Acesso em: 09 de nov. de 2017.

MANUEL, J.; NOGUEIRA, F. Extração Sortiva em Barra de Agitação (SBSE): uma metodologia inovadora para microextração estática. v. 4, n. 4, p. 259–269, 2012.

MARSTON, A., HOSTETTMANN, K. Separation and quantification of flavonoids. In: **Flavonoids - Chemistry, Biochemistry and Applications**. CRC Press, 2005, p. 1–36.

MARTIN, J. G. P. **Atividade Antimicrobiana de produtos naturais: erva-mate e resíduos agroindustriais**. 100f. Dissertação. (Mestrado em Ciências). Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2011.

MAUREL, E. C. Technologie des poudres. Granulation: tout un savoir-faire. **Process**, n° 1095, p. 62-65, 1994.

MEHTA, P. K.; SOUSA GALVÃO, M. DE; SOARES, A. C.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Volatile constituents of jambolan (*Syzygium cumini* L.) fruits at three maturation stages and optimization of HS-SPME-GC-MS method using a Central Composite Design. **Food Analytical Methods**, 2017.

MÉNDEZ-LAGUNAS, L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J.; CRUZ-GRACIDA, M.; SANDOVAL-TORRES, S.; BARRIADA-BERNAL, G. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. **Food Chemistry**, v. 230, p. 174–181, 2017.

MIGLIATO, K. F.; MOREIRA, R. R. D.; MELLO, J. C. P., SACRAMENTO, L. V. S., CORRÊA, M. A., SALGADO, H. R. N. Controle da qualidade do fruto de *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, p. 94-101, 2007.

MILLER, N. J., RICE-EVANS, C., DAVIES, M. J., GOPINATHAN, V., MILNER, A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v. 84, p. 407-412, 1993.

MILLER, N.; SAMPSON, J.; CANDEIAS, L.; BRAMLEY, P.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. **FEBS Letters**, v. 384, p. 240–242, 1996.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 3, p. 252–258, 2014.

MOO-HUCHIN, V. M.; ESTRADA-MOTA, I.; ESTRADA-LEÓN, R.; CUEVAS-GLORY, L.; ORTIZ-VÁZQUEZ, E.; VARGAS, M. de L. V. y; BETANCUR-ANCONA, D.; SAURIDUCH, E. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and

antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chemistry**, v.152, p.508–515, 2014.

MORTON, J. F. *Syzygium cumini*. In: **Fruits of warm climates**. Miami: Creative Resoursh Systems, Inc, 1987. p. 375-378. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/jambolan_ars.html>. Data de acesso em: 02.10.2017;

MUSSI, L. P. **Secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro**. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.

MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contentes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, p. 80-88, 2015.

NEVES, B. S. S. **Casca do jambolão: caracterização, planejamento e desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas**. 2017. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, n. April, p. 242–250, 2018.

NICOLI, M. .; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 3, p. 94–100, 1999.

NÓBREGA, E.; OLIVEIRA, E.; GENOVESE, M.; CORREIA, R. The impact of hot air drying on the physical-chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malphigia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014.

NUNES, J. C.; LAGO, M. G.; CASTELO-BRANCO, V. N.; OLIVEIRA, F. R.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881–890, 2016.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 172 e 178, 2015.

OUCHEMOUKH, S., HACHOUD, S., BOUDRAHAM, H., MOKRANI, A., LOUAILECHE, H. Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. **LWT – Food Sci. Technol.** 49, 329–332, 2012.

OLIVEIRA, F.; AKISUE, G. **Fundamentos de Farmacobotânica**. 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2000. p. 67 - 139.

PACHECO, S.M. **Frutos da família Myrtaceae: Caracterização físico-química e potencial inibitório da atividade das enzimas digestivas**. 2015. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

PATHARE, P. B; OPARA, U. L; AL-SAID, F. A-J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36–60, 2013.

PEPATO, M. T.; MORI, D. M.; BAVIERA, A. M.; HARAMI, J. B.; VENDRAMINI, R. C.; BRUNETTI, I. L. Fruit of the jambolan tree (*Eugenia jambolana* Lam.) and experimental diabetes. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 96, n. 01-02, p. 43-48, 2005;

PEREIRA, R. J. **Composição centesimal, aspectos fitoquímicos, atividades antioxidante, hipoglicemiante e antihiperlipidêmica de frutos do gênero syzygium**. Lavras, MG: UFLA. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PHANINDRAKUMAR, H.S., RADHAKRISHNA, K., MAHESH, S., JAGANNATH, J.H., BAWA A.S. Effect of pretreatments and additives on the thermal behavior and hygroscopicity of freeze-dried pineapple juice powder. **Journal Food Process. Preserv.** v. 29, p. 307–318, 2005.

PINTO, M. DA S., KWON, Y., APOSTOLIDIS, E., LAJOLO, F. M., GENOVESE, M. I., & SHETTY, K. Evaluation of red currants (*Ribes rubrum* L.), black currants (*Ribesnigrum* L.), red and green gooseberries (*Ribes uva-crispa*) for potential management of type 2 diabetes and hypertension using in vitro models. **Journal of Food Biochemistry**, v.34, p. 639-660, 2010.

PIRES VALENTE, A. L.; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida. **Quimica Nova**, v. 23, n. 4, p. 523–530, 2000.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, p. 386 e 392, 2007.

RABABAH, T. M.; HETTIARACHY, S. N.; HORAX, R. Total phenolics and antioxidant activities of fenugreek, green tea, black tea, grape seed, ginger, rosemary, gotu kola, and ginkgo extracts, vitamin E, and butylhydroquinone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 16, p. 5183–5186, 2004.

RAI, D. R.; CHADHA, S.; KAUR, M.P.; JAISWAL , P.; PATIL, R.T. Biochemical, microbiological and physiological changes in Jamun (*Syzyium cumini* L.) kept for long term storage under modified atmosphere packaging. **J Food Sci Technol** v.48, n.3, p.357–365, 2011.

RAMAKRISHNAN, Y.; ADZAHAN, N. M.; YUSOF, Y. A.; MUHAMMAD, K. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, v. 328, p. 406–414, 2018.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food**

Chemistry, v. 254, n. February, p. 281–291, 2018.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J. Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food. **Biochemical Society transactions**, v. 24, n. 3, p. 790–795, 1996.

RIGHI DA ROSA, J.; NUNES, G. L.; MOTTA, M. H.; FORTES, J. P.; CEZIMBRA WEIS, G. C.; RYCHECKI HECKTHEUER, L. H.; MULLER, E. I.; RAGAGNIN DE MENEZES, C.; SEVERO DA ROSA, C. Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. **Food Hydrocolloids**, 2018.

RIU-AUMATELL, M.; VARGAS, L.; VICHI, S.; GUADAYOL, J. M.; LÓPEZ-TAMAMES, E.; BUXADERAS, S. Characterisation of volatile composition of white salsify (*Tragopogon porrifolius* L.) by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled to GC-MS. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 557–564, 2011.

ROGINSKY, V. AND LISSI, E. Review of Methods to Determine Chain-Breaking Antioxidant Activity in Food. **Food Chemistry**, v. 92, p. 235-254, 2005.

ROOS, Y. R. J. O. Characterization of Food Polymers Using State Diagrams. **Journal of Food Engineering**, v.24, p.339-360, 1995.

ROUSTAPOUR, O. R.; HOSSEINALIPOUR, M.; GHOBADIAN, B. An experimental investigation of lime juice drying in a pilot plant spray dryer, **Drying Technology**, p. 181–188, 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES R.E.; BRITO,E.S; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996–1002, 2010.

RYDLEWSKI, A. A.; MORAIS, D. R. DE; ROTTA, E. M.; CLAUS, T.; VAGULA, J. M.; CRISTINA, M.; OLIVEIRA, O.; JUNIOR, S.; VISENTAINER, J. V. Bioactive compounds,

antioxidant capacity, and fatty acids in different parts of four unexplored fruits. **Journal of Food Quality**, v. 2017, p. 1–10, 2017.

SA, A. P. C. da S.. **Potencial antioxidante e aspectos químicos e físicos das frações comestíveis (polpa e cascas) e sementes de Jamelão (*Syzygium cumini*, L. Skeels)**. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

SAGRAWAT, H.; MANN, A. S.; KHARYA, M. D. Pharmacological potential of *Eugenia jambolana*: A review. **Pharmacognosy Magazine**, v. 2, p. 96 – 105, 2006.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 3, p. 468–476, 2011.

SANTANA, A. A., MARTIN, L. G. P., DE OLIVEIRA, R. A., KUROZAWA, L. E., & PARK, K. J. Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. **Drying Technology**, V. 35, p. 76 e 87, 2017.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Journal Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015;

SANTIAGO-ADAME, R.; MEDINA-TORRES, L.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; CALDERAS, F.; GONZÁLEZ-LAREDO, R. F.; ROCHA-GUZMÁN, N. E.; OCHOA-MARTÍNEZ, L. A.; BERNAD-BERNAD, M. J. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 571–577, 2015.

SANTIAGO, M. C. P. DE A.; NOGUEIRA, R. I.; PAIM, D. R. S. F.; GOUVÊA, A. C. M. S.; GODOY, R. L. DE O.; PEIXOTO, F. M.; PACHECO, S.; FREITAS, S. P. Effects of encapsulating agents on anthocyanin retention in pomegranate powder obtained by the spray drying process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 551–556, 2016.

SANTOS, DIEGO T.; VEGGI, PRISCILLA C.; MEIRELES, M. ANGELA A. Extraction of antioxidant compounds from Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 101, n. 1, p. 23-31, 2010.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 3, p. 468–476, 2011.

SCHARF, D. R.; SIMIONATTO, E. L.; KASSUYA, C. A. L.; STEFANELLO, M. É. A. Essential oil from *Eugenia jambolana* seeds: Chemical composition and changes during storage. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 19, n. 8, p. 2077–2082, 2016.

SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; BETTA, F. DELLA; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649–656, 2018.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, p. 49–67, 2017.

SILVEIRA, A. C. P.; PERRONE, I. P.; JUNIOR, P. H. R.; CARVALHO, A. F. Desidratação por Spray: uma revisão. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, p. 51-58, 2013.

SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N.; NIM, L.; SHEVKANI, K.; KAUR, H.; ARORA, D. S. In vitro antioxidant and antimicrobial properties of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit polyphenols. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 1025-1030, 2016.

SOARES, J. C. Compostos bioativos e valor nutricional de polpa de jambolão. In: **Aproveitamento Alimentar de jambolão**. Parte 2, p. 85-105. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Powder properties and system behavior during spray drying of *Bauhinia forficata* link extract. **Drying Technology**, v. 24, n. 6, p. 735–749, 2006.

SPOTO, M.H.F. Conservação de frutas e hortaliças pelo calor. In: OETTERER, M; D'ARCE, M.A.B.R; SPOTO M.H.F. *Fundamentos de ciências e tecnologia de alimentos*. Barueri: Manole, 2006. Cap 11, p 530-559.

STRINGHETA, P.C. Desidratação de pimentas e pimentões. 1984. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, 1984, v. 10. n.13, p.79-83.

SUN, Y.; SHEN, Y.; LIU, D.; YE, X. Effects of drying methods on phytochemical compounds and antioxidant activity of physiologically dropped un-matured citrus fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 1269–1275, 2015.

SURAVANICHNIRACHORN, W.; HARUTHAITHANASAN, V.; SUWONSICHON, S.; SUKATTA, U.; MANEEBOON, T.; CHANTRAPORNCHAI, W. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] powders. **Agriculture and Natural Resources**, 2018.

SWAIN, T., HILLIS, W.E. The phenolic constituents of *Prunus domestica* I—the quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of Science of Food and Agriculture**. v.10, p.63–68, 1959

SZYCHOWSKI, P. J.; LECH, K.; SENDRA-NADAL, E.; HERNÁNDEZ, F.; FIGIEL, A.; WOJDYŁO, A.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A. Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. **Food Chemistry**, v. 255, n. February, p. 157–164, 2018.

TAVARES, I. M. D. C., LAGO-VANZELA, E. S., ROBELLO, L. P. G., RAMOS, A. M., GOMEZ-ALONSO, S., GARCIA-ROMERO, E., DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) skeels). **Food Research International**, v. 82, p. 1 – 13, 2016.

TAVARES, I. M. DE C.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. Corrigendum to Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat

drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 105, n. June, p. 1060, 2018.

TERRONI, H. C.; JESUS, J. M.; ARTUZI, L. T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. C. Liofilização. **Revista Científica UNILAGO**, v. 1, p. 271–284, 2013.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K; CISNEROSZEVALLOS, L.; BYRNE, D.H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, p.669-675, 2006.

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

TONON, R. V; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of ac β ai (*Euterpe oleraceae* Mart .) powder produced by spray drying. v. 88, p. 411–418, 2008.

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**, v. 35, p. 691 e 700, 2011.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 63, p. 91–102, 2017.

TRAVAGLINI, D.A., GASPARINO FILHO J.; AGUIRRE, J.M. Equipamentos de desidratação. In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO,J. (Coord.) **Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 2002. 205p. cap 2, p. 1-29.

VALLEJO, F.; MARÍN, J. G.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). **Food Chemistry**, v. 130, n. 3, p. 485–492, 2012.

VEIGAS, J. M.; NARAYAN, M. S.; LAXMAN, P. M.; NEELWARNE, B. Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini* Skeels. **Food Chemistry**, v. 105, ed. 2, p. 619 – 627, 2007.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Freeze drying of pineapple slices: evaluation of drying kinetics and product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50–58, 2012.

VIJAYANAND, P.; JAGAN MOHAN RAO, L.; NARASIMHAM, P. Volatile flavour components of jamun fruit (*Syzygium cumini* L). **Flavour and Fragrance Journal**, v. 16, n. 1, p. 47–49, 2001.

VISSOTTO, F.Z.; JORGE, L.C.; MAKITA, G.T.; RODRIGUES, M.I.; MENEGALLI, F.C. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration, *J. Food Eng.* 97, 283–291, 2010;

VIZZOTTO, M.; FETTER, M. R. Jambolão: o poderoso antioxidante. <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/artigo-jambolao-o-poderoso-antioxidante> > Data de acesso: 07/09/2017;

WANG, J.; WANG, J.; YE, J.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. **Food Control**, v. 96, n. July 2018, p. 128–136, 2019.

WARRIER, P. K., NAMBIAR, V. P. K., & RAMANKUTTY, C. *Syzygium cumini*. In: **Indian medicinal plants**, v. 5, Hyderabad, India: Orient Longman Ltd, 1996, p. 225–228.

WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food Chemistry**, v. 207, p. 170–179, 2016.

M.W.WOO; MUJUMDAR, A. S.; DAUD, W. R. W. **Spray drying technology**, v. 1,

Singapura, 2010, 230p.

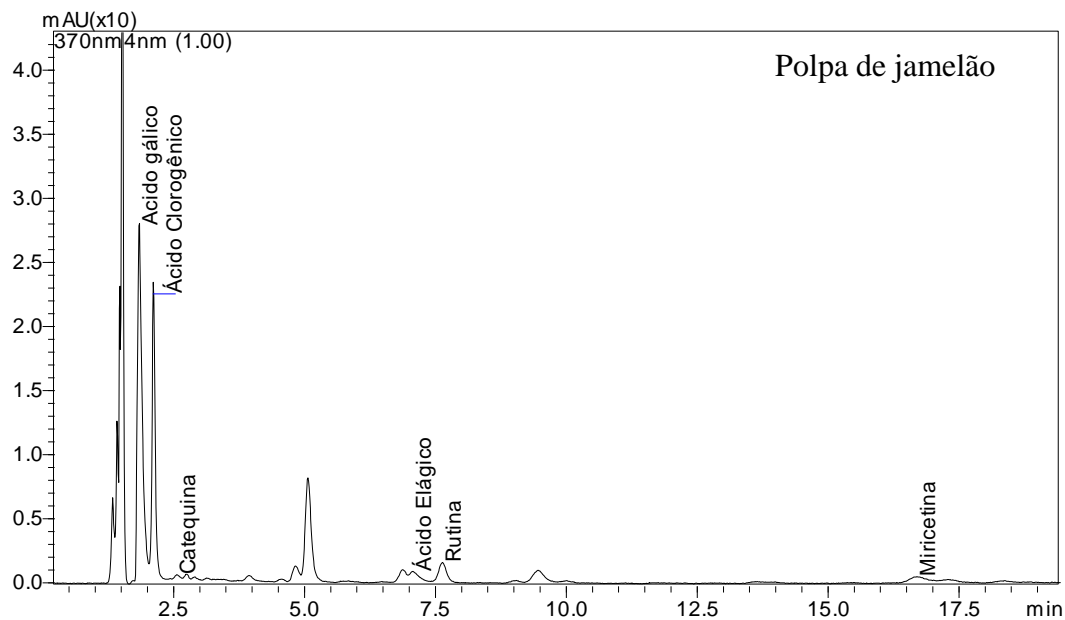
YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; SANTOS, C. DOS; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 256–262, 2017.

ZHANG, Z. S., LI, D., WANG, L. J., OZKAN, N., CHEN, X. D., MAO, Z. H., & YANG, H. Z. Optimization of ethanol-water extraction of lignans from flaxseed. *Separation and Purification Technology*, v.57, n.1, p.17–24, 2007.

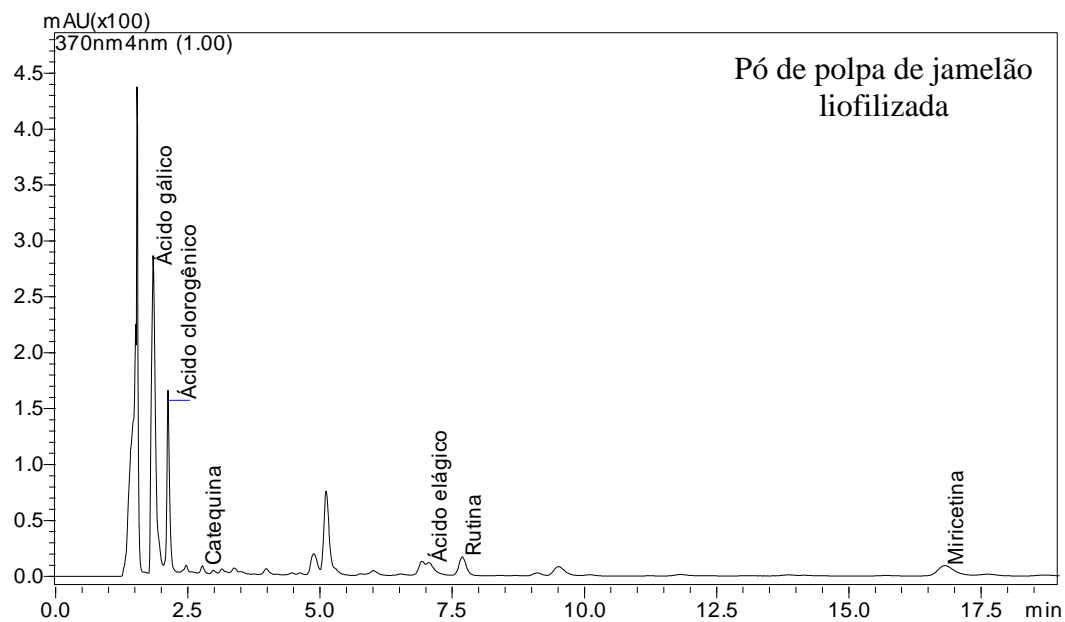
ZHANG, L. L.; LIN, Y. M. Antioxidant tannins from *Syzygium cumini* fruit. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 10, p. 2301–2309, 2009.

ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Freeze-dried capsules prepared from emulsions with encapsulated lactase as a potential delivery system to control lactose hydrolysis in milk. **Food Chemistry**, v. 241, p. 397–402, 2018.

APÊNDICE A – CROMATOGRAMAS DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA DE JAMELÃO IN NATURA E LIOFILIZADA

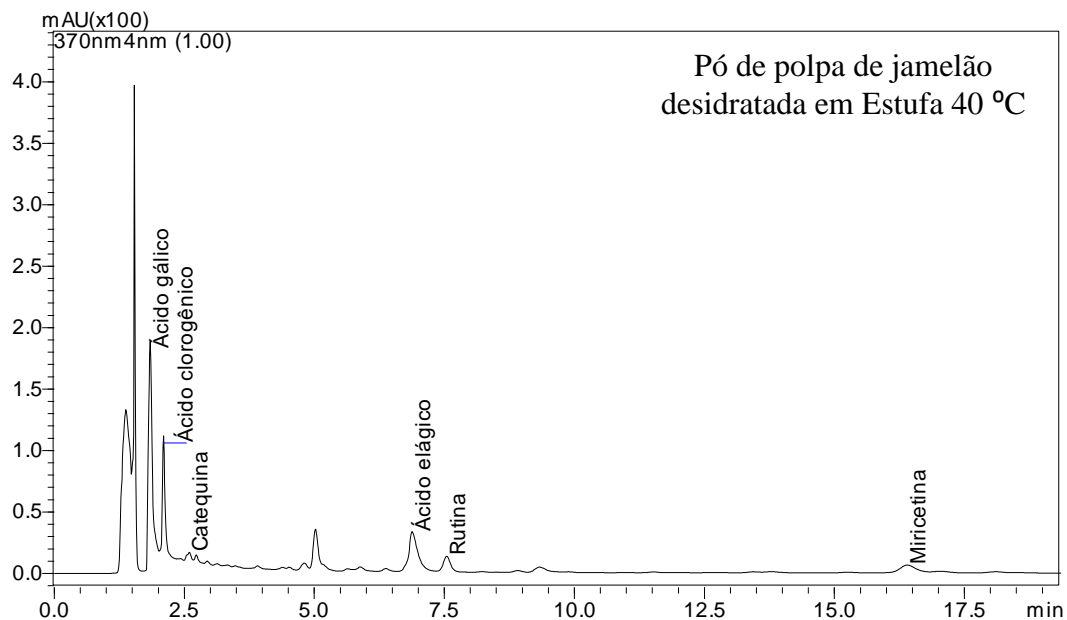


Fonte: Próprio autor.

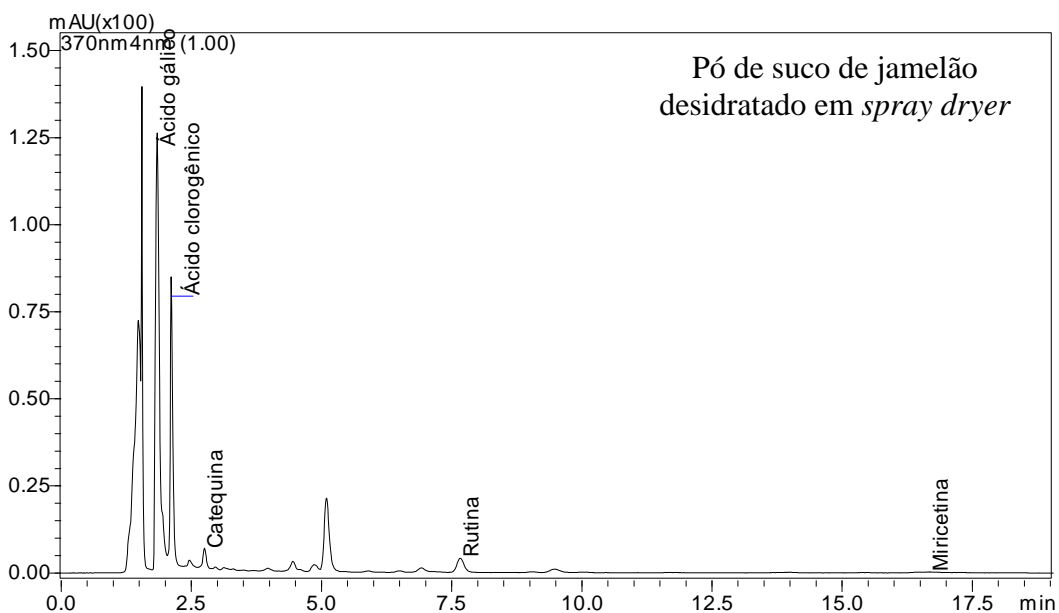


Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE B – CROMATOGRAMAS DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA DE JAMELÃO DESIDRATADA EM ESTUFA E DO SUCO ATOMIZADO



Fonte: Próprio autor.



Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE C – COMPOSTOS VOLÁTEIS IDENTIFICADOS NA POLPA DE JAMELÃO E EM SEUS PRODUTOS

Tabela 21 – Compostos voláteis identificados na polpa de jamelão e em seus produtos desidratados por diferentes métodos através de HS-SPME/GC-MS.

Classe Química	Número	TR (min)	IR (Experimental)	IR (referência)	Composto	Área (%)			
						PJ	PJLIO	PJE40	PSD1
Álcoois		12,284	1216	1212	1-Butanol, 3-methyl-				0,087453749
		15,492	1362	1362	1-Hexanol		0,303557675		8,986674581
		15,737	1373	1373	3-Hexen-1-ol, (Z)-	0,1978	0,055547106		2,014734783
		16,229	1395	1422	4-Hexen-1-ol, (Z)-				8,543063056
		18,382	1466	1470	1-Hexanol, 2-ethyl-				0,259911637
		23,548	1590	1591	Fenchol	0,099312304			0,486174573
Aldeídos		8,949	1086	[1085	Hexanal		0,442151189	0,039499463	2,875233435
		10,559	1148	1146	3-Hexenal				0,741882949
		11,703	1193	1194	Heptanal				0,465918179
		12,496	1225	1227	2-Hexenal, (E)-				9,591280299
		14,115	1299	1299	Octanal				0,625410522
		16,419	1403	1407	2-Octenal, (E)-			0,127539721	
		16,456	1404	1402	Nonanal				3,910844474
		18,156	1459	1461	2,4-Heptadienal, (E,E)-			0,04952264	
		19,762	1508	1507	Decanal				1,180069117
		20,552	1525	1525	Benzaldehyde	0,415450919		0,020455016	
		21,251	1540	1542	2-Nonenal, (E)-				0,140545358
Ésteres		3,812	958	920	Ethyl Acetate		0,018484886		
		13,593	1275	1304	Butanoic acid, pentyl ester				0,068171775
		13,77	1283	1280	Acetic acid, hexyl ester				0,112209626
		14,221	1304	1304	Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester				0,149743739

	15,076	1343	1344	2-Hexen-1-ol, acetate, (E)-	0,048773179		
	17,58	1440	1441	Octanoic acid, ethyl ester			2,300562829
	18,028	1455	1458	Fenchyl acetate	0,065582498		
	18,903	1483	1481	Acetic acid, octyl ester			0,659797169
	19,311	1497	1527	Linalyl acetate	0,264980195		
	21,953	1555	1553	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate	0,279001848	0,184944011	
	21,964	1556	1553	Linalyl formate			2,724322991
	23,156	1582	1582	Bornyl acetate	0,400320242	0,145355364	0,201627814
	25,283	1621	1641	(-)-trans-Pinocarvyl acetate	0,029334474		0,017246635
	26,928	1649	1677	Myrtenyl acetate	0,014460943		
	36,208	1786	1786	Benzeneacetic acid, ethyl ester	0,017086436		
	38,147	1812	1812	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	0,073596829		
Cetonas	13,994	1293	1293	2-Octanone	0,04715269		
	15,162	1347	1342	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0,095052455		0,403521531
Furanos	5,314	981	982	Furan, 2-ethyl-			0,061406772
	12,826	1240	1241	Furan, 2-pentyl-			0,170357968
	18,665	1476	1476	Furfural			0,21901145
Terpenos	7,027	1017	1016	α -Pinene	6,620242274		0,822272415
	8,253	1061	1059	Camphene		0,055127211	0,102530181
	9,291	1098	1102	(-)- β -Pinene			0,561290566
	10,798	1157	1157	α -Phellandrene		0,010196885	
	10,994	1165	1158	β -Pinene	3,339864295	3,499144648	1,065272345
	11,045	1167	1164	β -Phellandrene			0,039065526
	11,208	1173	1150	(+)-2-Carene		0,029391987	
	11,264	1175	1175	α -Terpinene	0,114206057		
	11,637	1190	1189	3-Carene	0,022262727		0,017006155

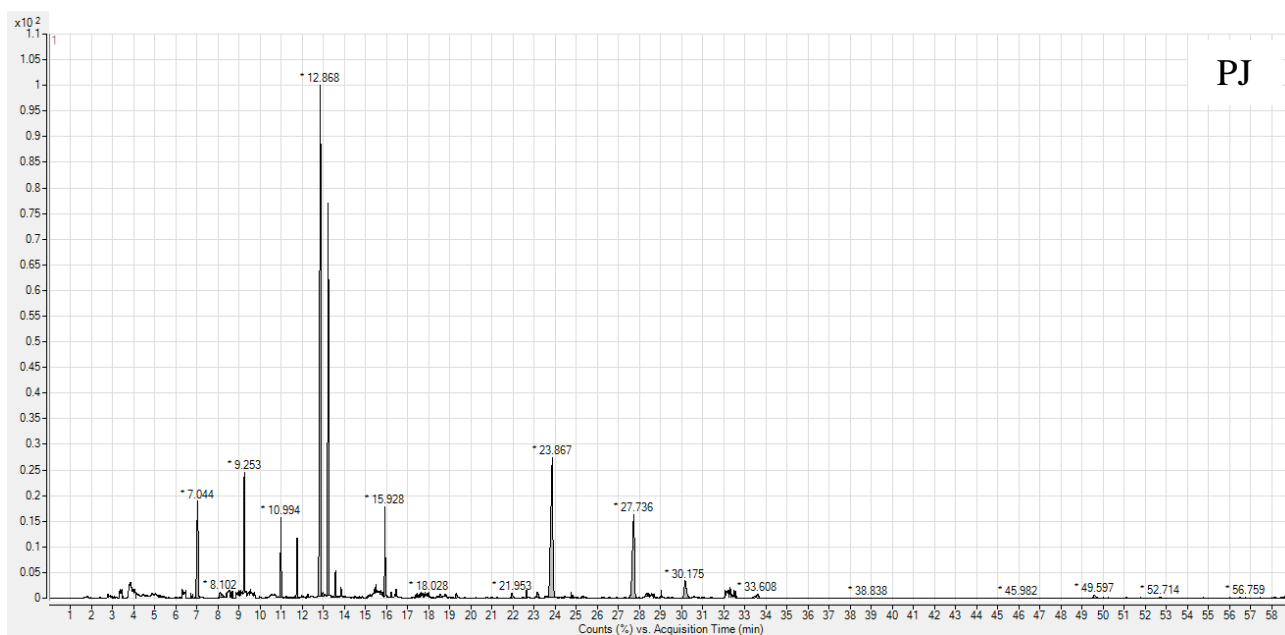
11,93	1200	1184	D-Limonene	2,420316543	2,259986528	1,113937179	0,715485164
11,977	1202	1202	β -Phellandrene		0,169011403	0,026163956	
12,868	1242	1242	trans- β -Ocimene	27,9906113	20,45162168	8,211791977	
12,998	1248	1249	γ -Terpinene	0,189735252	0,286102846	0,193487342	
12,906	1244	1245	β -Ocimene	16,54066934		5,253529408	1,25513781
13,28	1261	1245	β -cis-Ocimene				0,694165481
13,582	1275	1275	p-Cymene	0,866475749	0,295459437	0,119000986	
13,643	1278	1268	o-Cymene	0,866475749			0,340078321
17,448	1436	1435	p-Cymenene			0,003093411	
17,893	1451	1451	α -Cubebene			0,056686094	
18,545	1472	1472	Ylangene			0,064922912	
19,358	1498	1492	Copaene	0,145900927	0,425085656	0,065393914	0,947467474
23,831	1596	1594	Caryophyllene	14,89264933	25,13581011	44,47893303	36,93588631
24,131	1602	1584	Linalool				0,311491852
24,344	1606	1622	Aromandendrene	0,064405925	0,071370664		0,261505156
24,488	1608	1606	Terpinen-4-ol	0,102305592	0,055082572		0,931030003
25,887	1632	1622	β -Gurjunene	0,166216104			
27,728	1662	1662	α -Himachalene	0,322830688			
27,736	1662	1663	Humulene	8,60769972	12,77047653	0,105604499	19,8103051
28,364	1673	1665	4,5-di-epi-aristolochene	0,248327325	0,143619572	0,061809218	
29,031	1684	1684	β -Guaiene	0,166685588			
29,035	1684	1690	γ -Muurolene	0,039078874	0,057243288	0,093752375	0,214441356
29,35	1689	1686	(+)-Ledene	0,033986359	0,024753808	1,381338301	
30,171	1702	1704	α -Terpineol	1,892861544	0,536373683	0,61826902	6,295127472
30,615	1709	1708	β -Eudesmene	0,132840748	0,097842385		
30,622	1709	1700	γ -Gurjunene				0,259793024
30,821	1711	1711	(+)-Valencene	0,012077135			
31,01	1714	1723	β -Chamigrene	0,096341628	0,086992579	24,71388551	

	32,132	1730	1732	Naphthalene	0,83665205		0,085698446	1,114391609
	33,213	1745	1745	γ -Cadinene	1,46371416			
	33,646	1751	1752	α -Farnesene	0,158714607			
	35,091	1771	1797	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	0,022390966	0,037501211		
	35,881	1782	1751	Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	0,017018444			
	35,897	1782	1797	Naphthalene, 1,2,3,4,6,8a-hexahydro-1-isopropyl-4,7-dimethyl-			0,108388562	
	38,601	1817	1809	L-Calamenene				0,220181864
	38,837	1820	1816	trans-calamenene				0,83908411
	38,838	1820	1822	(-)-Calamenene	0,0256561	0,029488663	0,132668155	
	39,683	1831	1843	α -Santalol	0,058001452			
	42,066	1860	1846	Carveol	0,05574313			
	45,018	1897	1901	α -Calacorene	0,017561144			0,132383453
	45,982	1910	1937	Caryophyllene oxide	0,017574738			
	54,023	2061	2044	trans-Sesquisabinene hydrate	0,001757407			
	56,112	2160	2166	β -bisabolol	0,133091233			
	56,318	2172	2152	δ -Cedrol	0,136801677			
	56,404	2177	2175	.tau.-Cadinol	0,022306461			
	56,758	2197	2103	d-Viridiflorol				0,214837985
	57,03	2217	2223	Naphthalene, 1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	0,002388978			
	57,035	2217	2203	Cadalene				0,150587617
Hidrocarbonetos	7,044	1018	1016	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	6,889553996		2,324603428	
	11,228	1174	1173	Undecane, 3-methyl-				0,037646217

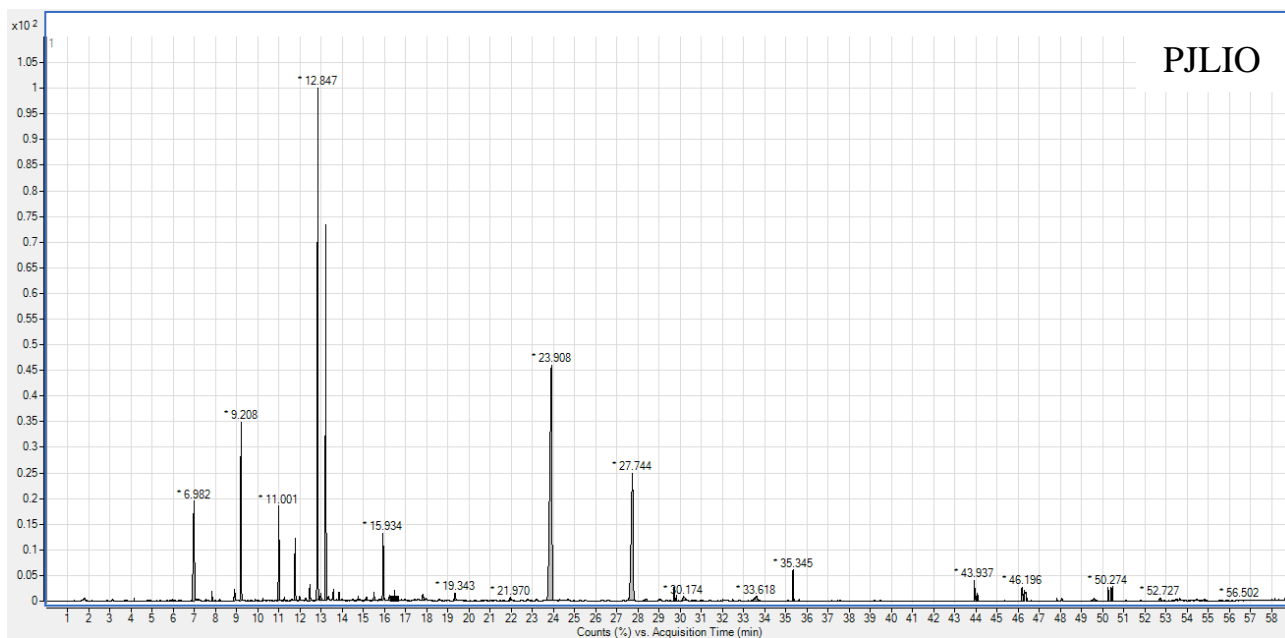
11,248	1175	1176	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,074280537		
13,224	1258	1257	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-		13,38153078	
13,842	1287	1290	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	0,283327556	0,253626056	0,146644306
17,572	1440	1460	2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-			0,041724103
31,057	1715	1715	Eudesma-4(14),11-diene			0,374591524
33,608	1750	1720	Cadina-3,9-diene	0,336570552	0,39695437	
33,624	1750	1753	Cadina-1(10),4-diene			0,218131086
13,351	1264	1264	Styrene		0,135385186	

PJ = polpa de jamelão em base seca; PJJIO = Pó de polpa de jamelão liofilizada; PJE40 = Pó de polpa de jamelão desidratado em estufa a 40 °C; PSD1 = Pó de suco de jamelão desidratado em *spray dryer* (Condições do ensaio 1).

**APÊNDICE D - CROMATOGRAMAS DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DA POLPA
DE JAMELÃO IN NATURA E DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR**

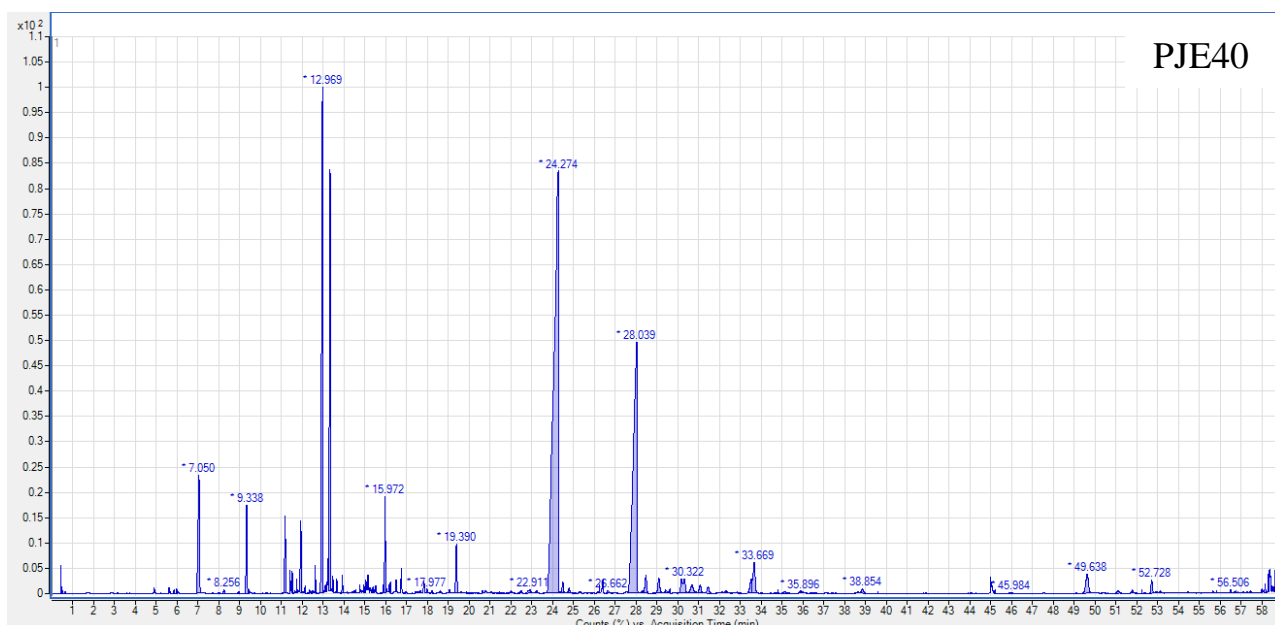


Fonte: Próprio autor.

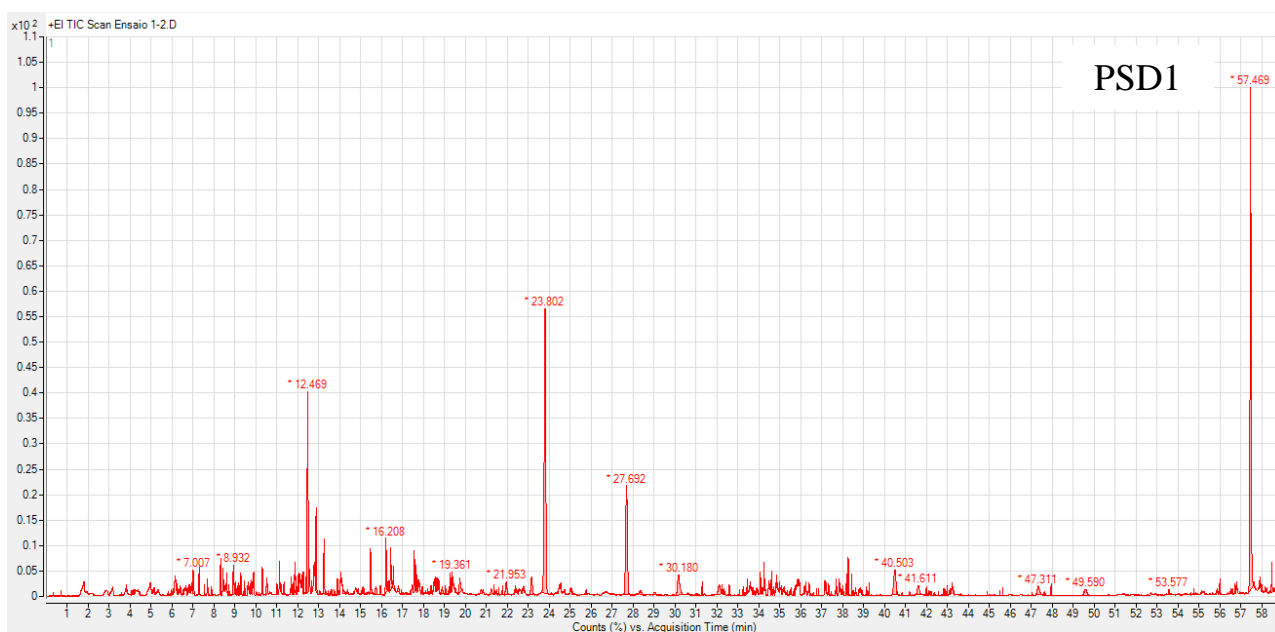


Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE E - CROMATOGRAMAS DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DA POLPA DE JAMELÃO DESIDRATADA EM ESTUFA A 40 °C E DO SUCO DESIDRATADO EM *SPRAY DRYER*



Fonte: Próprio autor.



Fonte: Próprio autor.