



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**TESE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E  
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**SECAGEM POR ASPERSÃO E EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA  
DE MURTA**

**REGILANE MARQUES FEITOSA**

**Campina Grande - Paraíba  
FEVEREIRO - 2014**

**SECAGEM POR ASPERSÃO E EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE  
MURTA**

**REGILANE MARQUES FEITOSA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

**ORIENTADORES:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

**Campina Grande - Paraíba**

**FEVEREIRO – 2014**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F311s      Feitosa, Regilane Marques.  
              Secagem por aspersão e em camada de espuma da polpa de murta /  
              Regilane Marques Feitosa. – Campina Grande, 2013.  
              213 f. : il. Color.

              Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

              "Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr.  
Alexandre José de Queiroz".

              Referências.

              1. *Eugenia Gracillima Kiaersk.* 2. Antocianinas. 3. Reologia.  
4. Isotermas. 5. Pó. I. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. II. Queiroz,  
Alexandre José de. III. Título.

CDU 631.563.2(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

REGILANE MARQUES FEITOSA

SECAGEM POR ASPERSÃO E EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE  
MURTA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana M<sup>a</sup> F. de Figueirêdo  
Dr.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo  
Orientadora - UAEA/UFCC

Aprovada

Alexandre J M Queiroz  
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz  
Orientador - UAEA/UFCC

APROVADA

Karla dos Santos Melo de Sousa  
Dr.<sup>a</sup> Karla dos Santos Melo de Sousa  
Examinadora - UNIVASF

Aprovada

Mônica Tejo Cavalcanti  
Dr.<sup>a</sup> Mônica Tejo Cavalcanti  
Examinadora - CCTA/UFCC

Aprovada

Oswaldo Soares da Silva  
Dr. Oswaldo Soares da Silva  
Examinador - CCTA/UFCC

Aprovada

Flávia Cristina dos Santos Lima  
Dr.<sup>a</sup> Flávia Cristina dos Santos Lima  
Examinadora - IFPE

Aprovada

FEVEREIRO - 2014

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.”

(Amyr Klink)

## **Dedicatória**

Aos meus pais e a um guerreiro ao qual tenho  
muita ADMIRAÇÃO: Reginaldo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora, por essa conquista, pelo discernimento e coragem em muitos momentos e por cada pessoa que colocaste no meu caminho.

Muito grata pelo apoio, pelo abraço sempre aconchegante de entes queridos que apesar de distantes continuaram presentes. A meus pais, Cícero e Maria das Dores; a minhas irmãs, Rozangela, Regina e Rosana; a meus irmãos, Reginaldo e Renato; a meus grandes amores e doces aconchegos, Víncius, Jonas e Vitória; a minhas cunhadas, Aldivânia e Bárbara. Vocês não têm ideia de como me são necessários!

À Professora Dr<sup>a</sup>. Rossana, com a qual muito aprendi, minha gratidão pela sua dedicação ao ensinar, paciência, orientação e confiança destinada à minha pessoa.

Aos Professores Dr. Alexandre e Dr<sup>a</sup>. Josivanda, por seus ensinamentos e auxílio.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Líbia que prontamente, desde o mestrado, socorre-me em meio as minhas dúvidas e necessidades.

Aos Professores Dr<sup>a</sup>. Mônica e Dr. Franciscleudo, que contribuíram muito nas análises de antocianinas; por sua ajuda, sugestões e disponibilidade.

Aos encontros que nos permitiram viver no decorrer de quatro anos, as conversas e risos à toa e aos intensos instantes que serviram de combustível para fortalecer nossa caminhada; a permanência e a construção de algumas amizades sólidas; alguns surgiram inesperadamente, e se tornaram presentes, grande ouvintes, mostraram que estavam ali; outros, eventualmente, mas ambos ajudaram com um e outro detalhe; enfim, estivemos juntos em algum momento... A João Carlos, Viviane, Rebeca, Wolia, Flávia, Emanuel, Lucinha, Sandrinha, vó Biú, Samara, Silvana, Elisabete, Vidina, Joyce, Dyego, D. Salomé, Lívia, Silas, Flávio, Luciana, Renato, Luisinho, Tiago, Melly, Debora, Patricia, Taciano, Gilmara, Francinalva e Tâmila.

À banca por suas sugestões e contribuições.

À Capes, pelo apoio financeiro.

À Corn Products Brasil, pela doação da maltodextrina.

FEITOSA, R. M. **Secagem por aspersão e em camada de espuma da polpa de murta.** 2014. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

## RESUMO

A murta é uma fruta que se sobressai das demais por apresentar valores significativos de antocianinas. Em razão da sua composição, da vida útil curta e da necessidade de difusão objetivou-se, neste trabalho, desidratar a polpa da murta utilizando a secagem por aspersão e em camada de espuma e avaliar o produto em pó obtido. Para a secagem por aspersão foi elaborada uma formulação a partir da polpa integral de murta com adição de água destilada e 30% de maltodextrina e desidratada nas temperaturas de secagem de 150, 170 e 190 °C. Para a secagem em camada de espuma a escolha da melhor formulação, composta de polpa de murta e aditivos (Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup>), foi feita com base na análise dos parâmetros densidade e *over-run*. A espuma selecionada foi desidratada em estufa com circulação de ar forçada a 50, 60, 70, 80 e 90 °C com diferentes espessuras (0,5; 1,0 e 1,5 cm). A polpa de murta, as formulações selecionadas e os pós obtidos foram caracterizados, quanto aos parâmetros, químicos, físico-químicos e físicos. A polpa de murta foi classificada como muito ácida, com baixo percentual de gordura e valores relevantes de antocianinas. As formulações elaboradas apresentaram redução da acidez total titulável e dos teores de água. As formulações da secagem por aspersão e da camada de espuma se apresentaram como fluidos pseudoplásticos com o modelo de Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley apresentando os melhores ajustes, respectivamente. O modelo de Midili foi, dentre os testados, o que melhor se ajustou às curvas de cinética de secagem em camada de espuma. O aumento da temperatura de secagem proporcionou os menores valores nas amostras em pó do teor de água, atividade de água, antocianinas e diferença total de cor para os dois tipos de secagem. A acidez e a insolubilidade dos pós apresentaram melhores valores para as baixas temperaturas de secagem. De forma geral, houve alterações na forma das partículas dos pós ao se aumentar as temperaturas de secagem e nos diferentes tipos de locais de coleta no secador por aspersão. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção, a 25 °C, dos pós, foi o de Peleg. As isotermas foram classificadas como do tipo II e III.

**Palavras chave:** *Eugenia gracillima* Kiaersk, antocianinas, reologia, isotermas, pó

FEITOSA, R. M. *Spray drying and foam mat drying of pulp myrtle*. 2014. 213 f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Campina Grande.

## **ABSTRACT**

The myrtle is a fruit that stands out from the others by having significant amounts of anthocyanins. Because of its composition, the short shelf life and need to broadcast, this study aimed to dehydrate the pulp myrtle using spray drying and foam mat drying and evaluate the powdered obtained. For spray drying formulation was elaborated from whole pulp myrtle with addition of distilled water and 30% maltodextrin (DE-14) and dehydrated in the drying temperatures of 150, 170 and 190 °C. For drying the foam mat drying to select the best formulation, composed of pulp and additives myrtle (*Emustab*<sup>®</sup> and *Super Liga Neutra*<sup>®</sup>), was based on analysis of over-run parameters, density and foam stability. The selected foam was dried in an oven with forced air circulation at 50, 60, 70, 80 and 90 °C and different thicknesses (0,5, 1,0 and 1,5 cm). The myrtle pulp, selected formulations and powders were characterized for physicochemical and physical parameters. The pulp was also classified, as very acidic, with low fat percentile and relevant values of anthocyanins. The elaborated formulations presented decreased titratable total acidity and moisture contents. The formulations of the spray drying and the foam mat drying is presented themselves as pseudoplastic fluids with Mizrahi-Berk and Herschel-Bulkley model showing the best settings, respectively. The Midili model, among the tested was that better fitted curves of drying kinetics in the foam mat drying. Increasing drying temperature the lowest values provided in powder samples of moisture content, water activity, anthocyanins, and total color difference at the two types of drying. The acidity and the insolubility of the powders showed better results for low temperatures. In a general way, there were changes in the shape of powder particles to increase drying temperatures and different types of samples. The model which best fit the experimental data of adsorption isotherms at 25 °C, the powders was Peleg. The isotherms were classified as type II and III.

**Key words:** *Eugenia gracillima* Kiaersk, anthocyanins, rheology, isotherms, powders

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Objetivos .....	2
1.1.1 - Objetivo geral .....	2
1.1.2 - Objetivos específicos .....	2
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1 - Murta .....	4
2.2 - Secagem de frutas .....	7
2.2.1 - Secagem por aspersão .....	8
2.2.1.1 - Aditivos .....	11
2.2.1.1.1 - Maltodextrina .....	12
2.2.2 - Secagem em camada de espuma .....	13
2.2.2.1 - Cinética de secagem .....	17
2.3 - O produto em pó .....	18
2.4 - Atividade de água .....	20
2.5 - Reologia .....	21
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 - Matérias-primas .....	23
3.2 - Processamento da murta .....	23
3.3 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de murta integral .....	24
3.3.1 - pH .....	24
3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix) .....	24
3.3.3 - Teor de água e sólidos totais .....	25
3.3.4 - Acidez total titulável .....	25
3.3.5 - Açúcares.....	25
3.3.6 - Cinzas .....	25
3.3.7 - Lipídeos .....	25
3.3.8 - Antocianinas totais .....	26
3.3.9 - Flavonoides .....	26

3.3.10 - Atividade de água .....	27
3.3.11 - Cor .....	27
3.3.12 - Densidade .....	27
3.3.13 - Comportamento reológico .....	27
3.3.13.1 - Influência da temperatura .....	29
3.4 - Processo de produção da polpa da murta em pó .....	29
3.5 - Preparo da formulação para a secagem por aspersão .....	30
3.6 - Preparo e seleção da formulação para a secagem em camada de espuma	30
3.6.1 - Densidade das espumas .....	31
3.6.2 - <i>Over-run</i> .....	31
3.7 - Caracterização química, física e físico-química das formulações .....	32
3.7.1 - Comportamento reológico .....	32
3.7.2 - Degradação da cor da espuma .....	34
3.8 - Secagem em camada de espuma .....	34
3.8.1 - Modelos matemáticos .....	34
3.9 - Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó .....	35
3.9.1 - Rendimento .....	35
3.9.2 - Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) .....	36
3.9.3 - Molhabilidade .....	36
3.9.4 - Insolubilidade .....	37
3.9.5 - Microscopia eletrônica de varredura .....	37
3.10 - Análise dos dados .....	38
3.11 - Isotermas de adsorção de água .....	38
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
4.1 - Caracterização química, físico-química e física da polpa de murta integral .....	40
4.1.2 - Comportamento reológico da polpa de murta integral .....	44
4.1.2.1 - Influência da temperatura .....	49
4.2 - Secagem por aspersão .....	52
4.2.1 - Caracterização da polpa integral da murta e da formulação selecionada .....	52
4.2.2 - Comportamento reológico da polpa integral de murta e da formulação .....	55

4.2.3 - Caracterização do pó da murta submetido à secagem por aspersão .....	61
4.2.3.1 - Teor de água .....	62
4.2.3.2 - Atividade de água .....	64
4.2.3.3 - Luminosidade .....	66
4.2.3.4 - Intensidade de vermelho (+a*) .....	67
4.2.3.5 - Intensidade de amarelo (+b*) .....	69
4.2.3.6 - Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) .....	70
4.2.3.7 - pH .....	72
4.2.3.8 - Acidez total titulável .....	73
4.2.3.9 - Rendimento .....	74
4.2.3.10 - Molhabilidade .....	76
4.2.3.11- Insolubilidade .....	78
4.2.3.12- Antocianinas totais .....	80
4.2.3.13- Morfologia .....	82
4.2.5 - Isotermas de adsorção do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone .....	88
4.3 - Secagem em camada de espuma .....	96
4.3.1 - Seleção da formulação para secagem .....	96
4.3.1.1 - Densidade da espuma .....	97
4.3.1.2 - <i>Over-run</i> .....	98
4.3.2 - Caracterização química, física, e físico-química da murta integral e da formulação selecionada .....	100
4.3.2.1 - Degradação da cor da Formulação 1 .....	103
4.3.2.2 - Comportamento reológico da formulação .....	105
4.3.3 - Secagem em camada de espuma .....	110
4.3.3.1 - Influência da espessura da camada e da temperatura de secagem .....	110
4.3.3.2 - Modelos matemáticos .....	114
4.3.4 - Caracterização do pó da murta submetido à secagem em camada de espuma .....	121
4.3.4.1 - Teor de água .....	121
4.3.4.2 - Atividade de água .....	122

4.3.4.3 - Luminosidade (L*) .....	124
4.3.4.4 - Intensidade do vermelho (+a*) .....	125
4.3.4.5 - Intensidade de amarelo (+b*) .....	127
4.3.4.6 - Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) .....	128
4.3.4.7 - pH .....	129
4.3.4.8 - Acidez total titulável .....	130
4.3.4.9 - Molhabilidade .....	132
4.3.4.10 - Insolubilidade .....	133
4.3.4.11 - Morfologia .....	135
4.3.5 - Isotermas de adsorção do pó da murta submetido a secagem em camada de espuma .....	136
<b>5 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>148</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>185</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>188</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>198</b>
<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>200</b>
<b>APÊNDICE F .....</b>	<b>204</b>
<b>APÊNDICE G .....</b>	<b>206</b>
<b>APÊNDICE H .....</b>	<b>212</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa de murta integral .....	24
<b>Figura 3.2</b> - Fluxograma do processamento para obtenção da polpa de murta em pó .....	30
<b>Figura 4.1</b> - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de murta integral em função da velocidade de rotação (rpm) .....	46
<b>Figura 4.2</b> - Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da murta integral, ajustada pelo modelo de Falguera-Ibarz .....	49
<b>Figura 4.3</b> - Relação entre a viscosidade aparente e o inverso da temperatura para a polpa da murta integral em diferentes taxas de deformação .....	52
<b>Figura 4.4</b> - Relação entre a viscosidade aparente (mPa s) da polpa integral da murta e da Formulação, em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C .....	57
<b>Figura 4.5</b> - Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e da Formulação, ajustadas pelo modelo de Falguera-Ibarz.....	59
<b>Figura 4.6</b> - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação seca por aspersão, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk .....	61
<b>Figura 4.7</b> - Amostras em pó de murta seca por aspersão .....	61
<b>Figura 4.8</b> - Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão, na temperatura de 150 °C, da polpa da murta em pó, coletada na câmara de secagem e no ciclone .....	83
<b>Figura 4.9</b> - Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão, na temperatura de 170 °C, da polpa da murta em pó, coletada na câmara de secagem e no ciclone .....	85
<b>Figura 4.10</b> - Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão, na temperatura de 190 °C, da polpa da murta em pó, coletada na câmara de secagem e no ciclone .....	87

<b>Figura 4.11</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas a partir da formulação, desidratadas sob as temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	92
<b>Figura 4.12</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas a partir da formulação, desidratadas sob as temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	96
<b>Figura 4.13</b> – Valores médios da densidade da espuma ( $\text{g/cm}^3$ ), do <i>over-run</i> (%), e do tempo (min) da formulação 1 .....	100
<b>Figura 4.14</b> – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e da Formulação 1, com ajustes pelo modelo de Falguera-Ibarz .....	108
<b>Figura 4.15</b> – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação 1 (espuma) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley .....	110
<b>Figura 4.16</b> - Cinética de secagem da Formulação 1, na temperatura de 50 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma.....	111
<b>Figura 4.17</b> - Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 60 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma .....	112
<b>Figura 4.18</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 70 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma .....	112
<b>Figura 4.19</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 80 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma .....	113
<b>Figura 4.20</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 90 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma .....	113
<b>Figura 4.21</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 0,5 cm em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo de Midili .....	116
<b>Figura 4.22</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 1,0 cm em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo modelo de Midili .....	118

<b>Figura 4.23</b> – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 1,5 cm em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo modelo de Midili .....	120
<b>Figura 4.24</b> – Imagens das partículas do pó da murta (Formulação 1) resultantes da secagem em camada de espuma, na temperatura de 50 °C e espessura da camada de 0,5 cm .....	135
<b>Figura 4.25</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura da camada de 0,5 cm e com ajustes com o modelo de Peleg .....	139
<b>Figura 4.26</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura de 1,0 cm, e ajustes ao modelo de Peleg .....	143
<b>Figura 4.27</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura da camada de 1,5 cm, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	147
<b>Figura A.1</b> – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da murta, com ajustes pelo modelos .....	187
<b>Figura B.1</b> – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e a formulação, com ajustes por diferentes modelos .....	189
<b>Figura B.2</b> - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação, na temperatura de 25 °C, com ajustes por diferentes modelos .....	190
<b>Figura D.1</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas por secagem por aspersão a partir de diferentes temperaturas de secagem e coletadas na câmara de secagem e no ciclone, com ajustes pelos modelos de GAB e Oswin .....	199
<b>Figura E.1</b> – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da integral da murta e a Formulação 1, com ajustes por diferentes modelos .....	202
<b>Figura E.2</b> - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação 1, na temperatura de 15 °C, com ajustes por diferentes modelos .....	203

<b>Figura F.1</b> - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, nas diferentes temperaturas de secagem com ajustes por diferentes modelos .....	205
<b>Figura H.1</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1, espessura de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, nas temperaturas com ajustes .....	213

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Caracterização de murta ( <i>Blepharocalyx salicifolius</i> ) .....	5
<b>Tabela 2.2</b> - Caracterização da murta ( <i>Ugni molinae</i> Turcz) .....	7
<b>Tabela 3.1</b> - Concentração dos aditivos utilizados nas formulações testadas elaboradas com a polpa de murta .....	31
<b>Tabela 4.1</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados na polpa de murta ( <i>Eugenia gracillima</i> Kiaersk.) integral .....	40
<b>Tabela 4.2</b> - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de murta integral em função da velocidade de rotação e temperatura .....	45
<b>Tabela 4.3</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvio percentuais médios (P) dos modelos reológicos para polpa da murta integral .....	47
<b>Tabela 4.4</b> - Valores da viscosidade aparente teórica ( $\eta_0$ ) e energia de ativação ( $E_a$ ) da polpa de murta integral, calculados a partir da equação de Arrhenius .....	50
<b>Tabela 4.5</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados da polpa de murta integral e da Formulação .....	53
<b>Tabela 4.6</b> - Viscosidades aparentes (mPa s) a 25 °C da polpa de murta integral e da formulação em função das velocidades de rotação .....	56
<b>Tabela 4.7</b> - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a polpa integral da murta e a Formulação referente à temperatura de 25 °C .....	58
<b>Tabela 4.8</b> - Parâmetros, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas da Formulação, à 25 °C .....	60
<b>Tabela 4.9</b> - Valores médios do teor de água (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	62
<b>Tabela 4.10</b> - Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	64

<b>Tabela 4.11</b> - Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	66
<b>Tabela 4.12</b> - Valores médios da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	68
<b>Tabela 4.13</b> - Valores médios da intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	69
<b>Tabela 4.14</b> - Valores médios da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	71
<b>Tabela 4.15</b> - Valores médios do pH da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	72
<b>Tabela 4.16</b> - Valores médios da acidez total titulável (% ac. cítrico) da formulação em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	73
<b>Tabela 4.17</b> - Valores médios do rendimento (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	74
<b>Tabela 4.18</b> - Valores médios da molhabilidade (g/min) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	76
<b>Tabela 4.19</b> - Valores médios de insolubilidade (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	78
<b>Tabela 4.20</b> - Valores médios das antocianinas totais (mg/100 g) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem .....	80
<b>Tabela 4.21</b> - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da murta em pó coletada na câmara do secador, em função da atividade de água ( $a_w$ ) na temperatura de 25 °C .....	89

<b>Tabela 4.22</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 25 °C, do pó da formulação da murta em pó, desidratada a 150, 170 e 190 °C, em secador por aspersão, coletado na câmara de secagem .....	90
<b>Tabela 4.23</b> - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) a 25 °C da polpa da murta desidratada em diferentes temperaturas, coletada no ciclone do secador por aspersão .....	93
<b>Tabela 4.24</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 25 °C, da polpa da murta em pó, desidratada a 150, 170 e 190 °C, em secador por aspersão, coletada no ciclone .....	94
<b>Tabela 4.25</b> - Valores médios das densidades das espumas ( $\text{g/cm}^3$ ) para as diferentes formulações em função dos diferentes tempos de batimento .....	97
<b>Tabela 4.26</b> - Valores médios do <i>over-run</i> (%) das diferentes formulações em função dos diferentes tempos de batimento .....	99
<b>Tabela 4.27</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados para a polpa integral e para a Formulação 1 .....	101
<b>Tabela 4.28</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho ( $+a^*$ ), intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da espuma da Formulação 1 em função do tempo de exposição as condições ambientais .....	104
<b>Tabela 4.29</b> - Viscosidades aparentes (mPa s) a 15 °C da polpa de murta integral e da Formulação 1 em diferentes velocidade de rotação .....	105
<b>Tabela 4.30</b> - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a polpa integral da murta e para a espuma da Formulação 1 referente a temperatura de 15 °C .....	106
<b>Tabela 4.31</b> - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a formulação (espuma) na temperatura de 15 °C .....	109

<b>Tabela 4.32</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	115
<b>Tabela 4.33</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	117
<b>Tabela 4.34</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados à secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	119
<b>Tabela 4.35</b> – Valores médios do teor de água (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	121
<b>Tabela 4.36</b> – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	123
<b>Tabela 4.37</b> – Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1) em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	124
<b>Tabela 4.38</b> – Valores médios da intensidade do vermelho ( $+a^*$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	126
<b>Tabela 4.39</b> – Valores médios da intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	127
<b>Tabela 4.40</b> – Valores médios da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da polpa da murta em pó em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	128
<b>Tabela 4.41</b> – Valores médios de pH da polpa da murta em pó (Formulação 1) em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	129

<b>Tabela 4.42</b> – Valores médios da acidez total titulável (% ác. cítrico) da polpa de murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	131
<b>Tabela 4.43</b> – Valores médios da molhabilidade (g/min) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	132
<b>Tabela 4.44</b> – Valores médios de insolubilidade (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	134
<b>Tabela 4.45</b> – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó desidratada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com espessura de camada de espuma de 0,5 cm .....	136
<b>Tabela 4.46</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 0,5 cm de espessura da camada de espuma .....	137
<b>Tabela 4.47</b> – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1) desidratada na temperatura de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com a espessuras de camada de espuma de 1,0 cm .....	140
<b>Tabela 4.48</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 1,0 cm de espessura da camada de espuma .....	141
<b>Tabela 4.49</b> - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1) desidratada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com a espessura da camada de espuma de 1,5 cm .....	144

<b>Tabela 4.50</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 25 °C da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 1,5 cm de espessura da camada de espuma .....	145
<b>Tabela A.1</b> - Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa integral da murta em função da velocidade de rotação (rpm) para diferentes temperaturas .....	186
<b>Tabela C.1</b> – Análise de variância dos valores médios do teor de água das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	192
<b>Tabela C.2</b> – Análise de variância dos valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	192
<b>Tabela C.3</b> – Análise de variância dos valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	193
<b>Tabela C.4</b> – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	193
<b>Tabela C.5</b> – Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	194
<b>Tabela C.6</b> – Análise de variância dos valores médios da diferença total de cor das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	194
<b>Tabela C.7</b> – Análise de variância dos valores médios da acidez total das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	195
<b>Tabela C.8</b> – Análise de variância dos valores médios do rendimento das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	195

<b>Tabela C.9</b> – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	196
<b>Tabela C.10</b> – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	196
<b>Tabela C.11</b> – Análise de variância dos valores médios das antocianinas totais das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta .....	197
<b>Tabela E.1</b> – Análise de variância dos valores médios da densidade das espumas em função das diferentes formulações e diferentes tempos de batimento .....	201
<b>Tabela E.2</b> – Análise de variância dos valores de <i>over-run</i> em função das diferentes formulações e diferentes tempos de batimento .....	201
<b>Tabela G.1</b> – Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	207
<b>Tabela G.2</b> – Análise de variância dos valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	207
<b>Tabela G.3</b> – Análise de variância dos valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	208
<b>Tabela G.4</b> – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	208
<b>Tabela G.5</b> – Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	209
<b>Tabela G.6</b> – Análise de variância dos valores médios da diferença total de cor do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	209

<b>Tabela G.7</b> – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% ac. cítrico) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma.....	210
<b>Tabela G.8</b> – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade (g/min) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	210
<b>Tabela G.9</b> – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma .....	211

## 1 - INTRODUÇÃO

É sumamente importante viabilizar pesquisas e outros procedimentos voltados para ações que visem à preservação de frutíferas silvestres, como a murta, que está passando por um processo de extinção através da preservação, conservação e valorização dos frutos, tornando-os disponíveis à sociedade (CRISÓSTOMO et al., 2008).

A murta, pertencente à família Myrtaceae, é uma frutífera não-tradicional, com atrativos e aspectos comerciais praticamente desconhecidos, com potencial para o consumo *in natura* e o processamento agroindustrial; permanece subexplorada e praticamente sem valor de mercado. Para alterar este quadro é preciso submeter a espécie a domesticação, a qual, para ser justificada, demanda informações nutricionais e o desenvolvimento de métodos de conservação para industrialização em escala comercial.

A secagem da polpa da murta e a transformação em pó, constituem uma opção de levar produtos desta fruta para o mercado consumidor; este tipo de produto tem potencial para ser muito bem recebido pelos consumidores, em virtude de ser prático e de qualidade, além de possibilitar a comercialização do produto em lugares distantes dos locais de produção, ajudando a valorizar e preservar esta espécie nativa do Nordeste do Brasil.

A desidratação de suco de fruta é um dos processos mais ativos na indústria de alimentos, e ajuda a manter a qualidade por maior tempo e ainda reduz as perdas pós-colheita (KADAM et al., 2010). Além de ser utilizado como método de conservação retarda a deterioração e perdas do valor comercial, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado (GURJÃO, 2006).

Cada método de secagem tem suas vantagens e desvantagens em termos de propriedades, custo e eficiência; entretanto, o produto seco transformado em pó tem massa e tamanho reduzidos, estabilidade biológica, de fácil transporte e manuseio (SANSONE et al., 2011).

Uma maneira conveniente para aumentar a vida útil e melhorar as características sensoriais de diversos produtos é através da secagem por aspersão (*spray drying*) com adição de polímeros (ERSUS & YURDAGEL, 2007). É um método amplamente utilizado para a transformação de uma grande variedade de alimentos líquidos em forma de pó (JAYASUNDERA et al., 2009). O tempo de secagem das gotículas no processo é muito curto em comparação com a maioria dos processos de secagem, e a duração total é de apenas alguns segundos (SCHUCK et al., 2009). A rápida evaporação da água no processo permite manter a baixa temperatura das partículas de maneira que a alta temperatura do ar

de secagem pode ser aplicada sem afetar a qualidade do produto (ROUSTAPOUR et al., 2009). Isto resulta em pós com boa característica reconstitucional, baixa atividade de água e de fácil transporte e armazenamento (KHA et al., 2010).

As características do produto líquido (viscosidade, tamanho das partículas, densidade) e do ar de secagem (temperatura, pressão e umidade relativa), tal como o tipo de atomizador, influenciam nas propriedades físico-químicas, nas características sensoriais, nutricionais e no rendimento do produto (TONON et al., 2008).

Outro método alternativo de secagem para produção de produtos alimentícios em pó é a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). Este processo também ajuda a preservar os nutrientes da polpa por tempo prolongado e logo após a desidratação, em que o pó pode ser reconstituído em suco e/ou usado como ingrediente para preparação de bebidas e alimentos (KADAM et al., 2010). Durante a última década esta tecnologia tem recebido atenção renovada devido à sua capacidade de produzir produtos de boa qualidade, mantendo seus compostos voláteis que, de outra forma, seriam perdidos em outros tipos de secagem mas têm sido reconhecidos como um dos métodos mais eficazes (KUDRA & RATTI, 2006; KADAM & BALASUBRAMANIAN, 2011).

## **1.1 – Objetivos**

### **1.1.1 – Objetivo geral**

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de se estudar a transformação da polpa da murta em um produto em pó, utilizando dois processos de secagem: secagem por aspersão e secagem em camada de espuma.

### **1.1.2 - Objetivos específicos**

- Determinar as características químicas, físicas e físico-químicas da polpa da murta integral.

### **Secagem por aspersão**

- Caracterizar, quanto aos parâmetros químicos, físico-químicos e físicos, a formulação de polpa de murta adicionada de água destilada (1:1) e 30% de maltodextrina com dextrose equivalente (DE - 14);
- Secar, em secador por aspersão, a formulação elaborada em diferentes temperaturas do ar de secagem (150, 170 e 190 °C).

### **Secagem em camada de espuma**

- Elaborar formulações compostas por polpa de murta e diferentes concentrações dos aditivos comerciais Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup>;
- Caracterizar, química, física e físico-quimicamente, a formulação selecionada;
- Desidratar a formulação selecionada através do método de secagem em camada de espuma em estufa com circulação de ar, em diferentes temperaturas de secagem (50, 60, 70, 80 e 90 °C) e espessuras da camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm), avaliando-se as cinéticas de secagem.

### **Amostras em pó**

- Caracterizar, química, física e físico-quimicamente, as amostras em pó;
- Determinar as isotermas de adsorção de água das amostras em pó na temperatura de 25 °C.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Murta

A família Myrtaceae compreende cerca de 100 gêneros e 3000 espécies de árvores e arbustos que se distribuem por todos os continentes, com exceção da Antártida, mas com nítida predominância nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (MARCHIORI & SOBRAL, 1997).

É considerada uma das famílias mais importantes em florestas tropicais. São árvores ou arbustos aromáticos que, frequentemente, produzem frutos comestíveis. Vários membros desta família são utilizados na medicina popular, sobretudo como antidiarreico, antioxidante, antimicrobiana, purificadores, antirreumáticos, agente anti-inflamatório e redutor de colesterol. Além disso, alguns frutos são consumidos *in natura* ou na forma de sucos, licores e doces. A composição e o sabor de algumas frutas pertencentes à família Myrtaceae, têm sido extensivamente estudados em virtude dos aromas agradáveis e intensos (STEFANELLO et al., 2011).

No Brasil, pesquisas relativas às Mirtáceas, são escassas, necessitando-se, na literatura de trabalhos sobre a maioria de suas espécies. Esta restrição do conhecimento pode ser explicada pela complexidade taxonômica da família, pelo elevado número de espécies no país e dificuldade de sua identificação (DENARDI & MARCHIORI, 2005).

Segundo LEGRAND & KLEIN (1978), a *Blepharocalyx*, pertence à subfamília Myrtoideae, é gênero sul-americano com aproximadamente 30 espécies. Desenvolve-se nos mais variados ambientes ou estágios da vegetação, desde campos abertos até sub-bosques desenvolvidos (LORENZI, 1998).

A *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.), pertencente à família Myrtaceae, conhecida popularmente por murta, tem ampla distribuição geográfica no Rio Grande do Sul (DENARDI & MARCHIORI, 2005). É uma árvore de pequeno porte com tamanho variando de 4 a 30 m, com tronco geralmente reto, que pode chegar a 40 cm de diâmetro (SILVA JÚNIOR, 2005). As flores são hermafroditas, esbranquiçadas e se reúnem em dicásios de 3 a 15 flores, mais curtos que as folhas (CARVALHO, 2006). O fruto é uma baga globosa de 3 a 5 mm, com uma cicatriz quadrangular e possui de uma a 4 sementes. A semente é reniforme, esverdeada, medindo de 4 a 5 mm de comprimento e o embrião possui a forma de espiral. As folhas apresentam margens inteiras, opostas ou alternas, com

glândulas oleíferas translúcidas no limbo, nervura submarginal e estípulas muito pequenas, prontamente caducas (REGO, 2008).

O uso popular de suas folhas é como digestivo, adstringente, antibacteriano, antiespasmódico. As folhas apresentam (extrato bruto) atividade antioxidante, sendo que as mais pronunciadas são frações de acetato (92,62%), hexânica (96,53%) e o extrato bruto (91,34%) na concentração de 100 µg/mL (CERON et al., 2006).

No Brasil é conhecida popularmente como murta, cambuí, cambuim, maria-preta, murtinha, guruçuca, pitanga-da-várzea, vassourinha, guabiju, pitangueira do banhado, piúna-preta, murteira, guabiroba e guamirim (REGO, 2008).

RUFINO et al. (2009) observaram, ao caracterizar a murta (*Blepharocalyx salicifolius*), oriunda do Crato, Ceará, propriedades de qualidade que indica um potencial para consumo *in natura* e processamento agroindustrial. As características físicas e químicas da fruta murta são apresentadas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** – Caracterização de murta (*Blepharocalyx salicifolius*)

Parâmetro	Valor
Sólidos solúveis totais (°Brix)	20,73 ± 0,45
Sólidos solúveis (%)	15,22 ± 0,22
Acidez total titulavel (%)	0,64 ± 0,08
pH	4,05 ± 0,00
SST/ATT	32,60 ± 4,43
Amido (%)	2,74 ± 0,10
Pectina (%)	0,67 ± 0,13
Pectina solúvel (%)	0,10 ± 0,01

Fonte: RUFINO et al. (2009)

CRISÓSTOMO et al. (2008) encontraram no município de Guanacés – CE, murta (*Eugenia insipida* St. Hil.) - espécie também pertencente à família Myrtaceae; os arbustos têm aproximadamente 1,50 m de altura com muita massa; o fruto é pequeno porém essa perda em tamanho talvez seja compensada, em produtividade (número de frutos/planta), pois sua carga de frutificação é muito elevada; os frutos apresentam formato globoso, sabor e coloração semelhante à da pitanga (*Eugenia uniflora* L.) porém lisos e de tamanho inferior, além de apresentar um aroma muito agradável. Por sua semelhança com a pitanga

e pertencer à mesma família (Myrtaceae), pode-se levantar a hipótese de se tratar de uma *pitanga selvagem*.

No Chile existem três espécies de murta: *Ugni molinae* Turcz, *Ugni condollei* (Barn) Berg e *Ugni selkirkii* (H. e A.) Berg, as duas primeiras localizadas no continente e a terceira em Juan Fernandez, diferenciados por características morfológicas, principalmente a cor do fruto (VENEGAS et al., 1995).

HEVIA et al. (1993) também distinguiram três grupos de murta, de acordo com a cor da casca do fruto (verde claro a branco, verde claro a branco com tons de vermelho, vermelho coral para quase preto). Nesses frutos foi determinada a presença de sólidos solúveis (13,1-17,7%) e de açúcares como a glicose, frutose e sacarose, cujas médias variaram de 2,42-4,07 g/100 g para a frutose, 1,45-1,88 g/100 g de glicose e 3,43-4,95 g/100 g de sacarose.

A murta, *Ugni molinae* Turcz, pertencente à família Myrtaceae, é uma planta nativa do Chile, silvestre cujo fruto é utilizado industrialmente para fabricação de cosméticos, produtos farmacêuticos e para uso culinário (AGUILERA et al., 2009).

Tradicionalmente, o extrato de água quente de suas folhas é altamente valorizado por seus benefícios fisiológicos. Além disto, as frutas vermelhas podem ser consumidas *in natura* ou processadas, por conter sabor agradável (MONTENEGRO, 2002).

A principal forma de comercialização deste fruto é o doce, no entanto, suas características o tornam boa alternativa para o desenvolvimento de alimentos processados como compotas e licores (ALVARADO, 2005).

Para VENEGAS et al. (1993) a murta é uma fruta pequena e leve, que tem o teor de sólidos solúveis comparado ao de framboesa, morango e mirtilo, e que apresenta acidez inferior indicando uma capacidade reduzida de resistir a longos períodos de armazenamento e rápida deterioração.

Tem-se constatado, nos últimos anos, um interesse crescente para o uso comercial desta planta na área de alimentos e cosméticos (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2007).

Na Tabela 2.2 se apresentam as características físico-químicas da polpa da murta cultivada no Chile.

**Tabela 2.2** – Caracterização da murta (*Ugni molinae* Turcz)

Parâmetro	Valor
Teor de água (%)	84,14 ± 1,51
Sólidos solúveis totais (°Brix)	13,50 ± 0,19
Acidez (meq/100 g)	12,04 ± 0,80
pH	3,35 ± 0,05

Fonte: DARQUEA (2002)

## 2.2 - Secagem de frutas

Segundo ANSELMO et al. (2006) a comercialização de frutos está restrita à sua sazonalidade e, em razão da alta perecibilidade necessita de técnicas de conservação que possam viabilizar a utilização nas indústrias e no consumo doméstico fora do período de safra.

A principal forma de comercialização de algumas frutas se dá na forma de polpas congeladas; esta forma de processamento e conservação implica em custos elevados com armazenamento e transporte (DANTAS, 2010).

Os processos de industrialização são uma maneira prática e simples de se aproveitar o excesso de frutas produzidas na safra e tornar a matéria-prima disponível no restante do ano para a comercialização sem a necessidade da cadeia de frio e estável quanto às alterações microbiológicas e enzimáticas (PINTO, 2009; MARQUES, 2009).

Uma técnica muito utilizada para se manter a qualidade e a estabilidade dos alimentos sem que se torne necessária a cadeia do frio, é a secagem. O processo é considerado uma das mais antigas formas de conservação de alimentos, no qual o teor de água é reduzido e mantém os produtos estáveis a temperatura ambiente (SOUZA NETO et al., 2005).

A secagem é uma operação unitária de retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação, mediante aplicação de calor em condições controladas, que faz decrescer sua atividade de água permitindo, assim, minimizar a deterioração causada pelas reações microbiológicas e enzimáticas (KAJIYAMA & PARK, 2010). Esta redução da atividade de água permite a manutenção da qualidade físico-química do produto armazenado durante longos períodos (SOUSA et al., 2007).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais podem ser citadas a facilidade na conservação do produto, a estabilidade dos componentes

aromáticos em temperatura ambiente por longos períodos de tempo, a proteção contra degradação enzimática e oxidativa e a disponibilidade do produto, em qualquer época do ano (ARLINDO, 2005). Tornando viável uma enorme variedade de produtos para fins comerciais.

Para a realização da secagem são empregados secadores industriais conforme as características do material a ser desidratado, a forma que se deseja dar ao produto e a qualidade do produto final. Entre as técnicas empregadas para produzir materiais na forma de pó pode-se citar a: liofilização; secagem em camada de espuma (*foam mat drying*); encapsulação de sucos por cocristalização com sacarose; secagem por aspersão (*spray drying*) e secagem em leito fluidizado, dentre outros.

### **2.2.1 - Secagem por aspersão**

Os equipamentos industriais com vista à desidratação de alimentos, são desenvolvidos a partir de algumas condições de secagem, como estática, dinâmica, fluidizada e diluída. A secagem na condição diluída pode ser através de secadores por atomização, também conhecidos como secadores por aspersão, nebulização ou *spray dryer* que são amplamente utilizados na secagem industrial de diversos produtos (OI et al., 2010).

O processo consiste em pulverizar uma solução líquida ou pastosa exposta a uma corrente de ar quente não saturada que deverá remover sua água, permitindo que o soluto que se encontrava diluído na solução seja obtido em forma de pó (OLIVEIRA FILHO, 2007).

A qualidade dos produtos obtidos depende, contudo, das características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade), do tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador, transferência de calor e massa entre o ar aquecido e as características do ar de secagem (TONON et al., 2009). Também está associada à sua estabilidade e as altas temperaturas empregadas nesta operação (GUIMARÃES, 2010).

As principais vantagens da secagem por aspersão são: garantia da integridade das propriedades e da qualidade do produto; secagem a pressão atmosférica; grandes produções em operação contínua; produção de partículas relativamente uniformes e esféricas com aproximadamente a mesma proporção de compostos voláteis do produto inicial em que a eficiência é comparável a outros tipos de secadores diretos (FILKOVÁ & MUJUMDAR, 1995). Mantém alta estabilidade de armazenamento, facilidade de manuseio

em algumas aplicações, minimização do peso para o transporte em comparação com concentrados líquidos. Inclui, também, a capacidade de produzir rapidamente um pó seco (em relação à liofilização) (OBÓN et al., 2009). Além de manter as características nutricionais do produto devido ao curto tempo de contato do material com o ar aquecido (ANSELMO et al., 2006).

O produto a ser seco através do processo por aspersão pode ter alguns problemas em suas propriedades, em razão da presença de ácidos e açúcares de baixo peso molecular (BHANDARI et al., 1993). Assim, o pó pode aderir à parede do secador durante a secagem levando a problemas operacionais e à redução do rendimento do produto (GOULA & ADAMOPOULOS, 2005).

Parte desses problemas pode ser resolvida por meio da adição de aditivos que evitam a caramelização dos açúcares que existem nas polpas de frutas, antes do líquido ser atomizado. Durante o processo de secagem por aspersão o aditivo pode envolver as partículas sólidas formando uma microcápsula. Mediante este processo simples e rápido, seca-se o produto com qualidade e com a preservação das características essenciais (ANSELMO et al., 2006).

ENDO et al. (2007) observaram, trabalhando com suco de maracujá natural e adicionado de açúcar utilizando a secagem por aspersão, que a adição de açúcar aumentou a solubilidade, a molhabilidade, o tamanho da partícula e os valores de L\* (luminosidade), e diminuiu os parâmetros de cor (a e b). Esses pesquisadores também avaliaram a estabilidade do pó acondicionado em embalagens laminadas durante 120 dias de armazenamento, em temperaturas de 30 e 40 °C e 84% de umidade relativa e constataram que alterações ocorreram nos produtos adicionados de açúcar e expostos a 40 °C em relação aos parâmetros de cor e tamanho da partícula, tornando-se escuros e aglomerados, não sendo recomendada esta adição. Do ponto de vista físico, o período seguro para armazenamento de suco de maracujá natural desidratado foi de 120 dias a 30 °C e 60 dias a 40 °C.

BARBOSA (2010) verificou, ao avaliar a influência das condições do ar de secagem (155 e 165 °C) e da adição da maltodextrina com dextroses equivalentes (DE) de 10 e 20, em concentrações de 12, 15, 18 e 21% sobre os parâmetros de qualidade do pó de mistura de frutas (cajá, manga e mamão) obtido por secagem por aspersão que o suco elaborado utilizando-se a maltodextrina 10 DE (12%) e temperatura de 155 °C apresentou melhores atributos de qualidade e propriedades funcionais.

KHA et al. (2010) observaram, estudando os efeitos da temperatura de secagem (120, 140, 160, 180 e 200 °C) e a adição de maltodextrina (10, 20 e 30%) sobre a polpa da fruta *Momordica cochinchinensis* (Gac - família Cucurbitaceae) que o teor de água, densidade, cor, carotenoides totais, eficiência de encapsulação e atividade antioxidante total, foram significativamente afetados pela concentração de maltodextrina e temperatura de secagem, mas a atividade de água, o pH e a solubilidade não foram influenciados pelas condições de secagem. O pó Gac com boa qualidade em termos de cor, carotenoides e atividade antioxidante, pode ser produzido na temperatura de secagem de 120 °C e a adição de 10% de maltodextrina.

ERSUS & YURDAGEL (2007) concluíram, ao secar cenouras pretas (*Daucus carota* L.), por possuírem alto teor de antocianinas ( $125 \pm 17,22$  mg/100 g), usando o secador por aspersão e diferentes maltodextrinas [Stardri 10 (10 DE), Glucodry 210 (20-23 DE) e MDX 29 (28-31 DE)] como veículo e agente de revestimento, que a temperatura do ar de secagem na entrada e saída (200/131 °C) causou maior perda de antocianina durante a secagem. Os atributos de melhor retenção de qualidade do pó quanto à antocianina, capacidade antioxidante, parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e H), matéria seca e higroscopicidade, foram obtidos utilizando-se a temperatura de 160 °C e a maltodextrina Glucodry 210.

OLIVEIRA et al. (2006) observaram, ao desidratar a formulação composta de polpa de pitanga com a adição de 15% de maltodextrina em secador por atomização, que o pó coletado na câmara de secagem e o pó coletado no ciclone apresentaram valores significativamente diferentes de teores de água, açúcares redutores, extrato alcoólico, densidade e tempo de escoamento e estatisticamente iguais em relação aos valores médios de ácido ascórbico, acidez total titulável e proteínas.

OLIVEIRA et al. (2007) formularam polpas de maracujá e abacaxi com diferentes concentrações de maltodextrina (MD) (10 e 15% para o abacaxi e 10, 12,5 e 15% para o maracujá) e velocidade de atomização, para verificar alterações na qualidade sensorial em relação ao suco formulado com polpa concentrada usado como controle (padrão). Os resultados apresentados no teste de diferença do controle indicaram perda de qualidade para a polpa de maracujá devido ao sabor amargo e à alteração de cor, além de melhoria da cor e sabor do abacaxi, indicando que uma concentração menor de MD (10%) foi o fator que mais contribuiu para a melhor qualidade deste suco. A velocidade de atomização exerceu efeitos contrários para esses produtos mas se recomenda a utilização de menores valores para evitar oxidação de pigmentos e manutenção da cor.

SOUZA et al. (2009) estudando a influência das variáveis: temperatura do ar de secagem (200, 210, 220 °C), vazão de alimentação e velocidade do atomizador sobre as propriedades físicas da polpa de tomate em pó observaram que essas variáveis não tiveram efeito significativo sobre a porosidade e densidade verdadeira mas as melhores condições de secagem para a produção de tomate em pó, menor teor de água e maior densidade aparente, foram: temperatura do ar de 200 °C; vazão da alimentação de 276 g/min e velocidade do atomizador de 30000 rpm.

TONON et al. (2009) submeteram o suco de açaí a diferentes temperaturas do ar de secagem (138 a 202 °C) e diferentes concentrações de maltodextrina (10 a 30%), para verificar a influência da temperatura e a concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó produzido por aspersão. O aumento da temperatura resultou em partículas maiores, menos úmidas, mais higroscópicas e com menor retenção de antocianinas, além de provocar diminuição do parâmetro de cor L\* e do ângulo de tom H\*. O aumento na concentração de maltodextrina resultou em partículas maiores e menos higroscópicas, com maior luminosidade (L\*), menores valores de C\* e maiores valores de H\*. O aumento da temperatura levou à formação de uma quantidade maior de partículas com superfície lisa, fato atribuído à maior transferência de calor e, conseqüentemente, à formação mais rápida de uma membrana ao redor da gota atomizada.

### **2.2.1.1 - Aditivos**

A alternativa que vem sendo utilizada para secar produtos por aspersão é através da adição de aditivos de alto peso molecular no produto com a finalidade de aumentar a temperatura de transição vítrea (SHRESTHA et al., 2007). A quantidade de aditivo não deve exceder os limites operacionais do equipamento (que pode aumentar a viscosidade e afetar negativamente o desempenho) nem alterar o sabor (BHANDARI et al., 1993).

Os aditivos, além de reduzir a higroscopicidade do pó, pode proteger os componentes sensíveis dos alimentos contra condições desfavoráveis do ambiente; podem mascarar ou preservar sabores e aromas, reduzir a volatilidade e a reatividade e fornecer atrativo a mais para a comercialização dos alimentos (RÉ, 1998). Os mais utilizados para obtenção de frutas em pó são provenientes de amido parcialmente hidrolisado. Esses polímeros de sacarídeo d-glucose têm sabor neutro, cor branca, ausência de odor e de fácil digestão. Eles são geralmente classificados de acordo com seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (MARCHAL et al., 1999).

Os agentes transportadores mais comuns usados para sucos de frutas são maltodextrinas e goma arábica (GABAS et al., 2007; RIGHETTO & NETTO, 2005).

A maltodextrina é produzida a partir da hidrólise parcial do amido que consiste em unidades de  $\alpha$ -D-glicose ligadas principalmente por ligações glicosídicas, descritas por sua equivalência de dextrose (DE) (BEMILLER & WHISTLER, 1996). De acordo com a United States Food and Drug Administration (USFDA), a maltodextrina apresenta uma DE menor que 20 enquanto polímeros com DE maiores que 20 são considerados xarope de glicose (MARCHAL et al., 1999).

A goma arábica é obtida da planta acácia com estrutura altamente ramificada com uma cadeia principal formada por D-galactopirranose (BEMILLER & WHISTLER, 1996).

A fécula de mandioca é uma farinha refinada obtida por fermentação natural que tem sido utilizada por algumas empresas brasileiras como veículo na produção de sucos de frutas em pó destacando-se as vantagens de ausência de aroma e sabor, alta disponibilidade e baixo custo (TONON et al., 2009).

#### **2.2.1.1.1 - Maltodextrina**

Atualmente, a maltodextrina é considerada importante instrumento na secagem por aspersão; por ser agente encapsulante de propriedades sensíveis é razoavelmente barato, tem grande disponibilidade comercial e ainda é considerada auxiliar de secagem para preservar a cor e as propriedades antioxidantes (KHA et al., 2010).

Tem funções múltiplas, incluindo a capacidade de retenção de sabor e gordura, redução da permeabilidade de oxigênio (SANSONE et al., 2011). É utilizada como transportadora e agente de revestimento (ERSUS & YURDAGEL, 2007). Totalmente solúvel em água e protege o produto encapsulado de oxidação (SHAHIDI & HAN, 1993).

A microencapsulação (revestimento de polímero) reduz o teor de água e age como barreira física ao oxigênio enquanto pequenas moléculas químicas inibem a degradação enzimática (WANG et al., 2009). Algumas vezes pode ocorrer ruptura da integridade estrutural do material encapsulado produzindo, assim, aglomeração ou aglutinação do pó (BAE & LEE, 2008). Como resultado, os processos de degradação e oxidação podem ocorrer durante o período de armazenamento (SANSONE et al., 2011).

A adição de maltodextrina na formulação aumenta o conteúdo de sólidos totais e reduz a quantidade de água para ser evaporada, resultando em uma diminuição no teor de água do pó. Desta forma, pós com baixo teor de água podem ser obtidos pelo incremento

na porcentagem de maltodextrina adicionada. Entretanto, se esta proporção for muito alta o pó produzido poderá ser de baixa qualidade em função da diluição dos nutrientes inicialmente presentes (QUEK et al., 2007).

TONON et al. (2008), realizaram um estudo quanto à influência da concentração da maltodextrina (10, 20 e 30%) sobre as propriedades do açaí, aplicando a secagem por aspersão e observaram que a concentração de maltodextrina exerceu efeito negativo sobre a higroscopicidade do pó, confirmando sua eficácia como agente transportador.

A maltodextrina é usada isolada ou em combinação com outros materiais em processamento de alimentos e medicamentos de extratos de plantas, aditivos aromáticos, carotenoides e vitaminas (SADEGHI et al., 2008; PIERUCCI et al., 2007).

### **2.2.2 - Secagem em camada de espuma**

A secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) é uma das técnicas empregadas para obtenção de produtos alimentícios em pó, podendo ser realizada em equipamentos diversos, simples, contínuos ou descontínuos, e ser utilizado gás inerte, quando necessário (DANTAS, 2010). Segundo SILVA et al. (2008b) esta técnica é aplicada à secagem de alimentos líquidos ou semilíquidos, os quais são transformados em uma espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura e adição de agente emulsificante/estabilizante.

O estabilizante é a substância que torna possível a manutenção de uma dispersão uniforme de duas ou mais substâncias imiscíveis em um alimento, podendo ser de vários tipos, mas os mais comuns atuam em emulsões e daí serem chamados de emulsificantes. Essas substâncias não só ajudam o alimento a não ter separação física mas também contribuem na melhoria das condições reológicas, incluindo a formação de gel e um perfil de viscosidade desejável (GAVA et al., 2008).

Segundo KOKINI & AKEN (2006), as emulsões podem ser agrupadas em emulsões líquidas, espumas e emulsões de geis. Emulsões líquidas são aquelas em que a fase contínua e a fase dispersa são líquidas. As espumas são emulsões cujo ar é a fase dispersa na fase contínua líquida. Por fim, as emulsões de geis são as em que a fase contínua é semissólida como pasta ou um gel; a presença de espessantes pode ser necessária, seja na fase dispersa ou na contínua.

Os espessantes são substâncias que aumentam a viscosidade de um alimento, os quais são passíveis de se apresentar como soluções, emulsões e suspensões. Por possuírem peso molecular elevado irão aumentar a consistência dos alimentos (GAVA et al., 2008).

As propriedades espumantes abrangem a capacidade de formação de uma dispersão ar em água, devido à expansão do volume da dispersão promovida por um emulsificante com incorporação de ar através das técnicas de batimento, agitação ou aeração (CAPITANI, 2004).

O processo de secagem em camada de espuma consiste, basicamente, de três etapas: transformação do suco ou da polpa em espuma estável, com aditivos; desidratação do material em camada fina até massa constante e desintegração da massa seca e, finalmente, em pó (SILVA et al., 2005a).

Este processo é um método de desidratação altamente apropriado para produtos sensíveis ao calor e alimentos viscosos. As taxas de secagem em camada de espuma são comparativamente altas em virtude de um enorme aumento na relação do gás líquido. O produto obtido através da desidratação mantém alta qualidade oferecendo grandes possibilidades comerciais (SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

Representa uma alternativa para as micro e pequenas empresas, por se tratar de uma técnica mais barata e simples e o produto obtido pelo processo tem qualidade comparável à outros métodos de secagem para alimentos líquidos, como a secagem por aspersão, secagem com tambor rotativo e liofilização (MARQUES, 2009).

Devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, o processo de remoção de água é acelerado obtendo-se um produto poroso, de fácil reidratação, com sabor e valor nutricional preservados (FRANCIS, 2000).

RAJKUMAR et al. (2007) desidrataram polpa de manga através do método de secagem em camada de espuma utilizando albumina de ovo (5, 10 e 15%), como agente espumante e como agente estabilizador a metilcelulose (0,5%), e três espessuras de camada (1, 2 e 3 mm). As formulações foram secas usando-se quatro temperaturas 60, 65, 70 e 75 °C, em esteira de teflon. Com base na análise estatística observou-se que o pó obtido utilizando albumina de ovo (10%) e metilcelulose (0,5%), secos na temperatura de 60 °C e com 1 mm de espessura, manteve retidas quantidades significativamente maiores de constituintes quando comparadas com os outros tratamentos.

THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) realizaram experimentos com a desidratação da banana a fim de estudar as influências do tempo de secagem (60, 70 e 80 °C), da densidade da espuma (0,3, 0,5 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>) e da concentração da albumina de ovo

sobre as características de secagem e qualidade do produto final, em termos de textura e microestrutura, usando espessura de 5 mm e velocidade do ar superficial de 0,5 m/s; os resultados experimentais indicaram que a estrutura porosa das espumas com densidades baixas resultou em maiores taxas de secagem, teor de água, difusividade e menor dureza. A temperatura de secagem e a concentração do agente espumante não influenciaram nas propriedades texturais do produto final; entretanto, a formulação que apresentou densidade de 0,5 g/cm<sup>3</sup> e temperatura de secagem de 80 °C é a recomendada.

DANTAS (2010) testou o efeito da temperatura (60 e 70 °C) e a espessura da camada de espuma (4 e 11 mm) sobre os constituintes das polpas de abacaxi e manga, formuladas com os aditivos, Liga Neutra Artesanal e emulsificante. Conforme os resultados, as condições que favoreceram as melhores taxas de secagem foram a temperatura de 70 °C e a espessura da camada de espuma de 4 mm. Avaliando o impacto da temperatura sobre a vitamina C observou-se que os pós de abacaxi e manga desidratados a 70 °C apresentaram maior retenção de ácido ascórbico devido ao menor tempo de exposição das espumas ao calor; os produtos em pó apresentaram elevada solubilidade e rápida reconstituição em água.

FURTADO et al. (2010) obtiveram, avaliando o efeito da temperatura sobre o teor de ácido ascórbico da polpa de seriguela formulada com 5% de composto proteico à base de albumina e homogeneizada até a espuma alcançar densidade aparente entre 0,45 e 0,50 g/cm<sup>3</sup> e seca utilizando estufa de circulação de ar forçada nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C os melhores resultados para o teor de ácido ascórbico nas temperaturas de 70 e 80 °C.

PINTO (2009) realizou um estudo para avaliar as propriedades da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) formulada com diferentes aditivos para uma secagem em camada de espuma. Visando à formação das espumas foi utilizada polpa de jenipapo com os aditivos: albumina, Emustab<sup>®</sup>, maltodextrina e Superliga<sup>®</sup> nas concentrações de 5, 10, 15 e 20% (p/p). A espuma de jenipapo com os aditivos maltodextrina e Emustab<sup>®</sup> em todas as concentrações estudadas, apresentou melhor estabilidade a 25 e 50 °C; já para a atividade de água e para o teor de água o aditivo, que mais reduziu com o aumento das concentrações foi à Superliga<sup>®</sup>; a maltodextrina foi o aditivo com menor alteração na cor da espuma em relação à polpa integral. Concluiu-se que, como a massa específica e a estabilidade da espuma são as características mais relevantes para uma secagem posterior em camada de espuma, o Emustab<sup>®</sup> foi o aditivo que obteve os melhores resultados para tais características.

SILVA et al. (2008b) secaram a polpa de tamarindo em estufa com circulação de ar a 50, 60, 70 e 80 °C utilizando, para obtenção da espuma, quantidade de 5% do composto proteico à base de albumina (Advanced Nutrition), resultando numa densidade aparente média entre 0,45 e 0,50 g/cm<sup>3</sup> e com camada de 0,5 cm de altura, a fim de avaliarem a temperatura de secagem que apresentasse o menor efeito no teor de ácido ascórbico, acidez total titulável e na cor, expressa pelos parâmetros luminosidade (L\*) e matiz (h°). De acordo com os resultados obtidos tem-se que a temperatura é fator determinante no processo de desidratação e que os melhores resultados para o teor de ácido ascórbico, acidez titulável e cor, foram obtidos para as temperaturas de 60 e 70 °C.

ALEXANDRE et al. (2007) elaboraram, para obtenção da pitanga em pó através do processo de secagem em camada de espuma, a formulação utilizando emulsificante e estabilizante à base de monoglicerídeos destilados, monoesterato de sorbina e polisorbato 60 e de espessante à base de carboximetil-celulose, sacarose e goma guar.

KADAM et al. (2010) usando leite como agente espumante em diferentes níveis de concentração (0, 10, 15, 20 e 25%) estudaram o impacto da temperatura do ar de secagem (65, 75 e 85 °C) sobre as propriedades químicas da espuma da manga e observaram que quase todas as propriedades químicas mostraram tendência decrescente com o aumento da temperatura de secagem; verificou-se que a adição de 10% de leite como agente espumante, e a secagem a 65 °C, apresentaram os melhores resultados.

MELO (2008) testou, ao desidratar a polpa do fruto do mandacaru pelo processo de secagem em camada de espuma, várias formulações com base na análise dos parâmetros expansão volumétrica, densidade e estabilidade da espuma; selecionou-se, como a melhor formulação (polpa do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>) um tempo de batimento de 5 min e densidade da espuma igual a 0,1566 g/cm<sup>3</sup>. A espuma selecionada foi desidratada em estufa com circulação de ar forçada a 70, 80 e 90 °C, com três diferentes espessuras (0,5; 1,0 e 1,5 cm). A secagem da formulação foi influenciada pela espessura da camada da espuma e pela temperatura de secagem sendo o processo mais rápido para as menores espessuras e temperaturas mais elevadas.

KARIM & WAI (1999) ao secar a polpa de carambola adicionaram várias concentrações da solução Methocel (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5%). Ao aplicar as temperaturas de 70 e 90 °C na emulsão que apresentou maior estabilidade (0,4% de Methocel), verificou que as condições experimentais empregadas, na temperatura de 90 °C ocasionaram perda substancial do sabor e escurecimento do produto e o tempo de secagem poderá ser reduzido em até 30 minutos quando a temperatura de 90 °C for aplicada.

### **2.2.2.1 - Cinética de secagem**

Segundo GOYAL et al. (2006) a secagem de alimentos é um fenômeno complexo, que requer representações para a predição do comportamento e otimização de seus parâmetros. O conhecimento de tais parâmetros é imprescindível para a indústria e é representado por modelos matemáticos os quais se aplicam a sistemas de secagem utilizando-se as informações sobre as propriedades termofísicas do alimento (BATISTA & TELIS-ROMERO, 2009).

A predição do tempo de secagem é o dado fundamental para o dimensionamento e a otimização de uma planta industrial de secagem (KAJIYAMA & PARK, 2008). E representam satisfatoriamente a perda de água do produto (AFONSO JÚNIOR & CORREA, 1999).

É através dos dados obtidos experimentalmente, através da cinética de secagem, que se faz possível a escolha do tempo de secagem, temperatura e vazão do ar para que se obtenha o material com teor de água capaz de suportar o tempo de armazenamento exigido pelo produto e, desta forma, obter produto de boa qualidade e atender à necessidade do mercado consumidor (HONORATO et al., 2002).

Conforme KAJIYAMA & PARK (2008) a cinética de secagem está dividida esquematicamente em três períodos, nas quais são analisadas as curvas de evolução do teor de água do produto, de sua temperatura e da velocidade de secagem ao longo do tempo, para um experimento utilizando-se ar de propriedades constantes. O primeiro período representa o início da secagem e nele ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água; o segundo período se caracteriza pela taxa constante de secagem, em que a água evaporada é a água livre, enquanto no terceiro período a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nesta fase é a redução da migração da água do interior para a superfície do produto; a temperatura do produto aumenta atingindo a temperatura do ar de secagem; quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

Vários modelos matemáticos são utilizados para representação do comportamento da secagem de diversos produtos (LIMA, 2006). Os modelos são classificados em três categorias, teóricos, semiteóricos e empíricos. Os modelos semiteóricos oferecem uma solução de compromisso entre a teoria e a facilidade de aplicação (AKPINAR, 2006).

FURTADO et al. (2010) realizaram o estudo da cinética de secagem da polpa de seriguela pelo método de camada de espuma em estufa de circulação forçada de ar, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Foram testados, ajustados e comparados aos dados experimentais, três diferentes modelos matemáticos; o modelo matemático que melhor descreveu o comportamento da secagem foi o Midilli & Kucuk.

FERNANDES (2011) ao desidratar a polpa de cajá através do processo de secagem em camada de espuma, elaborou e desidratou três formulações (espumas) em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e com espessura da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm. Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem; as curvas de secagem das espumas foram influenciadas pela espessura da camada e pela temperatura de secagem. O modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou às curvas de cinética de secagem das espumas.

LOUREIRO (2006) analisando a cinética de secagem da polpa de buriti desidratada em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C com espessura de 4 mm, ajustou os dados experimentais aos modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Henderson, constatando que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem.

### **2.3 - O produto em pó**

A partir do final da década de 1990 a formulação dos preparados em pó foi-se modificando para tornar-se mais atraente aos consumidores com a adição dos ingredientes usuais de polpa integral e, algumas vezes, de fibras solúveis, na composição dos produtos (SILVA et al., 2005a).

As tendências atuais é a busca por alimentos saudáveis e nutritivos e os sucos em pó podem ser perfeitamente integrados ao dia a dia, em função da facilidade de preparo e na utilização em bebidas instantâneas, tornando-se uma interessante alternativa em substituição aos similares artificiais existentes no mercado.

A polpa processada na forma de pó se trata, portanto, de um tipo de produto com potencial para ser muito bem recebido pelos consumidores, por se tratar de um produto natural, obtido a partir de sucos integrais de frutas utilizando-se um processo de secagem, reduzindo o peso e o volume dos sucos integrais (CANO-CHAUCA et al., 2005).

Apresenta fácil reconstituição em água possibilitando a adição com outros produtos (ALEXANDRE et al., 2007), com conseqüente economia em custos de embalagem, transporte e espaço de armazenamento (OLIVEIRA et al., 2007). Elimina o inconveniente da vida curta de prateleira e das despesas inerentes à conservação a frio. E parece ser uma alternativa muito interessante, principalmente para facilitar a exportação de sucos em forma de pó (OLIVEIRA, 2008). No entanto, a obtenção de sucos em pó de alta qualidade passa por algumas dificuldades. O tratamento térmico deve ser muito brando ou muito rápido, a fim de se obterem produtos que, uma vez reconstituídos, produzam sucos similares aos das correspondentes frutas *in natura*, sem muitas alterações nas propriedades sensoriais e antioxidantes (BHANDARI et al., 1997).

A estocagem de um produto em pó depende de fatores extrínsecos e intrínsecos. Como fatores extrínsecos, deve-se observar o tamanho e as propriedades da embalagem, condições ambientais de estocagem (umidade relativa, concentração de oxigênio, luz e temperatura), transporte e manuseio e dos fatores intrínsecos a composição química do alimento, tipo e concentração de aditivos (KOWALSKA & LENART, 2005; ALVES & BORDIN, 1998).

Os produtos em pó e com teor de água inferior a 5% geralmente são altamente higroscópicos, exigindo ambientes com baixa umidade relativa do ar nas operações finais de moagem, tamisação e envase (MARQUES, 2009).

O conhecimento do valor da atividade de água para os produtos em forma de pó é de fundamental importância visto que, por meio dela, pode-se propor sistemas adequados de embalagem para o produto, prever reações químicas e enzimáticas, e o desenvolvimento de micro-organismos (OLIVEIRA et al., 2011).

Para FRANK et al. (2012) polpas de frutas encapsuladas sob condições adaptadas podem melhorar a estabilidade das antocianinas que, fora do seu ambiente natural, são extremamente instáveis. Segundo PATRAS et al. (2010) as antocianinas são pigmentos que se tornaram foco de muitos estudos recentes devido às suas aplicações abundantes, seus efeitos benéficos e sua utilização como alternativa aos corantes artificiais em alimentos. Pertencem a uma classe de compostos fenólicos facilmente encontrados no reino vegetal, são pigmentos solúveis em água que conferem as cores (vermelho, azul e roxo) de frutas e vegetais e promove vários benefícios à saúde (CAVALCANTI et al., 2011).

## 2.4 - Atividade de água

Na composição química de frutas e hortaliças estão presentes vários componentes, mas em praticamente todos o que aparece em maior quantidade, é a água. A água está presente na maioria dos alimentos numa concentração entre 80-95% apresentando importância fundamental para os processos biológicos, além de influenciar na textura, aparência, sabor, na susceptibilidade de alterações e perecibilidade.

A estabilidade física, química e microbiológica dos alimentos, depende substancialmente do conteúdo de água e de sua interação com os outros componentes do alimento (SABLANI et al., 2007). Sendo esta interação expressa pela atividade de água, que representa a pressão de vapor de água do alimento em relação à pressão da água pura ( $p/p_0$ ), na mesma condição de temperatura (GAVA et al., 2008).

A atividade de água é um fator que influencia diretamente nas características dos alimentos e na sua estabilidade (KIRCHHOF et al., 2008). Indicando se o micro-organismo poderá crescer ou não (ALCÂNTARA et al., 2009).

O valor absoluto da atividade de água dá uma indicação segura do conteúdo de água livre do alimento, sendo esta a única forma de água utilizada por parte dos micro-organismos. A maioria das bactérias se desenvolve em atividade de água mínima de 0,91 – 0,88; as leveduras, em torno de 0,88 e dos bolores, no valor de 0,80. A possibilidade de alteração microbiana em alimentos acaba naqueles que apresentam atividade de água abaixo de 0,60, embora isto não signifique a destruição dos micro-organismos (HOFFMANN, 2001).

A representação gráfica da relação entre a atividade de água e o teor de água de equilíbrio de um alimento, a temperatura constante, fornece as curvas de teor de água de equilíbrio ou isotermas de sorção de água. Uma isoterma de sorção pode ser obtida em duas direções: durante a hidratação do material (adsorção) ou durante a secagem (dessorção) (TONELI, 2006).

A importância de estudar as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto é estabelecer se, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar, o mesmo tende a sorver ou dessorver água (OLIVEIRA et al., 2011).

Isotermas de sorção de água é uma ferramenta relevante para prever as interações entre a água e os componentes dos alimentos e fornece informações úteis para as operações de processamento de alimentos, tais como secagem, embalagens e estabilidade durante a

vida de prateleira dos alimentos, a qual é bastante significativa, para produtos em pó (LOMAURO et al., 1985).

São conhecidas como isotermas de sorção de água, em razão de essas curvas serem levantadas em temperatura constante (DITCHFIELD, 2000). As isotermas podem ser estimadas através da utilização de modelos matemáticos cuja vantagem reside no fato de que, com poucos pontos experimentais, pode-se construir uma isoterma que, por outro lado, é passível de ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixa e alta atividade de água (PENA et al., 1996). De acordo com GABAS et al. (2007) o critério usado para selecionar o modelo de sorção mais apropriado é o grau de ajuste aos dados experimentais.

MELO et al. (2008a) ajustando os dados experimentais das isotermas de adsorção de água do pó formulado de leite de cabra com polpa de umbu-cajá e 10% de maltodextrina coletado na câmara do secador por aspersão pelos modelos de Peleg, GAB e Oswin observaram que em todas as temperaturas estudadas (20, 25, 30, 35 e 40 °C), o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água. De maneira geral, o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou às isotermas de adsorção de água das amostras em pó.

LISBÔA (2010) determinou as isotermas de adsorção de água da amostra em pó obtido a partir da polpa de figo-da-índia pelo processo de secagem em camada de espuma, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e concluiu que os modelos de GAB, Peleg e Oswin podem ser utilizados para estimá-las, uma vez que todos os modelos representaram satisfatoriamente as isotermas de adsorção e todos se ajustaram aos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maiores que 0,99 e desvios percentuais médios menores que 10%.

## **2.5 – Reologia**

No processamento industrial de polpas, doces e demais derivados de frutas em estado fluido ou pastoso, o comportamento reológico tem papel significativo na indústria de alimentos no aperfeiçoamento dos processos e na melhoria da qualidade dos produtos, resultando na adaptação de sistemas e equipamentos industriais (GRANJEIRO et al., 2007). Além de que, o conhecimento das propriedades reológicas de qualquer alimento pode ser uma indicação de como o alimento se comporta sob várias condições de processo (AHMED et al., 2005).

Os dados reológicos são essenciais nas indústrias de alimentos para determinar a funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos, controle de qualidade do produto final ou intermediário, determinação da vida de prateleira, avaliação da textura pela correlação com dados sensoriais, avaliação dos equipamentos na área de processamento de alimentos, tais como agitadores, bombas, trocadores de calor, tubulações ou homogeneizadores (LANNES et al., 2002).

A reologia na área de alimentos é um campo vasto de estudo, que tem pesquisas significativas e utiliza diferentes instrumentos para analisar e modelar o comportamento reológico. É, portanto, uma valiosa ferramenta para a engenharia de processos, especialmente nas operações unitárias que envolvem transferência de calor e movimento. A descrição do comportamento reológico de qualquer material tem sido explicada a partir de sua estrutura básica, pode ser descrita em termos de um modelo matemático, de que é apenas uma descrição que pode ser aplicada dentro de uma escala limitada. Nesses casos, é importante entender claramente que referidos modelos servem apenas para descrever o comportamento reológico e não para serem interpretados como definição do comportamento. Dada à ampla utilização de dados reológicos, torna-se evidente que as condições em que as propriedades reológicas são determinadas, são essenciais para qualquer aplicação prática (ALVARADO, 2005).

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande, PB.

#### 3.1 – Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram murtas (frutos) oriundas da Serra dos Paus Dóias, Chapada do Araripe, município de Exu, PE. Os frutos foram caracterizados por ARAUJO (2013) como sendo da espécie *Eugenia gracillima* Kiaersk.

Os frutos utilizados se encontravam, em estágio de maturação, maduros. Para compor a formulação a ser seca no secador por aspensão, foi utilizada maltodextrina (MOR-REX<sup>®</sup>) doada pela Corn Products Brasil com dextrose equivalente (DE) igual a 14.

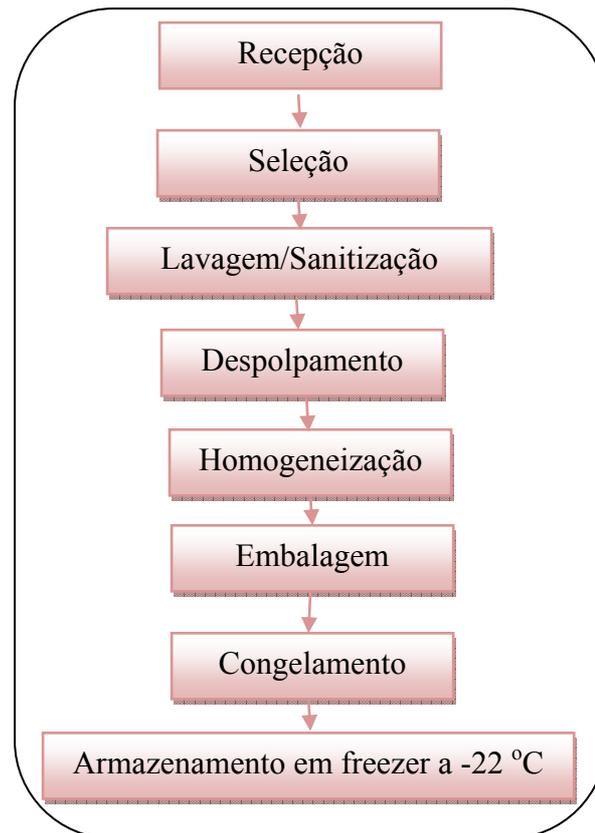
Para a elaboração das formulações para a secagem em camada de espuma, foram utilizados os aditivos Emustab<sup>®</sup> (composto por: monoglicérides destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato) e Super Liga Neutra<sup>®</sup> (composto: açúcar e espessantes - goma guar e carboximetilcelulose), adquiridos no comércio de Campina Grande, PB.

#### 3.2 – Processamento da murta

No laboratório os frutos foram selecionados manualmente, de forma a eliminar os que apresentavam danos físicos, aspecto de podridão ou em outro estágio de maturação; a seguir, as frutas foram submetidas a uma lavagem em água corrente e logo após, realizada a sanitização, imergindo-se os mesmos em recipiente contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos, e por fim enxaguados em água corrente para retirar o excesso da solução de hipoclorito.

Logo após o escoamento natural da água de enxágue os frutos foram despulpados em despulpadeira mecânica e a polpa embalada em sacos de polietileno de baixa densidade; depois de embalada foi armazenada em freezer a -22 °C, até sua utilização nos experimentos.

As etapas para obtenção da polpa de murta integral são apresentadas no fluxograma da Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Fluxograma das etapas realizadas para obtenção da polpa de murta integral

### **3.3 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de murta integral**

A polpa de murta integral foi caracterizada, quanto aos parâmetros, químicos, físicos e físico-químicos. Todos esses procedimentos foram realizados em triplicata.

#### **3.3.1 - pH**

O pH foi determinado através do método potenciométrico, com medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, calibrando com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0).

#### **3.3.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)**

Os sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados pelo método refratométrico, em refratômetro do tipo Abbe, seguindo as normas do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). Os resultados foram expressos em °Brix.

### **3.3.3 – Teor de água e sólidos totais**

O teor de água e os sólidos totais foram determinados através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), expressos em percentagem (%).

### **3.3.4 – Acidez total titulável**

A determinação da acidez total titulável foi realizada através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 M e os resultados expressos em percentagem (%) de ácido cítrico.

### **3.3.5 – Açúcares**

Os teores de açúcares (glicose, xilose e sacarose), foram determinados por CLAE (cromatografia líquida de alta eficiência) e detector de índice de refração em equipamento Varian, coluna HI-PLEX H, 300 x 7,7 mm IA a 40 °C usando-se, como eluente H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005M com fase móvel a 0,6 mL.min<sup>-1</sup> e detector por índice de refração. As amostras foram diluídas previamente e filtradas em filtro “Sep-Pack” C18 (Millipore). O volume de amostra injetada foi de 10 µL, segundo metodologia descrita por NREL LAP-014 (2008).

### **3.3.6 – Cinzas**

As cinzas (resíduo mineral fixo) foram determinadas utilizando-se o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) cujos resultados foram expressos em percentagem (%).

### **3.3.7 – Lipídeos**

A determinação de lipídeos foi baseada segundo a metodologia descrita por FOLCH (1957). O método se baseia na extração dos lipídeos, através da utilização de solventes polares (metanol e clorofórmio). A amostra de aproximadamente 2 g foi macerada e diluída em 50 mL da solução de clorofórmio/metanol e filtrada em uma proveta de boca esmerilhada; em seguida, anotou-se o volume final da proveta e se

adicionaram 20% da solução de sulfato de sódio a 1,5%. Agitou-se, por um minuto, deixando-o em repouso com a proveta tampada até a separação de fases; retirou-se a fase superior e fitrou a fase inferior em papel de filtro contendo aproximadamente 10 g de sulfato de sódio P.A. Foram tomados 5 mL do filtrado, que foi transferido para uma cápsula de alumínio em estufa a 105 °C até evaporar toda a solução. Os resultados expressos em % foram calculados através da Equação 3.1.

$$\text{Lípideos (\%)} = \frac{(\text{McL} - \text{Mc}) \times \text{Vif}}{\text{Ma} \times 5} \times 100 \quad (3.1)$$

em que:

McL – massa da cápsula com lipídeos (g)

Mc – massa da cápsula vazia (g)

Vif – volume inferior medido na proveta (mL)

Ma – massa da amostra (g)

### 3.3.8 - Antocianinas totais

As antocianinas totais foram determinadas segundo a metodologia descrita por FRANCIS (1982). A extração foi realizada utilizando-se a solução extratora etanol-HCL 1,5 M na proporção 85:15. Transferiu-se a amostra para um balão e aferiu com a própria solução extratora, deixando por uma noite em repouso sob refrigeração e ausência de luz. Filtrou-se o material e se realizou a leitura em espectrofotômetro a 535 nm. Os resultados expressos em mg/100 g foram calculados através da Equação 3.2.

$$\text{Antocianinas totais} = \text{Absorbância} \times \text{Fator de diluição}/98,2 \quad (3.2)$$

### 3.3.9 - Flavonoides

A quantificação dos flavonoides seguiu a metodologia descrita por FRANCIS (1982). Os resultados, expressos em mg/100 g, foram calculados através da Equação 3.3.

$$\text{Flavonoides} = \text{Absorbância} \times \text{Fator de diluição}/76,6 \quad (3.3)$$

### 3.3.10 – Atividade de água

A atividade de água foi determinada na temperatura de 25 °C, através de leitura direta em higrômetro Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices.

### 3.3.11 – Cor

Os parâmetros de cor da polpa de murta foram determinados por leitura direta utilizando-se o espectrofotômetro portátil HunterLab MiniScan XE Plus, modelo 4500 L, no sistema de cor Cielab, com padrão de iluminação D65/10° e calibrado com placa branca padrão (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0), conforme instrução do fabricante. Foram determinados os seguintes parâmetros: L\* - luminosidade; +a\* - intensidade de vermelho; e +b\* intensidade de amarelo.

### 3.3.12 – Densidade

A densidade foi determinada na temperatura de 25 °C. O método consiste na medida da massa em um recipiente de volume conhecido. A densidade foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 3.4).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.4)$$

em que:

$\rho$  - densidade (kg/m<sup>3</sup>)

m – massa (kg)

V – volume (m<sup>3</sup>)

### 3.3.13 – Comportamento reológico

As medidas das viscosidades aparentes da polpa de murta integral foram realizadas nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, utilizando-se um viscosímetro Brookfield modelo RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A. Para a realização das leituras utilizou-se o *spindle* número 28, em diferentes velocidades de rotação (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm).

Os modelos reológicos de Sisko (Equação 3.5), Lei da potência (Equação 3.6), e Falguera-Ibarz (Equação 3.7) foram ajustados às curvas da viscosidade aparente em função da taxa de deformação utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0, para descrever o comportamento reológico da polpa de murta.

**Sisko** (NINDO et al., 2007)

$$\eta_a = \eta_\infty + K_s \dot{\gamma}^{(n_s-1)} \quad (3.5)$$

em que:

$\eta_a$  - viscosidade aparente (Pa s)

$\eta_\infty$  - viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (Pa s)

$K_s$  - índice de consistência de Sisko (Pa s)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$n_s$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

**Lei da potência** (SENGUL et al., 2005)

$$\eta_a = K \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (3.6)$$

em que:

$\eta_a$  - viscosidade aparente (Pa s)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

K - índice de consistência (Pa  $s^n$ )

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

**Falguera-Ibarz** (FALGUERA & IBARZ, 2010)

$$\eta_a = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) \cdot \dot{\gamma}^{(-k)} \quad (3.7)$$

em que:

$\eta_a$  - viscosidade aparente (Pa s)

$\eta_\infty$  - viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (Pa s)

$\eta_0$  - viscosidade aparente estática (Pa s)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

k - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Foram, utilizados como critérios de determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.8.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.8)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

$X_{\text{exp}}$  - valores obtidos experimentalmente

$X_{\text{teor}}$  - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

### 3.3.13.1 – Influência da temperatura

A influência da temperatura sobre a viscosidade aparente foi avaliada utilizando-se a equação de Arrhenius (Equação 3.9); para tal, os valores da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura para cada velocidade de rotação (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm), foram graficados no programa Origin 6.0.

$$\eta = \eta_0 \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right] \quad (3.9)$$

em que:

$\eta$  - viscosidade aparente (mPa s)

$\eta_0$  - viscosidade aparente inicial (mPa s)

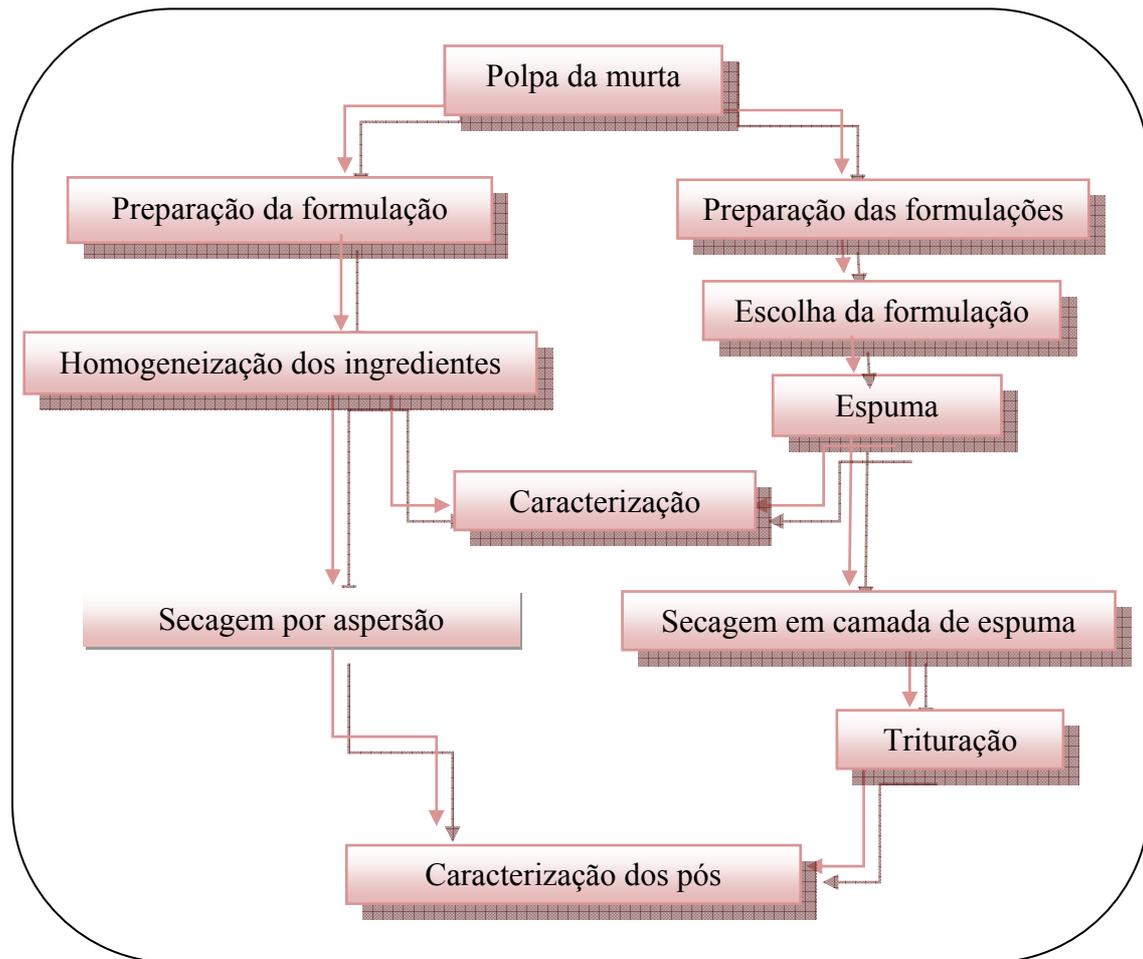
$E_a$  - energia de ativação (KJ/mol)

R - constante universal dos gases (KJ/mol K)

T – temperatura (K)

## 3.4 – Processos de produção da polpa da murta em pó

Na Figura 3.2 tem-se o fluxograma do processamento para obtenção da polpa da murta em pó, utilizando-se os processos de secagem por aspersão e secagem em camada de espuma.



**Figura 3.2** - Fluxograma do processamento para obtenção da polpa de murta em pó

### 3.5 - Preparo da formulação para a secagem por aspersão

Elaborou-se uma formulação composta de polpa de murta integral e água destilada (1:1); após a mistura foram adicionadas 30% de maltodextrina (DE-14), sendo esses ingredientes homogeneizados em liquidificador doméstico. A secagem da formulação foi realizada com o secador por aspersão de bancada (LM MSD 1.0, Labmaq), nas temperaturas do ar de secagem de 150, 170 e 190 °C, vazão de alimentação da Formulação 0,5 L h<sup>-1</sup>, pressão do ar de 30 kgf cm<sup>-2</sup> e bico aspersor de 1,2 mm.

### 3.6 – Preparo e seleção da formulação para a secagem em camada de espuma

Testes preliminares foram feitos para definir qual a faixa de concentração dos aditivos (Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup>) adicionados à polpa de murta integral para a formação de espuma com características adequada à secagem.

Após os testes preliminares se selecionaram as concentrações dos aditivos apresentadas na Tabela 3.1 para a realização dos experimentos.

A polpa da murta integral, e os aditivos (Tabela 3.1) foram homogeneizados em bateadeira elétrica e avaliados quanto à densidade das espumas e ao *over-run* (expansão volumétrica).

**Tabela 3.1** – Concentração dos aditivos utilizados nas formulações testadas elaboradas com a polpa de murta

Formulação (n <sup>o</sup> )	Concentração de aditivos (%)	
	Emustab <sup>®</sup>	Super Liga Neutra <sup>®</sup>
1	1,5	0,5
2	1,0	0,5
3	1,0	1,0

### 3.6.1 – Densidade das espumas

Avaliou-se o efeito do tempo de batimento (5, 10, 15 e 20 min) das formulações testadas (Formulações 1, 2 e 3) sobre a densidade das espumas produzidas. As densidades das espumas em cada tempo foram determinadas em picnômetro de alumínio de 100 mL.

### 3.6.2 – *Over-run*

O *over-run* (expansão volumétrica) foi determinado em percentagem (%) de acordo com a Equação 3.10.

$$Over-run = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} \times 100 \quad (3.10)$$

em que:

*over-run* - expansão volumétrica (%)

$\rho_p$  - densidade da polpa

$\rho_e$  - densidade da espuma

### 3.7 – Caracterização química, física e físico-química das formulações

Foram determinados, na formulação elaborada para a secagem por aspersão (polpa de murta integral, água destilada e maltodextrina) e na formulação selecionada (Formulação 1) para a secagem em camada de espuma, as seguintes características químicas, físicas e físico-químicas: pH, sólidos solúveis totais, teor de água, acidez total titulável, açúcares, cinzas, antocianinas totais, densidade, atividade de água e cor, de acordo com as metodologias descritas no item 3.3 o comportamento reológico e degradação da cor da espuma.

#### 3.7.1 – Comportamento reológico

As medidas das viscosidades aparentes, tensões de cisalhamento e taxas de deformação da formulação elaborada para a secagem por aspersão (polpa de murta integral, água destilada e maltodextrina) foram realizadas na temperatura de 25 °C e na formulação selecionada (Formulação 1) para a secagem em camada de espuma foram realizadas na temperatura de 15 °C. Para a realização das leituras utilizou-se um viscosímetro Brookfield modelo DV-II+PRO, com *spindle* número 21, nas velocidades de rotação de 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm para a formulação da secagem por aspersão e nas velocidades de rotação de 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120 e 140 rpm para a formulação da secagem em camada de espuma, utilizou-se o *spindle* número 28.

Os modelos reológicos de Sisko (Equação 3.5), Lei da potência (Equação 3.6), e Falguera-Ibarz (Equação 3.7) foram ajustados às curvas da viscosidade aparente em função da taxa de deformação e os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência (Equação 3.11), Mizrahi–Berk (Equação 3.12), Herschel–Bulkley (Equação 3.13) e Casson (Equação 3.14), foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Utilizando o programa computacional Statistica versão 5.0, para descrever o comportamento reológico das formulações elaboradas.

#### Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.11)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$K$  - índice de consistência ( $Pa\ s^n$ )

$n$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Mizrahi–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.12)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$K_{OM}$  - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

$K_M$  - índice de consistência ( $Pa\ s^n$ )

$n_M$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Herschel–Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.13)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\tau_{OH}$  - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

$K_H$  - índice de consistência ( $Pa\ s^n$ )

$n_H$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Casson

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3.14)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$K_{0C}^{0,5}$  - tensão de cisalhamento inicial ( $Pa$ )<sup>0,5</sup>

$K_C$  - viscosidade plástica de Casson ( $Pa\ s$ )<sup>0,5</sup>

Os critérios de determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), (Equação 3.8).

### 3.7.2 – Degradação da cor da espuma

Após o batimento da espuma, durante 10 minutos na batedeira elétrica, foram feitas as leituras dos parâmetros  $L^*$ ,  $+a^*$  e  $+b^*$  da espuma, a cada 5 minutos, durante 1 hora.

### 3.8 – Secagem em camada de espuma

A formulação selecionada (Formulação 1 – polpa integral da murta, 1,5% de Emustab<sup>®</sup> e 0,5% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>), para o tempo de batimento selecionado de 10 min, foi desidratada através do processo de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C.

A espuma da Formulação 1, resultante do batimento em batedeira doméstica na velocidade máxima durante 10 min, foi espalhada em bandejas de aço inoxidável com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm), medidas com o auxílio de um paquímetro e levadas para desidratação em estufa com circulação de ar, em diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 e 90 °C); em seguida, o produto, seco, foi retirado das bandejas e triturado/homogeneizado em processador doméstico para se obter o produto pulverizado.

#### 3.8.1 – Modelos matemáticos

As curvas de cinética de secagem da Formulação 1 nas diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, foram feitas pesando-se as bandejas até peso constante.

Os modelos de Page (Equação 3.15), Exponencial simples (Equação 3.16) e Midili et al. (Equação 3.17) foram ajustados às curvas de cinética de secagem.

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (3.15)$$

$$RX = a \exp(-kt) + c \quad (3.16)$$

$$RX = a \cdot \exp(-kt^n) + bt \quad (3.17)$$

em que:

$RX$  – razão de água (adimensional)

$k, n, a, c$  – constantes do modelo

$t$  – tempo (min)

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados, como parâmetros, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (Equação 3.18).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3.18)$$

em que:

DQM – desvio quadrático médio

$RX_{pred}$  – razão de água predito pelo modelo

$RX_{exp}$  – razão de água experimental

$n$  – número de observações

### 3.9 – Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó

Logo após a obtenção dos pós foram determinadas, em triplicata, as seguintes características químicas, físicas e físico-químicas nas amostras em pó: teor de água, acidez total titulável, pH, antocianinas totais, cor (luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo) e atividade de água, de acordo com as metodologias citadas no item 3.3.

Foram determinados, ainda, os rendimentos dos pós, a diferença total de cor, a molhabilidade, a insolubilidade e a morfologia.

#### 3.9.1 - Rendimento

O rendimento foi determinado através da Equação 3.19.

$$R = \frac{M_{final}}{M_{inicial}} \times 100 \quad (3.19)$$

em que:

R – rendimento (%)

M<sub>inicial</sub> – massa inicial (g)

M<sub>final</sub> – massa final (g)

### 3.9.2 – Diferença total de cor

Após se obter os valores das coordenadas L\*, a\* e b\* por meio de análise direta em um espectrofotômetro descrito no item 3.3.11, foi calculada a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) de acordo com a Equação 3.20.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.20)$$

em que:

$\Delta E^*$  - diferença total de cor

$\Delta L^*$  - diferença entre a luminosidade da polpa integral e a amostra em pó

$\Delta a^*$  - diferença entre a intensidade de vermelho da polpa integral e a amostra em pó

$\Delta b^*$  - diferença entre a intensidade de amarelo da polpa integral e a amostra em pó

### 3.9.3 - Molhabilidade

Utilizando o Método de Schubert, pesou-se 1 g da amostra e colocou-se em um becker de 250 mL contendo 100 mL de água destilada em temperatura ambiente. Iniciou-se a medição do tempo necessário para o desaparecimento do pó da superfície do líquido em repouso. O cálculo da taxa de molhabilidade é feito através da Equação 3.21.

$$\text{Taxa de molhabilidade} = \frac{m}{t} \quad (3.21)$$

em que:

m – massa da amostra (g)

t - tempo (min)

### 3.9.4 - Insolubilidade

A análise de insolubilidade se baseia na determinação da porcentagem de material não-solubilizado em um minuto de agitação. Utilizando o método de DACANAL (2005) foram pesadas 2 g da amostra e se adicionaram a 50 mL de água destilada, a temperatura ambiente (25 °C), em um béquer de 100 mL. A mistura foi agitada com um agitador magnético e exatamente após 1 min de agitação fez-se a filtração a vácuo com papel de filtro. O papel de filtro com o material remanescente foi seco em estufa, a temperatura de 60 °C, por 24 horas. A massa seca da amostra retida no papel de filtro foi determinada e o percentual de material não solubilizado (INSOL) foi calculado utilizando-se a Equação 3.22.

$$INSOL = \frac{m_2(1 + USB)}{m_1} \times 100 \quad (3.22)$$

em que:

INS – insolubilidade (%)

$m_1$  – massa inicial da amostra (g)

$m_2$  – massa de amostra remanescente no papel de filtro (g)

USB – teor de água da amostra (base seca)

### 3.9.5 – Microscopia eletrônica de varredura

O estudo da morfologia das partículas foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMa/CCT/UFCG). As amostras foram preparadas colocando-se uma pequena quantidade de pó em porta amostras metálicos (“stubs”), com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional; em seguida, foram metalizadas com uma liga de ouro/paládio, em um metalizador Quik Coat SC-701, (Sanyu Electron, Tóquio, Japão). As amostras foram então observadas em um microscópio eletrônico de varredura (Superscan SSX-550, Shimadzu) e a aquisição das imagens foi realizada pelo software LEO, versão 3.01. As imagens das Formulações em pó foram obtidas com aumento de 50, 100, 500 e 1500 vezes.

### 3.10 – Análise dos dados

Os dados experimentais obtidos na caracterização das formulações e as amostras em pó, foram analisados estatisticamente utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009), para se verificar prováveis diferenças estatísticas entre as amostras. Para a comparação entre médias foi aplicado o de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as amostras em pó secas por aspersão aplicou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2x3, com 3 temperaturas de secagem (150, 170 e 190 °C), 2 locais de coleta (câmara de secagem e ciclone) e 3 repetições. Para as amostras da secagem em camada de espuma foi aplicado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x3x3, com 5 temperaturas de secagem (50, 60, 70, 80 e 90 °C), 3 espessuras (0,5, 1,0 e 1,5 cm) e 3 repetições.

### 3.11 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram determinadas utilizando-se o método estático-indireto, descrito por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982), na temperatura de 25 °C. As medidas da atividade de água das amostras foram feitas no higrômetro AquaLab 3TE (Decagon) e o teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 3.23).

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.23)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio (% base seca)

$m_e$  - massa da amostra no equilíbrio (g)

$m_s$  - massa seca da amostra (g)

Os modelos matemáticos de GAB (Equação 3.24), Peleg (Equação 3.25) e Oswin (Equação 3.26), foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de

água das amostras em pó fazendo-se uso de regressão não linear e se utilizando o programa Statistica 5.0.

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3.24)$$

$$X_e = K_1 (a_w)^{n_1} + K_2 (a_w)^{n_2} \quad (3.25)$$

$$X_e = A \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^B \quad (3.26)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio (% base seca)

$a_w$  - atividade de água (adimensional)

$X_m$  – teor de água na monocamada molecular (% base seca)

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto

$k_1, k_2, n_1, n_2, a, b$  – parâmetros de ajuste dos modelos

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos às isotermas foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.8.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Caracterização química, físico-química e física da polpa de murta integral

Tem-se, na Tabela 4.1, os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros químicos, físico-químicos e físicos da polpa de murta integral.

**Tabela 4.1** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados na polpa de murta (*Eugenia gracillima* Kiaersk.) integral

Parâmetro	Média e desvio padrão
pH	3,33 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,40 ± 0,01
Teor de água (% b.u.)	81,26 ± 0,25
Sólidos totais (%)	18,74 ± 0,25
Lipídeos (%)	0,02 ± 0,00
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	1,54 ± 0,01
Antocianinas totais (mg/100 g)	44,49 ± 0,04
Flavonóides (mg/100 g)	17,64 ± 0,02
Cinzas (%)	0,85 ± 0,01
Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) (25 °C)	1,285 ± 0,00
Luminosidade (L*)	14,22 ± 0,02
Intensidade de vermelho (+a*)	2,40 ± 0,09
Intensidade de amarelo (+b*)	0,37 ± 0,12
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,983 ± 0,00
Açúcares totais (g/L)	130,26 ± 3019,2
Sacarose (g/L)	10,58 ± 387,24
Glicose (g/L)	34,86 ± 363,38
Xilose (g/L)	84,80 ± 2268,5

Nota-se que o valor encontrado para o pH da polpa integral da murta foi igual a 3,33, classificando a murta como uma fruta muito ácida por apresentar pH inferior a 4,0 e, conseqüentemente, o desenvolvimento microbiano fica limitado. Conforme dados da literatura, DARQUEA (2002), aponta valor semelhante para o pH (3,35) da murta (*Ugni molinae* Turcz) cultivada no Chile. Valores de pH superiores foram relatados por RUFINO

et al. (2009) de 4,05 para a murta (*Blepharocalyx salicifolius*), oriunda do Crato, Ceará; e FADDA & MULAS (2010) ao monitorarem a maturação da murta (*Myrtus communis* L.), cultivada em um pomar experimental (no ano 2006) localizado em Alghero, Itália, de 4,88.

Os sólidos solúveis totais da polpa da murta integral foram iguais a 12,40 °Brix, valor inferior aos mencionados por RUFINO et al. (2009), DARQUEA (2002) e HEVIA et al. (1993), para frutíferas que têm o nome de murta com médias de 20,73, 13,50, e 13,1-17,7 °Brix, respectivamente. Valor aproximado foi relado por NASCIMENTO et al. (2011) ao caracterizarem a polpa da batanga, pertencente à família Myrtaceae e espécie *Eugenia* sp, o valor de 12,2 °Brix. O teor de sólidos solúveis totais é um importante fator de qualidade em relação ao sabor e o conteúdo médio superior a 9% é bastante desejável do ponto de vista comercial (MENEZES et al., 2001).

O valor médio do teor de água (81,26%) determinado para a polpa da murta integral foi superior aos encontrados por MUÑOZ VERA (2002) e AYDIN & ÖZCAN (2007) que registraram valores de 77,80 e 74,44% para a polpa da murta (*Ugni molinae* Turcz e *Myrtus communis* L.) procedentes da Punucapa, Chile, e Mersin da Turquia, respectivamente e inferior ao encontrado por DARQUEA (2002), para a murta (84,14%). O teor de água foi similar ao mirtilo (*Vaccinium ashei* Reade) citado por MORAES et al. (2007) ao avaliarem a composição centesimal da variedade Delite na qual encontraram 81,3%.

A polpa da murta integral apresentou teor de sólidos totais próximo ao encontrado para a polpa de manga Ubá, equivalente a 19,17% (BENEVIDES et al., 2008); superior aos teores relatados por GRIZOTTO et al. (2005) para as polpas de abacaxi, manga e mamão, de 13,2, 15,7 e 9,8%, respectivamente. E inferior ao mencionado por PAGLARINI et al. (2012) que relataram 25,78%, para a polpa de bacupari (*Rheedia gardneriana* Tr. & Planch.) proveniente do sudoeste mato-grossense.

Baixo percentual de lipídeos foi registrado na polpa da murta integral em relação ao encontrado por AYDIN & ÖZCAN (2007), que verificaram 2,37% de lipídeos para a polpa da murta; valor próximo (0,03%) foi encontrado por PINELA et al. (2012) para o tomate amarelo cultivado no Nordeste de Portugal. ROCHA (2009) encontrou, para a polpa de mirtilo (*Vaccinium ashei*), variedade “Bluegem”, produzida no município de Antônio Carlos/MG, safra 2007/2008, 0,02% de lipídeos. O mirtilo é um fruto semelhante à murta, pequeno e, devido ao alto teor de pigmentos antocianícos, possui a mesma coloração característica. MARTINS et al. (2013) encontraram, para a polpa de graviola (*Annona muricata* L.) *in natura*, proveniente do Rio de Janeiro (RJ), 0,03% de lipídeos.

O valor relativo à acidez total titulável da polpa da murta, expresso em gramas de ácido cítrico, atingiu a média de 1,54%; para a murta do Estado do Ceará e da Itália, RUFINO et al. (2009) e FADDA & MULAS (2010), encontraram o equivalente a 0,64% sem especificar o ácido predominante e 0,32% de ácido málico, respectivamente; valor aproximado foi encontrado por AGUIAR et al. (2008) ao avaliarem a qualidade de frutos de bacurizeiro proveniente do Estado do Piauí, que relataram o valor para a acidez de uma das amostras em torno de 1,5% de acidez. Para ANDRADE et al. (1993) o teor de acidez contribui para a manutenção das características do fruto durante o armazenamento pela inibição do crescimento microbiano, sobretudo de mofos e leveduras e pelo maior rendimento nas indústrias de suco.

Os alimentos que contêm antocianinas têm mostrado benefícios significativos para a saúde em diversos estudos e são considerados componentes importantes da nutrição humana (FRANK et al., 2012). A polpa da murta integral apresentou valor de 44,49 mg/100 g de antocianinas totais; valores superiores foram observados por FADDA & MULAS (2010) e RUFINO et al. (2010), de 144,53 e 143 mg/100 g para a murta, respectivamente. ROSSO et al. (2008) verificaram, ao caracterizar polpas congeladas de açaí comercializadas em Campinas, Estado de São Paulo, que as polpas apresentaram valores de 282-303 mg/100 g de antocianinas totais. GORDON et al. (2012) afirmaram que a razão pela qual ocorre variação no teor de antocianinas pode ser o momento da maturação do fruto e o solo.

O percentual das cinzas apresentou, na polpa da murta integral, valor de 0,85%, superior ao mencionado por AYDIN & ÖZCAN (2007) que encontraram 0,725%, para a murta.

A densidade da polpa da murta integral verificada na temperatura de 25 °C, foi de 1,285 g/cm<sup>3</sup>. Valores inferiores foram encontrados por GADELHA et al. (2009) para polpas de abacaxi (1,0345 g/cm<sup>3</sup>), acerola (1,0263 g/cm<sup>3</sup>), cajá (1,0453 g/cm<sup>3</sup>) e caju (1,0663 g/cm<sup>3</sup>).

Para FARAONI et al. (2008), a cor é um parâmetro que influencia na qualidade e na idealização do sabor; também é utilizada no controle do processamento dos alimentos. O valor obtido para o parâmetro L\*, que representa a luminosidade, da polpa da murta integral, foi de 14,22. OBÓN et al. (2009) encontraram, estudando a *Opuntia stricta* oriunda da região de Murcia – Espanha, o valor de 13,99 para a luminosidade. Valores superiores foram verificados por SENGUL et al. (2005) para a amora (L\* = 19,27) e por

CANUTO et al. (2010) para a polpa do açaí (*Euterpe oleracea*),  $L^* = 16,6$ , procedente de Roraima.

Quanto à intensidade, a cor vermelha ( $+a^*$ ), na polpa de murta integral foi mais expressiva que o amarelo ( $+b^*$ ), ou seja, a intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) apresentou valor superior ( $+a^*$ ), 2,40 ao da intensidade de amarelo ( $+b^*$ ), 0,37. Comportamento similar foi obtido por PEREIRA et al. (2006), avaliando os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  de polpas de açaí congeladas, comercializadas na cidade de Viçosa-MG e relataram valores para  $+a^* = 2,31$  e  $+b^* = 0,52$ , mostrando a predominância da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) sobre a intensidade de amarelo ( $+b^*$ ). Valor semelhante para a intensidade de vermelho (2,43) foi relatado por SAÉNZ et al. (2009) ao caracterizarem a polpa da fruta da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), oriunda da Estação Experimental pertencente à Universidade do Chile-Santiago. ROCHA (2009) encontrou, para a coordenada  $a^*$ , valor de 2,23 para a polpa do mirtilo. De acordo com BENEVIDES et al. (2008), valores elevados de  $b^*$  podem indicar prevalência dos carotenoides sobre outros pigmentos; portanto, a polpa da murta integral tem pouca influência da intensidade de amarelo.

A atividade de água ( $a_w$ ) encontrada para a polpa da murta integral foi de 0,983. Valores próximos foram verificados por MOSQUERA et al. (2012) para a polpa de morango 0,982, oriundo de Valência, Espanha; GUIMARÃES & SILVA (2008) com valor de 0,98 para a polpa do murici oriundo do município de Porangatu-GO; MOSQUERA et al. (2010), com  $a_w$  de 0,980 para a polpa do fruto borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.), Colômbia. Segundo BEJAR et al. (2012) elevado valor de atividade de água pode promover várias mudanças físico-químicas e microbiológicas; assim, a redução da atividade de água é necessária a fim de aumentar a vida de prateleira do produto.

Os açúcares totais quantificados na polpa da murta integral foram de 130,26 (g/L). FADDA & MULAS (2010) constataram o total de 8,26% de açúcares totais para a murta, no final da maturação (210 dias). Para LAGO et al. (2006) os açúcares, além de apresentarem importância nutricional, são fator de qualidade que influi na aceitação da fruta integral ou processada.

Observa-se que o conteúdo de sacarose encontrado na polpa da murta integral foi de 10,58 g/L de sacarose, ou seja, 8,13%. A sacarose é um dos parâmetros importantes para a avaliação da qualidade do fruto uma vez que os consumidores preferem frutos mais doces (BERNÁRDEZ et al., 2004).

Normalmente, as frutas são ricas em açúcares redutores (glicose e frutose), cuja determinação também é feita para se avaliar a potencialidade de fermentação do produto

(UCHOA et al., 2008). O conteúdo de glicose apresentado na polpa da murta integral foi de 34,86 g/L de glicose (26,77%). TABOADA et al. (2010) observaram menor percentual 20,5% de glicose, ao caracterizar a murta (*Ugni molinae* Turcz), procedente de Temuco, Chile. Quantidade de glicose semelhante foi encontrada por OUCHEMOUKH et al. (2010) analisando perfis de açúcar de 50 amostras de mel de diferentes regiões da Argélia e constataram uma média de 26,23% de glicose para o mel multifloral (25 amostras avaliadas).

Para GONÇALVES et al. (2006) a xilose é um tipo de açúcar neutro. A xilose apresentou maior concentração na polpa da murta integral com valor de 84,80 (g/L), ou seja, 65,10%. Resultado bastante inferior foi determinado por TABOADA et al. (2010) em murta, Chile, com valor de 2,1% de xilose.

#### **4.1.2 – Comportamento reológico da polpa de murta integral**

Na Tabela A.1 (Apêndice A) se encontra a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta em função da velocidade de rotação (rpm) a diferentes temperaturas. Verifica-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação velocidade de rotação e temperatura e para sua interação sobre os valores da viscosidade aparente.

Na Tabela 4.2 estão apresentados os valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta, em função da velocidade de rotação (20-200 rpm) e da temperatura (15, 25 e 35 °C).

Nota-se, para todas as temperaturas (15, 25 e 35 °C) tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação e com o aumento da temperatura. Foram observadas reduções com o aumento da velocidade de rotação, sendo tais reduções estatisticamente significativas entre as velocidades mais baixas. SENGÜL et al. (2005) mencionaram, ao estudar o comportamento reológico da polpa da amora, nas temperaturas de 30 a 70 °C e nas velocidades de rotação de 5–100 (rpm), que ocorreu diminuição da viscosidade com o aumento da velocidade de rotação e temperatura.

**Tabela 4.2** – Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de murta integral em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)		
	15	25	35
20	5.475,00 aA	3.926,66 aB	2.816,66 aC
30	3.572,33 bA	2.821,00 bB	1.910,00 bC
40	2.731,66 cA	2.343,66 cB	1.596,00 bcC
50	2.143,33 dA	1.807,00 dB	1.383,33 cdC
60	1.758,66 eA	1.447,00 deB	1.293,66 cdeB
70	1.520,33 efA	1.259,66 efB	1.150,33 defB
80	1.312,33 fgA	1.100,00 efgAB	1.012,43 efgB
90	1.184,66 fghA	977,30 fghAB	921,93 fghB
100	1.056,66 ghiA	845,00 ghiA	841,66 fghiA
120	934,33 hiA	713,33 hiA	720,50 ghiA
140	875,83 hiA	609,36 iB	646,10 hiAB
160	818,60 iA	577,60 iA	587,06 hiA
180	793,70 iA	550,93 iAB	528,46 iB
200	758,33 iA	527,33 iAB	479,00 iB

DMS para colunas = 363,762; DMS para linhas = 251,589; MG = 1.436,40 mPa s; CV = 8,98%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação

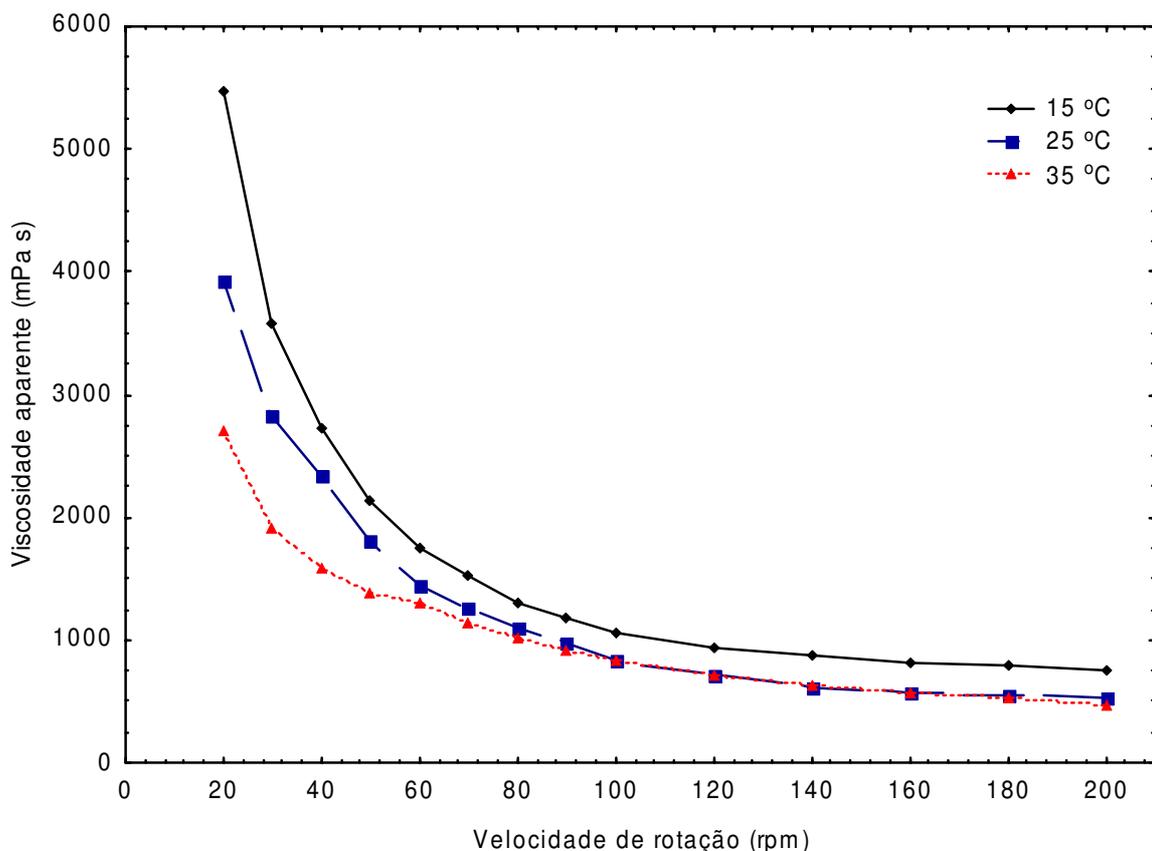
Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Quanto ao comportamento da viscosidade aparente em relação ao aumento da temperatura para cada velocidade de rotação, observa-se que ocorreram reduções da viscosidade aparente com o aumento da temperatura, reduções essas significativas nas menores velocidades de rotação. MACEIRAS et al. (2007) afirmaram haver uma tendência geral para que a viscosidade aparente diminua com o aumento da temperatura; conclusão a que chegaram, ao estudar o comportamento reológico de diferentes polpas *in natura* e cozidas (framboesa, morango, pêsego e ameixa) nas temperaturas de 20-40 °C; relataram, ainda, que a viscosidade aparente das polpas diminuiu com o aumento da temperatura. Reduções de viscosidade aparente com o aumento da temperatura também foram reportadas por KECHINSKI et al. (2011), estudando a influência da temperatura (27, 40, 60, 70, 80 e 93 °C) na formulação de polpa de mirtilo adicionada de 2,5% de goma xantana

e 15% de frutose; por VANDRESEN et al. (2009) analisando as temperaturas de 8 a 85 °C no suco de cenoura e por HAMINIUK et al. (2006) ao verificarem o efeito da temperatura (10 a 50 °C) na viscosidade da polpa integral de araçá.

Vários fatores afetam o comportamento reológico das polpas de frutas destacando-se a temperatura. Para VIDAL et al. (2006), comumente a viscosidade das polpas das frutas sofre a influência da temperatura em razão da sua maioria apresentar-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos; sendo assim, o aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão diminuindo, em contrapartida, a viscosidade da polpa.

A Figura 4.1 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a velocidade de rotação a diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C) para a polpa integral da murta. Ao observar a Figura verifica-se que, ao aumentar a temperatura da amostra e a velocidade de rotação, ocorreram redução na viscosidade aparente da polpa da murta integral e o aumento da velocidade de rotação; a partir de 100 rpm, mantém a viscosidade aparente praticamente inalterada.



**Figura 4.1** – Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de murta integral em função da velocidade de rotação (rpm)

Tem-se, na Tabela 4.3, os parâmetros reológicos dos modelos de Sisko, Lei da potência e Falguera-Ibarz ajustados aos dados experimentais da viscosidade aparente em função da taxa de deformação da polpa da murta integral nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, tal como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se, dentre os modelos testados, que todos apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 0,08%. Os resultados indicam bons ajustes dos três modelos e que todos podem ser utilizados na predição do comportamento da viscosidade da polpa da murta integral; entretanto, o modelo de Falguera-Ibarz e de Sisko apresentou os melhores ajustes por apresentarem os menores desvios percentuais médios, inferiores a 0,06%. Comportamento semelhante foi verificado por AUGUSTO et al. (2012b) ao aplicarem diversos modelos aos dados obtidos para o suco de tomate processado por homogeneização a alta pressão; o modelo de Falguera-Ibarz proporcionou o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), superior a 0,99.

**Tabela 4.3** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos para polpa da murta integral

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)
		$\eta \square$	$k_s$	$n_s$		
Sisko	15	339,90	38462,3	-0,1657	0,9986	0,03
	25	-211,165	17039,0	0,1857	0,9951	0,05
	35	-100,89	8734,61	0,3322	0,9952	0,02
Lei da potência	Temperatura (°C)	k	n	$R^2$	P (%)	
	15					29314,47
	25	19432,07	0,0856	0,9939	0,05	
	35	9257,04	0,2805	0,9949	0,03	
Falguera -Ibarz	Temperatura (°C)	$\eta \square$	$\eta_o$	k	$R^2$	P (%)
	15	339,90	38802,27	1,1657	0,9986	0,03
	25	-211,16	16827,90	0,8142	0,9951	0,05
	35	-100,89	8633,72	0,6677	0,9952	0,00

Segundo NINDO et al. (2007), o modelo de Sisko utiliza três parâmetros e geralmente é aplicado para bombeamento de alimentos fluidos e processos de misturas.

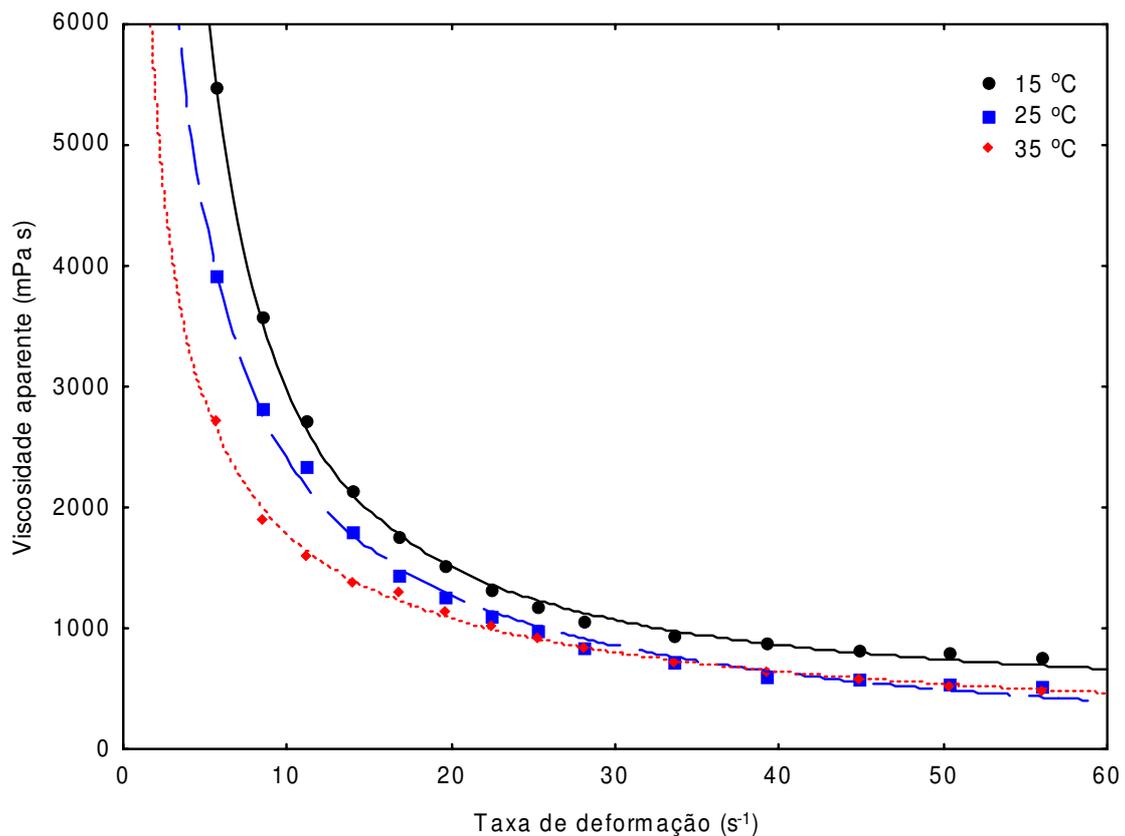
Analisando os parâmetros de ajuste do modelo de Sisko, verifica-se que a viscosidade na taxa de cisalhamento infinita ( $\eta_{\infty}$ ) apresentou valores negativos nas temperaturas de 25 e 35 °C indicando que, neste caso, não possuem significado físico; neste caso; observa-se também que, ao aumentar a temperatura, houve uma redução no índice de consistência ( $K_s$ ) e no índice de comportamento do fluido ( $n_s$ ) nas temperaturas de 25 e 35 °C, aumentou com o aumento da temperatura apresentando valores menores que 1. Para AHMED et al. (2005) vários estudos têm mostrado que grande parte das polpas de frutas se comporta como fluido pseudoplástico ( $n < 1$ ); a característica é fortemente influenciada pelas complexas interações entre os açúcares solúveis, substâncias pécnicas e sólidos suspensos.

NINDO et al. (2007) observaram, ao estudar a influência da temperatura (25, 40, 50 e 60 °C) e do conteúdo de sólidos solúveis totais (10 e 25 °Brix) sobre as propriedades reológicas da polpa de mirtilo, que a polpa apresentou comportamento pseudoplástico e o comportamento reológico foi bem descrito pelo modelo de Sisko, apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9995.

Quanto ao modelo da Lei da potência, percebe-se que o índice de consistência ( $K$ ) reduziu ao aumentar a temperatura; comportamento inverso foi observado no parâmetro  $n$  (índice de comportamento do fluido), que manteve valores inferiores a 1. Resultado semelhante também foi observado por SENGÜL et al. (2005) para a polpa de amora empregando as temperaturas de 30 a 70 °C, cujo índice de consistência ( $k$ ) diminuiu com o aumento da temperatura e o índice de comportamento do fluido ( $n$ ) indicou tratar-se de fluido pseudoplástico.

Para o modelo de Falguera-Ibarz o aumento da temperatura na polpa de murta integral influenciou os parâmetros estudados,  $\eta_0$  (viscosidade aparente estática) e  $k$  (índice do comportamento do fluido). A viscosidade aparente ( $\eta_{\infty}$ ) apresentou valores negativos, ou seja, sem significado físico para as temperaturas de 25 e 35 °C; a viscosidade aparente estática ( $\eta_0$ ) sofreu diminuição com o aumento da temperatura. AUGUSTO et al. (2012a) também verificaram decréscimo para o parâmetro  $\eta_0$ , ao ajustar o modelo aos dados do suco de tomate, nas temperaturas de 0 a 80 °C.

A Figura 4.2 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação a diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C) para polpa integral da murta, com ajustes com o modelo de Falguera-Ibarz.



**Figura 4.2** – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da murta integral, ajustada pelo modelo de Falguera-Ibarz

A viscosidade aparente, como se observa na Figura 4.2, é influenciada pela temperatura e esta influência diminui com o aumento da taxa de deformação. De acordo com SENGÜL et al. (2005) e RHA (1975) a redução da viscosidade com o aumento da taxa de deformação está relacionada com a mudança estrutural da amostra e com o crescente alinhamento das moléculas.

#### 4.1.2.1 – Influência da temperatura

Na Tabela 4.4 tem-se os valores das constantes viscosidade aparente inicial teórica ( $\eta_0$ ) e da energia de ativação ( $E_a$ ), estimados pela equação de Arrhenius, para valores experimentais da viscosidade aparente em função da temperatura (15, 25 e 35 °C), para a polpa da murta integral, diferentes velocidades de rotação (20 a 200 rpm) e taxa de deformação (5,6 a 56,0 s<sup>-1</sup>); também são apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para os respectivos ajustes.

**Tabela 4.4** - Valores da viscosidade aparente teórica ( $\eta_0$ ) e energia de ativação ( $E_a$ ) da polpa de murta integral, calculados a partir da equação de Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	Taxa de deformação $s^{-1}$	$\eta_0$ (Pa s)	$E_a$ (kJ/mol $^{-1}$ )	$R^2$
20	5,6	0,1979	24,4983	0,9997
30	8,4	0,2458	23,0154	0,9871
40	11,2	0,7554	19,7138	0,9657
50	14,0	2,6221	16,1001	0,9893
60	16,8	15,1665	11,3532	0,9908
70	19,6	20,1388	10,3196	0,9839
80	22,4	23,4706	9,6020	0,9827
90	25,2	23,9007	9,2977	0,9610
100	28,0	29,6327	8,4759	0,8827
120	33,6	15,5998	9,6948	0,8592
140	39,2	7,0515	11,3872	0,7929
160	44,8	4,3479	12,4053	0,8548
180	50,4	1,3630	15,1258	0,9167
200	56,0	0,5899	17,0444	0,9539

Observa-se que a viscosidade aparente inicial teórica ( $\eta_0$ ) aumentou à medida que a energia de ativação diminuiu ao aumentar a taxa de deformação no intervalo de 5,6 a 28,0  $s^{-1}$ . Ocorreu efeito contrário a partir da taxa de deformação de 33,6  $s^{-1}$  diminuindo a constante  $\eta_0$  e aumentando a energia de ativação; efeito semelhante foi observado por BEZERRA et al. (2009) ao avaliarem a energia de ativação ( $E_a$ ), da polpa integral de morango, com a ocorrência de uma redução na energia de ativação com o aumento da taxa de deformação entre 15,8 e 157,8  $s^{-1}$ ; ocorreu aumento na energia de ativação a partir da taxa de deformação de 221 até 268,2  $s^{-1}$ .

Com o aumento da velocidade de rotação de 100 a 200 rpm na polpa integral da murta, ocorrem uma diminuição na viscosidade aparente inicial teórica ( $\eta_0$ ) e aumento na energia de ativação ( $E_a$ ). Comportamento também observado por MIRANDA et al. (2011) ao aumentarem a velocidade de rotação (50-200 rpm), para a polpa de graviola integral (12

°Brix), acarretando reduções na viscosidade teórica e tendência de aumento na energia de ativação.

A polpa da murta integral apresenta energia de ativação ( $E_a$ ) entre 24,4983 e 8,4759  $\text{kJ mol}^{-1}$ , em um intervalo da taxa de deformação entre 5,6 e 56  $\text{s}^{-1}$ . Valores na faixa dos encontrados para a polpa de murta integral também foram registrados por DAK et al. (2008) para o tomate concentrado (18, 12,18 e 8,4% de sólidos totais), nas temperaturas de 20, 30, 40, 50 e 60 °C que encontraram, para a energia de ativação, valores entre 8,6 e 14,08  $\text{kJ/mol}$ ; valor superior ao encontrado neste trabalho para a energia de ativação de 24,4983  $\text{kJ mol}^{-1}$  foi obtido por KAYA et al. (2011) para o suco de uva (53,7 °Brix), nas temperatura 5 a 60 °C, com energia de ativação de 26,36  $\text{kJ mol}^{-1}$ .

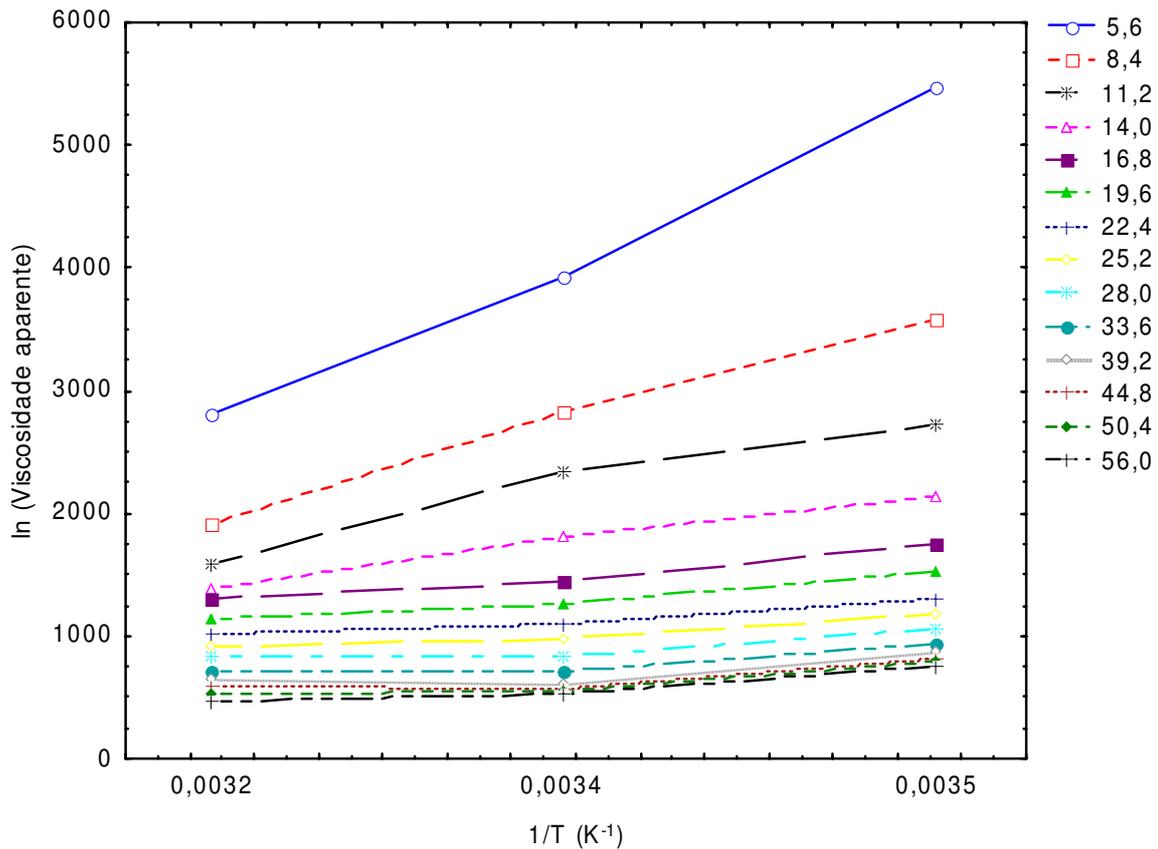
A energia de ativação de 8,4759 ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ) encontrada na faixa de 100  $\text{s}^{-1}$ , aproxima-se do valor relatado por SHAMSUDIN et al. (2013) para o suco de abacaxi pasteurizado, que foi de 8,50  $\text{kJ/mol}$ ; para a mesma faixa de taxa de deformação (100  $\text{s}^{-1}$ ) foram encontrados valores inferiores por TONON et al. (2009) estudando a energia de ativação da polpa de açaí em diferentes temperaturas (10, 25, 40, 55 e 70 °C), ao mencionar valores de 4,18 e 6,21  $\text{kJ/mol}$ .

Comparando a energia de ativação na taxa de deformação de 50,4  $\text{s}^{-1}$  foi reportado, por HAMINIUK et al. (2006) valor superior em polpa integral de amora-preta, quando verificaram o valor de 18,27  $\text{kJ/mol}^{-1}$  na taxa de deformação de 50  $\text{s}^{-1}$ .

A polpa integral da murta apresenta alta energia de ativação a baixas (5,6 a 11,2  $\text{s}^{-1}$ ) taxas de deformação indicando que a temperatura exerce maior efeito sobre a viscosidade aparente nas baixas taxas de deformação; para RIGO et al. (2010) os valores da energia de ativação indicam a sensibilidade da viscosidade aparente à alteração da temperatura. De acordo com OHATA & VIOTTO (2011) altos valores de energia de ativação significam que a viscosidade da polpa é mais sensível à mudança da temperatura.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) resultaram em valores superiores a 0,78; os valores próximos a 1,0 indicam que a equação de Arrhenius apresenta bom ajuste aos dados de viscosidade aparente. SILVA et al. (2012) obtiveram, ao ajustar os dados à equação de Arrhenius, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,85, para a polpa de acerola. CHIN et al. (2009) relataram valores de coeficiente de determinação superiores a 0,94, para a equação de Arrhenius aplicada aos dados e para a polpa de pomelo em função das concentrações de sólidos solúveis totais 20, 30 e 50 °Brix.

Na Figura 4.3 tem-se a representação gráfica do ajuste da equação de Arrhenius aos dados da viscosidade aparente em função da temperatura da polpa da murta integral.



**Figura 4.3** – Relação entre a viscosidade aparente e o inverso da temperatura para a polpa da murta integral em diferentes taxas de deformação

Ao observar a Figura 4.3 verifica-se que a viscosidade aparente da polpa da murta integral diminui com o aumento da temperatura; percebe-se, também que, com o aumento da taxa de deformação a viscosidade aparente também diminui a uma temperatura constante. OLIVEIRA et al. (2009) reportaram o mesmo comportamento, redução da viscosidade aparente da polpa de uva com o aumento da temperatura (20, 25, 30 e 35 °C) na taxa de deformação de  $264 \text{ s}^{-1}$  e afirmaram que isto ocorre em razão de que, nesta condição, a rapidez de movimentação das partículas é mais intensa enquanto as forças de interação enfraquecem e as partículas ficam mais livres para escoar.

## 4.2 - Secagem por aspersão

### 4.2.1 – Caracterização da polpa integral da murta e da formulação selecionada

Na Tabela 4.5 se encontram os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, físico-química e física da polpa da murta integral e da Formulação

(polpa de murta + água destilada + 30% de maltodextrina). Comparando os parâmetros da caracterização obtidos para a polpa da murta integral e para a Formulação, observa-se que todos os valores foram estatisticamente diferentes entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.5** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados da polpa de murta integral e da Formulação

Parâmetro	Polpa integral	Formulação
pH	3,33 ± 0,00	3,19 ± 0,01
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,3 ± 0,00 b	19,4 ± 0,01 a
Teor de água (% b.u.)	81,25 ± 0,25 a	79,51 ± 0,00 b
Sólidos totais (%)	18,73 ± 0,25 b	20,48 ± 0,06 a
Acidez total titulável (% ac. cítrico)	1,54 ± 0,01 a	0,74 ± 0,02 b
Cinzas (%)	0,85 ± 0,01 a	0,31 ± 0,01 b
Antocianinas (mg/100g)	44,49 ± 0,04 <sup>a</sup>	20,18 ± 0,02b
Luminosidade (L*)	14,22 ± 0,02 a	8,76 ± 0,03 b
Intensidade de vermelho (+a*)	2,40 ± 0,09 b	8,78 ± 0,16 a
Intensidade de amarelo (+b*)	0,37 ± 0,12 b	3,24 ± 0,17 a
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,983 ± 0,00 b	0,989 ± 0,00 a
Açúcares totais (g/L)	130,26 ± 10441,3 a	14,71 ± 6993,1 b
Sacarose (g/L)	10,58 ± 1167,6 a	0,97 ± 277,9 b
Glicose (g/L)	34,86 ± 2940,8 a	4,69 ± 2539,6 b
Xilose (g/L)	84,80 ± 5992,9 a	9,04 ± 4073,3 b

Ao analisar os valores médios do pH da polpa de murta integral e da Formulação, observa-se redução do pH ao incorporar água e maltodextrina na polpa integral; comportamento semelhante foi observado por GOMES (2009) ao comparar a polpa de buriti integral com a Formulação (50% de polpa + 50% de água destilada e 15% de maltodextrina DE-14).

Os sólidos solúveis totais (°Brix) da Formulação apresentaram valor 57,72% maior em relação à polpa integral da murta; este aumento era esperado em razão da maltodextrina contribuir para o aumento do teor dos sólidos solúveis totais. Este aumento também foi constatado por MELO (2012) para a formulação elaborada com polpa de atemoia, água

destilada e 25% de maltodextrina e por CALEGUER & BENASSI (2007) para a amostra de suco de laranja adicionada de 0,1% de carboximetilcelulose.

O teor de água da polpa integral de murta foi 2,14% maior que o da Formulação; resultados semelhantes foram constatados por CEBALLOS et al. (2012) que caracterizaram a polpa de graviola e a formulação da polpa de graviola adicionada de 18% de maltodextrina (DE-20) e água destilada observando que a polpa integral apresentou teor de água de 11,66% maior que o da Formulação; SOLVAL et al. (2012) registraram 11,78% de teor de água na polpa de melão superior ao da formulação de suco de melão e maltodextrina, na proporção 9:1 (w/w). QUEK et al. (2007) relataram que o teor de água da formulação estudada apresentou valor inferior ao da polpa integral devido à adição de maltodextrina visto que este agente carreador tem, como propriedade, aumentar a quantidade de sólidos totais da formulação reduzindo a quantidade de água da amostra. GOMES (2009) obteve, ao avaliar a formulação elaborada com polpa de buriti e 10% de maltodextrina (DE-14) valor para o teor de água de 79,71%, ou seja, resultado próximo ao encontrado para a formulação da polpa de murta (79,51%).

Os sólidos totais aumentaram apresentando a polpa integral da murta o valor de sólidos totais 9,34% inferior ao obtido para a formulação. De acordo com OLIVEIRA & PETROVICK (2010) a concentração de sólidos totais presentes na formulação exerce grande influência no tamanho das partículas e na densidade do produto final.

Com base na preparação da formulação constatou-se que a acidez total titulável obtida para a Formulação reduziu em 51,94%, quando comparada com a do teor encontrado para a polpa integral da murta; para MELO (2012) a inclusão de água destilada e maltodextrina na elaboração de formulações reduz a acidez; comportamento semelhante foi relatado por OLIVEIRA et al. (2006) ao compararem a formulação de polpa integral de pitanga incorporada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, à polpa integral, e afirmaram que este resultado foi obtido em razão da maltodextrina e da água destilada reduzirem a concentração dos ácidos orgânicos presentes contribuindo também para a redução percentual dos açúcares redutores no volume total da amostra formulada.

O conteúdo de cinzas da polpa integral da murta apresentou valor superior em relação à Formulação e os valores de antocianinas reduziram ao se adicionar a água destilada e a maltodextrina à polpa integral, em razão da incorporação do aditivo e da água, entre outros fatores.

A luminosidade da polpa 62,33% foi superior à Formulação significando que a polpa se apresentou mais clara que a Formulação. Comportamento inverso foi observado

nos parâmetros intensidade de vermelho (+a\*) e intensidade de amarelo (+b\*), que na Formulação foram superiores aos parâmetros da polpa integral. É evidente, para a Formulação quanto para a polpa integral, a predominância da intensidade de vermelho em relação à intensidade de amarelo. OSORIO et al. (2011) constataram, ao comparar a polpa da fruta com o extrato de goiaba à base de polpa, casca e sementes com água destilada numa proporção de 1:2 (fruta/água), que os parâmetros L\* e a\* reduziram ao adicionar a água e o b\* se manteve sem alteração.

A atividade de água ( $a_w$ ) da Formulação foi 0,61% superior à da polpa integral, com valor de 0,989. SANCHO et al. (2007) encontraram valor inferior, 0,983  $a_w$ , ao caracterizarem a formulação para a elaboração do suco com alto teor de polpa de caju em amostras oriundas do município de Pacajus – CE.

Com a preparação da formulação constatou-se que os açúcares totais, a sacarose, a glicose e a xilose, foram reduzidas quando comparados com o teor encontrado para a polpa integral da murta. OLIVEIRA et al. (2006) observaram comportamento semelhante detectando redução no percentual dos açúcares redutores da formulação composta por polpa de pitanga, maltodextrina e água destilada, quando comparada com a polpa de pitanga integral.

#### **4.2.2 - Comportamento reológico da polpa integral de murta e da formulação**

Da análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta e da Formulação (50% de polpa de murta + 50% de água destilada e 30% de maltodextrina), em função da velocidade de rotação (rpm) e diferentes tratamentos, verificou-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação velocidade de rotação e tratamentos (polpa integral e formulada) e para sua interação.

Tem-se, na Tabela 4.6, os valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta e da formulação, nas diferentes velocidades de rotação; Observa-se que ocorreu uma tendência de redução na viscosidade aparente da polpa integral e da formulação com o aumento da velocidade de rotação (rpm). Comportamento que também foi observado por MELO et al. (2008b), que notaram que os valores da viscosidade aparente diminuíram com o aumento da velocidade de rotação, para a polpa de buriti com leite (1:1) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

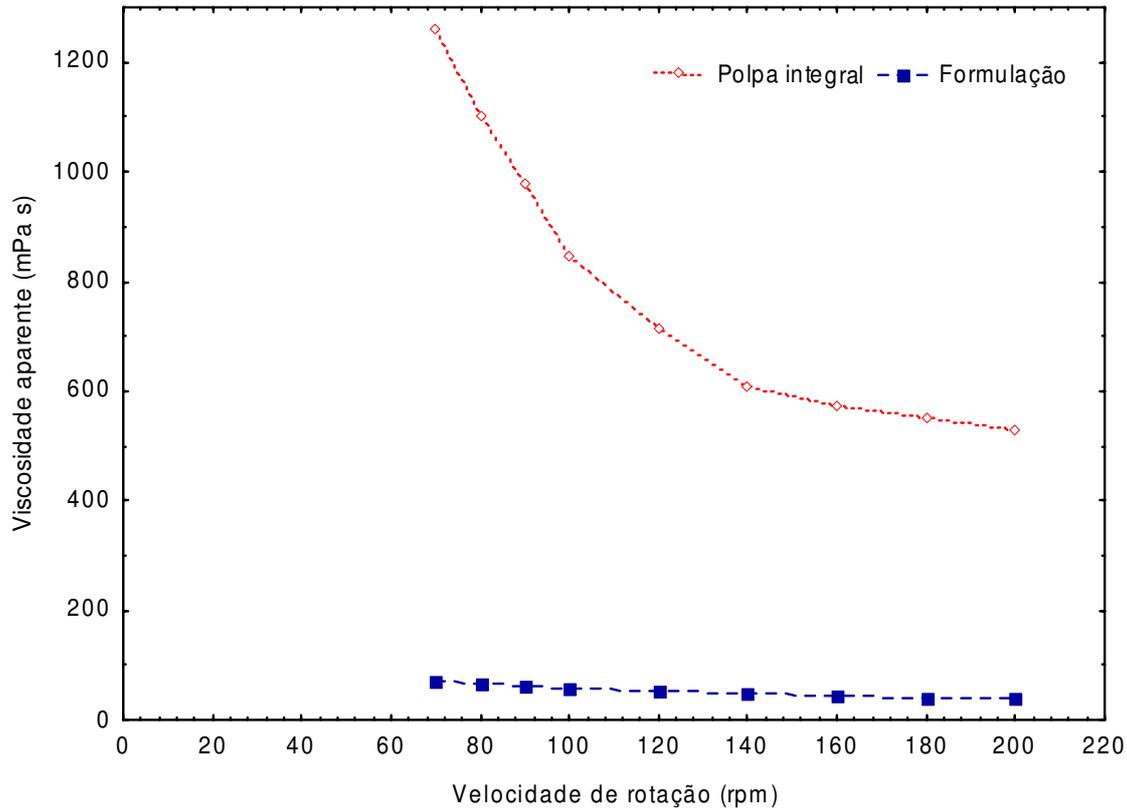
**Tabela 4.6** – Viscosidades aparentes (mPa s) a 25 °C da polpa de murta integral e da formulação, em função das velocidades de rotação

<b>Velocidade de rotação (rpm)</b>	<b>Taxa de deformação s<sup>-1</sup></b>	<b>Polpa integral</b>	<b>Formulação</b>
70	19,6	1259,66 aA	72,86 aB
80	22,4	1100,00 bA	66,90 abB
90	25,2	977,30 cA	62,40 abcB
100	28,0	845,00 dA	58,83 bcdB
120	33,6	713,33 eA	52,90 cdeB
140	39,2	609,36 efA	48,56 defB
160	44,8	572,93 fA	45,10 efB
180	50,4	550,93 fA	42,00 efB
200	56,0	527,33 fA	39,60 fB

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Com relação ao comportamento da viscosidade aparente em relação à polpa integral e à Formulação, observa-se, que a viscosidade aparente diminuiu significativamente com a incorporação da água destilada e maltodextrina em todas as velocidades de rotação. Segundo OLIVEIRA & PETROVICK (2010) a viscosidade da formulação é um fator importante a ser considerado em razão da mesma interferir na formação de gotas esféricas; sendo assim, quanto mais baixa a viscosidade da formulação menos energia ou menor pressão são aplicadas, e melhor é para a formação adequada das gotas durante a secagem por aspersão. VIDAL et al. (2006) perceberam, ao avaliar a polpa da manga centrifugada, uma redução acentuada da viscosidade aparente facilitando o escoamento do suco e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade do fluido menor também é a perda de carga durante o escoamento diminuindo os custos de potência com bombeamento e, conseqüentemente, os custos energéticos.

A Figura 4.4 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a velocidade de rotação (rpm), na temperatura de 25 °C, para polpa integral da murta e a Formulação.



**Figura 4.4** – Relação entre a viscosidade aparente (mPa s) da polpa integral da murta e da Formulação, em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C

Tem-se, na Tabela 4.7, os parâmetros reológicos dos modelos de Sisko, Lei da Potência e Falguera-Ibarz ajustados aos dados experimentais da curva de viscosidade aparente em função da taxa de deformação da polpa integral da murta e da Formulação, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se, dentre os modelos testados, que todos apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,92 e desvio percentual médio inferior a 10%. Os resultados indicam bons ajustes dos três modelos que podem ser utilizados na predição dos dados da polpa integral da murta e da Formulação; entretanto, o modelo de Falguera-Ibarz apresentou o melhor ajuste por apresentar os maiores ( $R^2$ ) e menores desvios percentuais médios, inferiores a 2%. Este desempenho também foi observado por AUGUSTO et al. (2012a) ao estudarem o suco de tomate nas temperaturas de 0 a 80 °C, e aplicarem o modelo de Falguera-Ibarz para os valores obtidos; os autores encontraram, então, valores para o  $R^2$  de 0,99. Ainda no modelo de Falguera-Ibarz os parâmetros  $\eta_{\infty}$ ,  $\eta_0$  e  $k$  diminuíram ao se adicionar água e maltodextrina à polpa integral da murta.

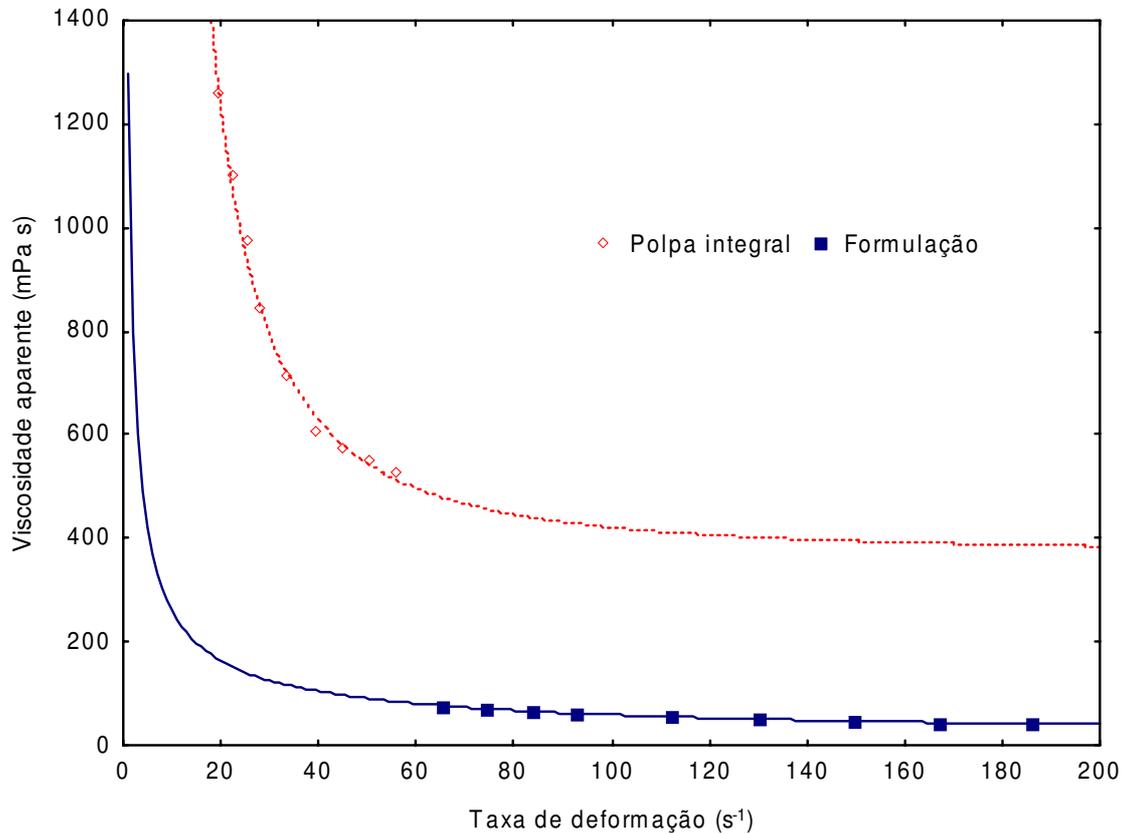
**Tabela 4.7** – Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a polpa integral da murta e a Formulação referente à temperatura de 25 °C

Modelos	Tratamento	Parâmetros			$R^2$	P (%)
		$\eta \square$	$K_s$	$n_s$		
<b>Sisko</b>	Polpa integral	35771,30	-32630,5	1,0197	0,9332	7,96
	Formulação	9,8820	1291,50	0,2907	0,9996	0,35
<b>Lei da Potência</b>		K		N	$R^2$	P (%)
	Polpa integral	19065,4		0,0792	0,9817	4,21
	Formulação	881,74		0,4142	0,9993	0,39
<b>Falguera-Ibarz</b>		$\eta \square$	$\eta_0$	K	$R^2$	P (%)
	Polpa integral	369,84	172078,9	1,7627	0,9958	1,95
	Formulação	9,8875	1301,76	0,7093	0,9996	0,35

Para o modelo de Sisko nota-se redução dos parâmetros  $\eta \square$ , e  $\eta_0$ , ao comparar a polpa integral e a Formulação, os quais apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9332 e 0,9996, respectivamente. MUÑOZ et al. (2007) obtiveram, estudando o comportamento da goma acácia aplicando diferentes concentrações (15 a 40%) de água destilada avaliadas na temperatura de 20 °C, um bom ajuste ( $R^2 > 0,996$ ) e encontraram valor para o parâmetro  $n_s$  de 0,29, na incorporação de 30% da goma e o valor do parâmetro  $n_s$  foi igual ao apresentado neste trabalho para a Formulação ( $n_s = 0,2907$ ). RINCÓN et al. (2009) também encontraram valor de 0,999 para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), ao trabalhar com dispersões aquosas de goma (*C. Odorata* L.) preparadas em diferentes concentrações (10, 15, 20 e 40%) a temperatura ambiente 25 °C.

Verifica-se, na Tabela 4.7, para o modelo da Lei da Potência, que o índice de consistência (K) apresentou decréscimo na Formulação; efeito contrário ocorreu no índice de comportamento do fluido (parâmetro n) mantendo-se inferior a 1 caracterizando a Formulação de polpa de murta, assim como a polpa integral, como fluidos pseudoplásticos. SILVA-WEISS et al. (2013) verificaram comportamento pseudoplástico ( $n < 1$ ) para soluções de quitosana e quitosana-amido de milho com adição ou não do extrato de folhas de murta (*U. molinae* Turcz), também perceberam que os parâmetros K e n foram afetados significativamente ao se adicionar o extrato de folhas de murta e apresentaram coeficiente de determinação de 0,99 para o modelo de Lei da potência.

A Figura 4.5 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação na temperatura de 25 °C, para a polpa integral da murta e a Formulação com ajustes pelo modelo de Falguera-Ibarz. Observa-se que a viscosidade aparente foi maior para a polpa integral e os valores experimentais estão muito próximos da curva ajustada.



**Figura 4.5**– Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e da Formulação, ajustadas pelo modelo de Falguera-Ibarz

Na Tabela 4.8 são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson para a Formulação com as leituras realizadas na temperatura de 25 °C, tal como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se que todos os modelos testados apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 1% mas o modelo de Mizrahi-Berk apresentou o melhor ajuste por apresentar o menor desvio percentual médio; comportamento semelhante foi observado por FERNANDES et al. (2008) ao elaborarem formulações compostas por polpa de umbu-cajá e maltodextrina nas concentrações de 0, 2,5, 5 e 7,5%, com as medidas nas temperaturas de 10 a 50 °C e obtiveram os melhores

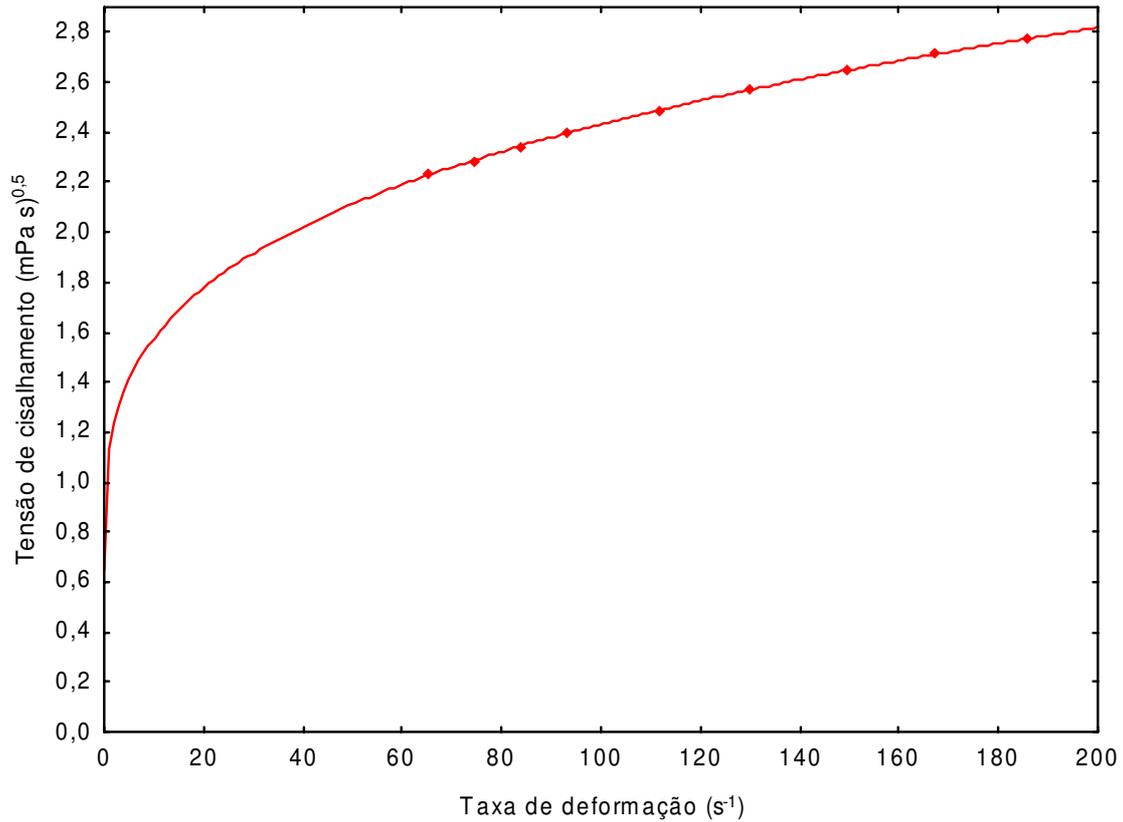
ajustes com o modelo de Mizrahi-Berk, com os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios percentuais médios.

**Tabela 4.8** – Parâmetros, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas da Formulação, a 25 °C

Modelo	Parâmetro			$R^2$	P (%)
<b>Ostwald-de-Waelle</b> (Lei da Potência)	<b>K</b>	<b>n</b>		0,9997	0,19
	0,8557	0,4201			
<b>Herschel-Bulkley</b>	$\tau_{OH}$	<b>k<sub>H</sub></b>	<b>n<sub>H</sub></b>	0,9998	0,15
	0,8576	0,5362	0,4872		
<b>Mizrahi-Berk</b>	<b>k<sub>OM</sub></b>	<b>k<sub>M</sub></b>	<b>n<sub>M</sub></b>	0,9998	0,07
	0,6464	0,4841	0,2833		
<b>Casson</b>	<b>k<sub>OC</sub></b>	<b>k<sub>C</sub></b>		0,9989	0,19
	1,4435	0,0982			

Analisando os modelos Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, verifica-se que os valores de  $n$ ,  $n_H$  e  $n_M$  (índices de comportamento de escoamento ou índice de comportamento do fluido) apresentaram valores inferiores a 1, indicando que a formulação é um fluido não newtoniano com comportamento pseudoplástico. FERNANDES et al. (2009) trabalharam com a polpa de maracujá adicionada de sacarose (0, 10 e 20%) e pectina (0, 0,5 e 1,0%), e observaram comportamento de fluido não-newtoniano e pseudoplástico. TONON et al. (2008) caracterizaram como fluido pseudoplástico a mistura de polpa filtrada de açaí com maltodextrina (DE-10), com valores de  $n$  inferiores a 1 (0,909 a 0,961) para todas as concentrações de maltodextrina (10 a 30%).

A Figura 4.6 mostra a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação na temperatura de 25 °C, para a Formulação, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk.



**Figura 4.6** – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação seca por aspersão, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

#### 4.2.3 - Caracterização do pó da murta submetido a secagem por aspersão

Tem-se, na Figura 4.7, os pós da murta, submetidos a secagem por aspersão; verifica-se que os locais de coleta, câmara de secagem e ciclone, influenciaram nas características visuais dos pós e que os pós também sofreram alterações ao aumentar a temperatura de secagem.



**Figura 4.7** – Amostras em pó de murta seca por aspersão

#### 4.2.3.1 -- Teor de água

Na Tabela C.1 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do teor de água da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone da Formulação elaborada sob diferentes temperaturas de secagem; efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F foi verificado para as fontes de variação temperatura e local de coleta da amostra e efeito significativo a 5% de probabilidade para a interação desses fatores sobre os valores do teor de água.

Na Tabela 4.9 são apresentados os valores médios do teor de água (%) da murta em pó, coletada na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão, em diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem.

**Tabela 4.9** – Valores médios do teor de água (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Teor de água (%)	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	3,49 ± 0,40 aA	3,62 ± 0,25 aA
170	2,22 ± 0,23 bB	3,44 ± 0,25 aA
190	1,61 ± 0,32 cB	2,13 ± 0,08 bA

DMS para colunas = 0,60; DMS para linhas = 0,49; MG = 2,75%; CV = 10,10%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Constata-se que a temperatura de secagem influenciou no teor de água, ou seja, com o aumento dessa variável os valores médios do teor de água apresentaram tendência de redução; a influência da temperatura do ar na entrada do secador por aspersão sobre a redução do teor de água, também foi verificada por GOULA & ADAMOPOULOS (2010) para o suco de laranja concentrado, incorporado com maltodextrina (DE 21, 12 e 6) nas concentrações de 2,5, 3,5 e 4,5%, desidratado nas temperaturas de 110, 120, 130 e 140 °C; por MOREIRA et al. (2009) para o extrato seco do bagaço de acerola, utilizando-se maltodextrina e goma de cajueiro como agente carreador e temperaturas de secagem entre 170 e 200 °C; por SOUZA et al. (2009) para o tomate em pó adicionado de 10% de maltodextrina (DE-10), seco por aspersão nas temperaturas de 200, 210 e 220 °C e por

SOLVAL et al. (2012) ao secarem melão cantaloupe (*Cucumis melo*), com adição de 10% de maltodextrina (DE 9-13) aplicando as temperaturas de 170, 180 e 190 °C, que obtiveram pós com 5,39; 4,02 e 3,81%, respectivamente.

Para FRASCARELI et al. (2012) quando são utilizadas temperaturas elevadas há um grande gradiente de temperatura entre o produto atomizado e o ar de secagem, resultando em uma transferência maior de calor e massa e, conseqüentemente, em maiores taxas de evaporação de água. Maiores taxas de evaporação resultam em teores de água menores e uma fluidez maior dos pós produzidos a temperaturas mais elevadas pode ser atribuída aos baixos teores de água (FITZPATRICK, 2005; MOREIRA et al., 2009).

Observa-se, na Tabela 4.9, que as amostras coletadas no ciclone na temperatura de 150 °C foram estatisticamente iguais a amostra na temperatura de 170 °C e diferem estatisticamente da temperatura de 190 °C. WOO et al. (2008) constataram que soluções preparadas à base de sacarose e maltodextrina, secas por aspersão em diferentes temperaturas (120, 150 e 190 °C) de secagem, coletadas na câmara de secagem no tempo de 15 minutos, não apresentaram diferença significativa em relação ao teor de água entre as temperaturas de 150 e 190 °C.

Analisando o teor de água das formulações em pó obtidas na câmara de secagem e no ciclone, constata-se que o pó coletado na câmara de secagem apresentou valor inferior e significativo em relação ao pó coletado no ciclone nas temperaturas de 170 e 190 °C; comportamento inverso foi observado por OLIVEIRA et al. (2006) ao caracterizarem o pó da polpa da pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e verificaram que o pó coletado na câmara de secagem apresentou teor de água superior (8,12%) ao do ciclone (7,64%), secos na temperatura de 140 °C.

O teor de água da formulação do pó da murta coletado na câmara de secagem apresentou valores entre 3,49 e 1,61% e o pó coletado no ciclone variou de 3,62 a 2,13%. ROCHA (2009) reportou valor superior para o teor de água (8,33%) para o pó de mirtilo, obtido a partir da Formulação (50 ml de polpa de mirtilo + 50 ml de água destilada + 20% de maltodextrina DE 10) seca por aspersão utilizando a temperatura de 170 °C. Valores na faixa do teor de água encontrado para o pó da murta, foram verificados por OBÓN et al. (2009) ao secar, por aspersão, o extrato dos frutos de *Opuntia stricta* (tipo de cactus) e registraram teor de água entre 3,4 e 3,6% nas temperaturas de 100, 120 e 160 °C.

#### 4.2.3.2 - Atividade de água

Na Tabela C.2 (Apêndice C) é apresentada a análise de variância dos valores médios do parâmetro atividade de água ( $a_w$ ) dos pós da murta, coletados na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e local de coleta da amostra porém a interação entre esses fatores não foi significativa.

Na Tabela 4.10 se apresentam os valores médios da atividade de água ( $a_w$ ), da murta em pó nas diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletada na câmara de secagem e ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.10** – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Atividade de água ( $a_w$ )	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	0,241 ± 0,029 aA	0,190 ± 0,029 aB
170	0,170 ± 0,023 bA	0,151 ± 0,022 abA
190	0,178 ± 0,000 bA	0,139 ± 0,017 bA

DMS para colunas = 0,047; DMS para linhas = 0,039; MG = 0,178; CV = 12,33%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando a influência da temperatura de secagem sobre a atividade de água ( $a_w$ ), percebe-se, no geral, tendência de redução do parâmetro  $a_w$  para os pós coletados na câmara de secagem e ciclone com o aumento da temperatura.

A temperatura de 150 °C proporcionou a obtenção de pós com maiores valores de atividade de água para os dois tipos de pó coletado; comportamento semelhante foi observado por SOLVAL et al. (2012) para pós de melão cantaloupe, secos nas temperaturas de 170, 180 e 190 °C, em secador por aspersão e obtiveram valor superior para a atividade de água na menor temperatura (170 °C  $a_w = 0,19$ ) e em relação às temperaturas de 180 e 190 °C ( $a_w = 0,15$ ), não apresentaram diferenças estatísticas; tem-se, para os pós coletados na câmara de secagem, que o aumento da temperatura não

influenciou significativamente a atividade de água dos pós obtidos entre as temperaturas de 170 e 190 °C, uma vez que nas duas temperaturas os valores da atividade de água não apresentaram diferença significativa. FAZAELI et al. (2012b) mostraram que a atividade de água dos pós da amora preta (*Morus nigra*) adicionada de maltodextrina (DE - 6, 9 e 20) e de goma arábica, secos por aspersão diminuiu com o aumento da temperatura de secagem (110, 130 e 150 °C) em razão de que, quanto mais elevada a temperatura de secagem maior a taxa de transferência de calor para a partícula, proporcionando maior força motriz para a evaporação da água.

FANG & BHANDARI (2011) registraram atividade de água de 0,215 para o pó obtido a partir da elaboração do suco de groselha (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc) incorporado de maltodextrina (DE-10), misturados na proporção 1:1, com o teor de sólidos solúveis totais da solução de 11 °Brix, seco por aspersão com temperatura de secagem de 150 °C.

Verifica-se, na Tabela 4.10, que a atividade de água do pó obtido no ciclone diminuiu significativamente ao aumentar a temperatura de 150 para 190 °C enquanto a temperatura de 170 °C não apresentou diferença significativa entre as temperaturas de 150 e 190 °C. Os valores da atividade de água dos pós coletados no ciclone variaram de 0,190 a 0,139. LANCHÁ et al. (2012) também perceberam que a atividade de água foi menor quando se empregou maior temperatura (140 e 180 °C) e registraram valores superiores de  $a_w$  (0,298 e 0,282) para o pó de jabuticaba secos por aspersão para uma mesma concentração de maltodextrina (10%).

No geral, a atividade de água da murta em pó ficou entre 0,241 e 0,139, valores considerados na faixa recomendada para o armazenamento, estável, sem atividade microbiológica e enzimática. Segundo SINGH & HELDMAN (1993) e MARQUES et al. (2007), os valores de atividade de água entre 0,20 e 0,40 asseguram a estabilidade da armazenagem do produto quanto ao escurecimento, reações de oxidação, auto-oxidação e atividade enzimática. NADEEM et al. (2011) obtiveram três amostras de pós de extrato de chá (*Sideritis stricta*), adicionados de maltodextrina (DE-12 e 19) e goma arábica, produzidas em diferentes temperaturas de secagem (145, 155 e 165 °C), as quais apresentaram valores de atividade de água entre 0,157 e 0,215, considerando-se o pó microbiologicamente estável.

#### 4.2.3.3 - Luminosidade

Na Tabela C.3 (Apêndice C) se encontra a análise de variância dos valores médios do parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) do pó de murta coletado na câmara de secagem e no ciclone para diferentes temperaturas de secagem. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e para a interação desses fatores sobre os valores da luminosidade.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da Formulação em pó da polpa da murta submetida a diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletadas na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.11** – Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Luminosidade ( $L^*$ )	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	20,57 ± 0,01 aB	24,80 ± 0,03 aA
170	17,93 ± 0,03 bB	21,85 ± 0,02 bA
190	16,75 ± 0,03 cB	21,73 ± 0,00 cA

DMS para colunas = 0,05; DMS para linhas = 0,04; MG = 20,60; CV = 0,12%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Avaliando o aumento da temperatura de secagem observa-se redução nos valores médios dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone para a luminosidade, o que implica dizer que os pós se tornaram mais escuros a temperaturas de secagem mais elevadas, enquanto os valores encontrados para todas as amostras diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. De acordo com KARA & ERCELEBI (2013) a luminosidade ( $L^*$ ) é uma medida de cor sobre o eixo de luz-escuridão e a redução dos valores da luminosidade ( $L^*$ ) indica que as amostras ficam mais escuras.

Tendência semelhante também foi relatada em estudos anteriores, por TONON et al. (2009) que verificaram que o aumento da temperatura de secagem (140, 170 e 200 °C) resultou em pós de açaí adicionados de 20% de maltodextrina, com menor luminosidade, o que pode estar relacionado à maior retirada de água, que resultou em produtos mais

concentrados e, conseqüentemente, mais escuros. AUGUSTA (2011) verificou, ao secar o extrato da casca de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, L.), adicionado de maltodextrina (DE-10), seco por aspersão sob as temperaturas do ar na entrada do secador de 169, 175, 190, 205 e 211 °C e temperaturas do ar na saída do secador de 85, 93, 94, 95 e 96 °C ao avaliar o parâmetro L\*, que a temperatura de 211 °C apresentou o menor valor para luminosidade (L\* = 31,98) e que o aumento da temperatura deixou o pó mais opaco. QUEK et al. (2007) também observaram diminuição da luminosidade com o aumento da temperatura (145, 155, 165 e 175 °C), na secagem por aspersão do suco de melancia adicionada de 5% de maltodextrina, e atribuíram tal diminuição a um possível escurecimento, provocado pelo açúcar presente no produto.

Ainda na Tabela 4.11 pode-se observar que os pós da Formulação coletados na câmara de secagem se apresentaram estatisticamente inferiores aos pós coletados no ciclone, ou seja, os pós coletados no ciclone se revelaram mais claros indicando menor escurecimento, o que pode ser atribuído ao tempo de exposição dos pós coletados na câmara na temperatura de secagem.

#### 4.2.3.4 - Intensidade de vermelho (+a\*)

Na Tabela C.4 (Apêndice C) se encontra a análise de variância dos valores médios do parâmetro +a\* dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone, desidratada em diferentes temperaturas de secagem. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e para a interação desses fatores sobre os valores do parâmetro +a\*.

Verificam-se, na Tabela 4.12, os valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) da Formulação em pó da polpa da murta, sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletado na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

Nota-se que, com o aumento da temperatura de secagem, houve redução significativa da intensidade de vermelho (+a\*), para os pós coletados na câmara de secagem e no ciclone. A influência que o aumento da temperatura de secagem na secagem por aspersão, exerceu sobre a redução da intensidade de vermelho também foi percebida por QUEK et al. (2007) no pó da melancia obtido a partir do suco de melancia adicionado de 5% de maltodextrina e desidratado sob as temperaturas de secagem de 165 e 175 °C e por CALISKAN & DIRIM (2013) no extrato em pó de sumac (*Rhus coriaria* L.) que

apresentava 20% de sólidos solúveis totais (SST), com o uso das temperaturas de secagem de 160, 180 e 200 °C.

**Tabela 4.12** - Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Intensidade de vermelho (+a*)	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	18,54 ± 0,02 aB	27,60 ± 0,01 aA
170	15,39 ± 0,02 bB	27,23 ± 0,02 bA
190	12,30 ± 0,00 cB	22,73 ± 0,02 cA

DMS para colunas = 0,04 ; DMS para linhas = 0,03; MG = 20,63; CV = 0,10%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Percebe-se que a intensidade de vermelho do pó coletado na câmara de secagem foi significativamente inferior à do pó coletado no ciclone para todas as temperaturas estudadas. Contrariamente, CARVALHO (2008) observou menores valores de intensidade de vermelho (+a\*), para as amostras em pó coletadas no ciclone quando comparadas com os pós coletados na câmara de secagem obtidos a partir da formulação elaborada com leite de cabra, polpa de umbu-cajá e maltodextrina (5, 10 e 15%), desidratados por aspersão, utilizando-se a temperatura de 130 °C.

ERSUS & YURDAGEL (2007) secaram cenouras pretas (*Daucus carota* L.) adicionadas de maltodextrina em secador por aspersão cuja amostra, denominada Produção 1, apresentou valor de 26,02 para a intensidade de vermelho (+a\*); valor próximo ao encontrado para o pó da murta coletado no ciclone nas temperaturas de 150 e 170 °C. PENG et al. (2013) obtiveram, em estudo com a farinha da batata roxa doce adicionada de 24% de maltodextrina (MD)/ciclodextrina (CD) (5/1, w/w)), seca por aspersão utilizando a temperatura de entrada de 200 °C e saída 100 °C, resultado do parâmetro (+a\*) muito próximo (15,29) ao encontrado para o pó da murta seco a 170 °C, coletado na câmara de secagem.

#### 4.2.3.5 - Intensidade de amarelo (+b\*)

Na Tabela C.5 (Apêndice C) encontra-se a análise de variância dos valores médios do parâmetro +b\* dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone da Formulação desidratada em diferentes temperaturas de secagem. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e para a interação desses fatores sobre os valores da intensidade de amarelo.

Tem-se, na Tabela 4.13, os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da Formulação em pó da polpa de murta desidratada em diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.13** - Valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Intensidade de amarelo (+b*)	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	3,62 ± 0,02 cA	2,40 ± 0,07 bB
170	6,39 ± 0,06 bA	2,38 ± 0,05 bB
190	8,76 ± 0,01 aA	3,54 ± 0,03 aB

DMS para colunas = 0,12; DMS para linhas = 0,10; MG = 4,50; CV = 1,32%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que houve diferença significativa a 5% de probabilidade quando a temperatura de secagem aumentou ocorrendo um aumento da intensidade de amarelo (+b\*) para o pó coletado na câmara de secagem. CALISKAN & DIRIM (2013) reportaram, realizando estudos de secagem por aspersão do extrato de sumac (*Rhus coriaria* L.), apresentando teor de sólidos solúveis totais (SST) de 10%, que a intensidade de amarelo foi significativamente influenciada pela temperatura de secagem (160, 180 e 200 °C), ocorrendo um aumento do parâmetro ao aumentar a temperatura. QUEK et al. (2007) também observaram aumento do parâmetro da intensidade de amarelo (16,21 a 24,66) ao aplicar as temperaturas de secagem de 145, 155, 165 e 175 °C, no suco de melancia adicionado de 5% de maltodextrina.

Para o pó coletado no ciclone percebe-se que a intensidade de amarelo (+b\*) aumentou significativamente quando a temperatura variou de 150 para 190 °C. NADEEM et al. (2011) também observaram, em estudo de desidratação com extrato de chá (*Sideritis stricta*) pelo método de secagem por espersão, que a temperatura (145, 155 e 165 °C) de secagem afetou significativamente ( $P < 0,01$ ) os valores de +b\*, ou seja, a intensidade de amarelo aumentou com o aumento da temperatura. SAHIN-NADEEM et al. (2013) verificaram, em estudos com o pó de sálvia, seco por aspensão, aumento da intensidade de amarelo em função do aumento da temperatura de secagem de 145 para 155 °C, mantendo-se sem alteração significativa entre as temperaturas de 155 e 165 °C.

SAÉNZ et al. (2009) encontraram, ao caracterizar o pó da fruta da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) adicionada de maltodextrina (DE-10) com concentrações variando entre 6 e 30% em secador por aspensão e nas temperaturas variando entre 140 e 160 °C, para o parâmetro +b\*, valor de 8,23, próximo ao encontrado para o pó de murta obtido na temperatura de 190 °C (câmara de secagem). FERRARI et al. (2012) observaram, ao determinar a coordenada +b\* do pó de amora elaborado com a adição de 7% de maltodextrina (DE-20) desidratado a temperatura de 145 °C no secador por aspensão, o valor de 3,84. OSORIO et al. (2011) encontraram, para o pó de goiaba obtido a partir da incorporação da goma arábica/maltodextrina (1:0,5), desidratados por aspensão (200 °C), para o parâmetro +b\*, valor de 2,42, semelhante ao encontrado para a murta em pó coletado no ciclone a temperatura de 150 °C.

#### 4.2.3.6 - Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ )

Na Tabela C.6 (Apêndice C) se encontra a análise de variância dos valores médios da diferença total de cor dos pós de murta coletados na câmara de secagem e no ciclone da Formulação elaborada e desidratada sob diferentes temperaturas de secagem em relação à polpa integral. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e para a interação desses fatores sobre os valores da diferença total de cor.

Na Tabela 4.14 são apresentados os valores médios da diferença total de cor da Formulação em pó da polpa da murta sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador, por aspensão.

**Tabela 4.14** - Valores médios da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ )	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	17,64 ± 0,10 aB	27,39 ± 0,08 aA
170	14,78 ± 0,06 bB	26,04 ± 0,11 bA
190	13,21 ± 0,11 cB	21,90 ± 0,07 cA

DMS para colunas = 0,20; DMS para linhas = 0,16; MG = 20,16; CV = 0,47%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observando o comportamento da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) das amostras em pó desidratadas em diferentes temperaturas, constata-se que os valores médios diminuem significativamente com o aumento da temperatura de secagem, de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Analisando a influência da coleta dos pós, nota-se que houve aumento da diferença total de cor ao se comparar o pó do ciclone com o da câmara de secagem. SILVA et al. (2013) relataram que a secagem por aspersão da polpa de jabuticaba incorporada de 30% de maltodextrina resultou na redução da diferença total de cor com o aumento da temperatura (140, 160 e 180 °C) nos pós de jabuticaba e afirmaram que o pó que apresenta baixos valores de  $\Delta E^*$ , se torna o pó ideal, em razão de que baixos valores de diferenças total de cor são altamente desejáveis, haja vista que indica que o pigmento manteve a cor do extrato mais próxima da cor original.

Os resultados obtidos para o pó da murta divergem de estudos anteriores relatados por FISCHER et al. (2013) ao submeterem o suco de romã a tratamentos térmicos nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, e observaram aumento na diferença total de cor ao aumentar a temperatura dos tratamentos térmicos para os sucos pasteurizados. KARA & ERCELEBI (2013) constataram, para a amora (*Morus nigra* L.) concentrada (45,20 °Brix) em evaporador rotativo a vácuo a 40 °C e pasteurizados a 60, 70 e 80 °C, aumento significativo ( $p < 0,05$ ) da diferença total de cor com o tempo e temperatura do tratamento.

Para OBÓN et al. (2009) se a diferença total de cor apresentar valores de 0 a 1,5, pode-se considerar a amostra quase idêntica à do original, por meio da observação visual. Quando  $\Delta E^*$  se situar dentro do intervalo de 1,5 a 5, a diferença entre as cores já será perceptível e, ao se constatar valor maior que 5, a diferença é evidente.

Um alimento funcional fornece vários benefícios à saúde mas, sem atração visual para os consumidores, o mesmo pode não ter boa comercialização, razão pela qual a cor dos produtos processados deve ser minimamente alterada ou permanecer inalterada após a produção para lembrar, aos consumidores, a cor do produto original (CALISKAN & DIRIM, 2013).

#### 4.2.3.7 - pH

Tem-se, na Tabela 4.15, os valores médios do pH da Formulação em pó da polpa da murta sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.15** - Valores médios do pH da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	pH	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	3,23 ± 0,00	3,20 ± 0,00
170	3,34 ± 0,01	3,22 ± 0,01
190	3,46 ± 0,00	3,31 ± 0,00

Observa-se que, com o aumento da temperatura, os valores do pH do pó da murta apresentaram tendência de aumento para os pós coletados na câmara de secagem e no ciclone; verifica-se também que o pó coletado na câmara de secagem se apresentou superior em relação ao pH do pó coletado no ciclone, em todas as temperaturas estudadas. CALISKAN & DIRIM (2013) concluíram, ao estudar o pó do extrato sumagre, seco por aspersão, que o aumento da temperatura do ar na entrada (160, 180 e 200 °C) e na saída do secador não teve efeito significativo sobre os valores do pH, cujo resultado se encontra de acordo com os resultados de KHA et al. (2010) que não detectaram diferenças significativas entre os valores do pH do pó da fruta *Momordica cochinchinensis* (Gac - família Cucurbitaceae – nativa da Ásia Tropical) com o aumento da temperatura de secagem (120-200 °C). GONZALEZ–PALOMARES et al. (2009) concluíram que o pH do pó de extrato de Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) não se alterou ao aplicar diferentes temperaturas de secagem.

Tal como a polpa integral, os produtos desidratados (murta em pó) permaneceram com o pH abaixo de 3,5, sendo classificados muito ácidos, o que confere fator protetor ao produto, além de exercer efeito sinérgico aos teores de atividade de água (AZEREDO & BRITO, 2004).

#### 4.2.3.8 - Acidez total titulável

Na Tabela C.7 (Apêndice C) se encontra a análise de variância dos valores médios da acidez total titulável do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone da Formulação. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e para a interação desses fatores sobre os valores da acidez total titulável.

Na Tabela 4.16 estão os valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da Formulação em pó de polpa da murta, sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.16** - Valores médios da acidez total titulável (% ac. cítrico) da formulação em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Acidez total titulável (% ac. cítrico)	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	2,91 ± 0,02 aB	3,03 ± 0,01 aA
170	2,54 ± 0,00 bB	3,01 ± 0,00 aA
190	2,14 ± 0,00 cB	2,72 ± 0,02 bA

DMS para colunas = 0,05; DMS para linhas = 0,04; MG = 2,73%; CV = 0,98%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Constata-se, que com o aumento da temperatura de secagem, que houve redução significativa da acidez total titulável para o pó coletado na câmara de secagem; para o pó da murta coletado no ciclone verifica-se que entre a acidez total titulável da amostra seca a 150 e 170 °C, não existe diferença significativa havendo, porém, na amostra desidratada a 190 °C, uma redução significativa em quanto às demais. Segundo MELO (2008) a redução da acidez com o aumento da temperatura de secagem é provável visto que os ácidos

orgânicos se oxidam com a temperatura e quanto maior for a temperatura maior também será a oxidação dos mesmos.

Ainda na Tabela 4.16 tem-se que, se verificam, comparando os pós da murta coletados na câmara de secagem e no ciclone, valores significativamente menores para o pó coletado na câmara de secagem, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade demonstrando que os ácidos orgânicos se degradaram mais na câmara de secagem, resultado que divergiu do observado por OLIVEIRA et al. (2006) ao compararem a acidez total titulável do pó da pitanga coletado na câmara de secagem (0,73% ac. cítrico) com o pó do ciclone (0,74 ac. cítrico), secos por aspersão, no entanto, não observaram diferença significativa entre os valores da acidez nos diferentes locais de coleta das amostras.

#### 4.2.3.9-- Rendimento

Na Tabela C.8 (Apêndice C) se encontra a análise de variância dos valores médios do rendimento do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone da Formulação elaborada e submetida à secagem por aspersão em diferentes temperaturas. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta da amostra e interação desses fatores sobre os valores do rendimento.

Na Tabela 4.17 são apresentados os valores médios do rendimento da Formulação em pó da polpa da murta, sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.17** - Valores médios do rendimento (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Rendimento (%)		Rendimento total (%)
	Câmara de secagem	Ciclone	
150	8,84 ± 0,01 cA	5,14 ± 0,01 cB	13,98
170	10,69 ± 0,00 bA	5,64 ± 0,01 bB	16,33
190	10,78 ± 0,00 aA	5,85 ± 0,00 aB	16,63

DMS para colunas = 0,00; DMS para linhas = 0,00; MG = 7,82%; CV = 0,00%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Ainda na Tabela 4.17 observa-se que houve, com o aumento da temperatura de secagem, aumento nos valores do rendimento das amostras os quais apresentaram diferença estatística entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. OBÓN et al. (2009) relataram que quanto mais elevava a temperatura (100, 120 e 160 °C) de secagem do secador por aspersão maior rendimento registraram para o pó obtido a partir de 20% do suco de figo (*Opuntia stricta*) incorporados de 10% de xarope de glicose (DE-20). GOULA & ADAMOPOULOS (2005) estudaram o efeito da temperatura do ar na entrada do secador e velocidade do fluxo do ar comprimido nas características de pulverização de tomate em pó e concluíram que o rendimento da secagem aumentou com o aumento da temperatura do ar de entrada e com a taxa de fluxo de ar comprimido.

Para LEÓN-MARTÍNEZ et al. (2010) o maior rendimento pode ser atribuído à adição de agentes carreadores e às temperaturas do ar de secagem mais elevadas o que resulta em tempos de secagem mais rápidos e maior produtividade do pó. De acordo com FAZAELI et al. (2012a) altas temperaturas do ar de secagem são benéficas sobre o rendimento do processo; por ter maior eficiência na transferência de calor, diminui a probabilidade das partículas ficarem aderidas na parede da câmara de secagem.

É provável que vários fatores interfiram no rendimento da secagem por aspersão, dentre os quais se destacam as partículas do pó que aderem à parede da câmara de secagem ou algumas partículas finas que são expelidas através do filtro do secador, ocorrendo perdas no processo (FANG & BHANDARI, 2011).

Avaliando comparativamente o local da coleta da amostra constata-se que os valores médios obtidos para o rendimento diferiram estatisticamente em que os menores rendimentos foram encontrados para as amostras coletadas no ciclone. FERNANDES et al. (2012) também verificaram baixa eficiência de recuperação do ciclone ao secar por aspersão, o extrato de *Lippia sidoides* adicionado de maltodextrina e goma arábica em diferentes proporções 4:1, 3:2, 2:3; 0:1 (m/m), nas temperaturas de secagem de 140, 150 e 160 °C e afirmaram que o uso de baixas temperaturas de secagem gera um produto úmido que tende a aderir à parede da câmara de secagem e no ciclone.

GOULA & ADAMOPOULOS (2010) desidrataram, em secador por aspersão, suco de laranja concentrado com adição de maltodextrina (DE - 21, 12 e 6) e temperaturas de secagem de 110, 120, 130 e 140 °C; como resultado, verificaram valores de rendimento que variaram entre 5 e 14%, considerados baixos para os valores de rendimento relatados em outros estudos embora tenham utilizado condições operacionais e conteúdos de maltodextrina semelhantes.

#### 4.2.3.10 - Molhabilidade

Na Tabela C.9 (Apêndice C) tem-se a análise de variância dos valores médios da molhabilidade do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone da formulação elaborada e submetida à secagem por aspersão a diferentes temperaturas, cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e efeito não significativo para o local de coleta da amostra e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.18 são apresentados os valores médios da molhabilidade da Formulação em pó da polpa da murta, sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.18** - Valores médios da molhabilidade (g/min) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone sob diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Murta em pó	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	0,50 ± 0,00 aA	0,44 ± 0,09 aA
170	0,23 ± 0,02 bA	0,28 ± 0,07 bA
190	0,16 ± 0,00 bA	0,20 ± 0,00 bA

DMS para colunas = 0,11; DMS para linhas = 0,09; MG = 0,30g/min; CV = 16,83%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV = Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A molhabilidade é um teste simples, que fornece o tempo necessário para que o produto em pó absorva o líquido (FORNY et al., 2011). Para um pó com boas propriedades de instantaneidade, quando o pó é vertido sobre uma superfície líquida quatro fases devem ser concluídas dentro de alguns segundos: penetração do líquido nos espaços vazios entre as partículas; as partículas devem imergir no líquido; dispersão do pó no líquido e dissolução das partículas no líquido (se a substância é solúvel) (TURCHIULI et al., 2005).

Diante dos valores médios da molhabilidade verifica-se, na Tabela 4.18, que os pós que apresentaram menor tempo para imergir no líquido foram representados pela temperatura de 150 °C, para ambos os pós coletados, não apresentando diferença estatística para as temperaturas de 170 e 190 °C; os pós coletados na câmara de secagem e no ciclone

não apresentaram diferença estatística entre si. CALISKAN & DIRIM (2013) constataram, para o extrato em pó de Sumac (*Rhus coriaria* L.) com maltodextrina (DE 10 e 12) desidratados em secador por aspersão nas temperaturas de secagem de 160, 180 e 200 °C, que a temperatura de secagem teve efeito significativo sobre a molhabilidade dos pós ( $p < 0,05$ ) afirmando que o tempo médio da molhabilidade aumentou com o aumento da temperatura. CHEGINI & GHOBADIAN (2005) relataram que o aumento da temperatura (110, 130, 150, 170 e 190 °C) de secagem no secador por aspersão, ocasionou um aumento no tempo médio da molhabilidade do suco da laranja em pó e que, em razão das altas temperaturas de secagem reduzirem o teor de água final do pó, contribuíram para a formação de uma camada de superfície dura impedindo a entrada de água no interior da amostra.

Os pós da formulação da polpa da murta obtidos a partir da secagem por aspersão obtiveram tempos inferiores a 4,5 min para ocorrer a molhabilidade de cerca de 1 g de pó obtido nas temperaturas de secagem de 150 e 170 °C enquanto na temperatura de 190 °C os tempos foram iguais ou superiores a 5 min denotando que em temperaturas menores a molhabilidade foi melhor.

LANNES & MEDEIROS (2003) afirmaram que se 90% da amostra mergulharem no líquido em 5 minutos, pode ser um bom parâmetro. Diante deste valor as amostras de murta ficaram dentro deste tempo, exceto a amostra seca a 190 °C coletada na câmara de secagem cujo tempo foi de 6 min. LANCHETA et al. (2012) observaram, ao avaliar as amostras de pó da polpa de jabuticaba com 10% de maltodextrina desidratadas por aspersão nas temperaturas de 140 e 180 °C, que o tempo para os pós imergirem na água demorou 11 e 17 segundos, respectivamente. FERRARI et al. (2012) verificaram, estudando a molhabilidade do pó de amora adicionado de 7% de maltodextrina (DE-20), submetido a secagem por aspersão em temperatura de 145 °C, um tempo de 82,20 s para ocorrer o processo.

As propriedades físicas e a composição química podem ter influenciado significativamente a capacidade de umedecimento, em razão de uma parte dos pós da murta coletados na câmara de secagem e no ciclone permanecer sobre a superfície do líquido durante um período superior a 4 minutos. Segundo KNIGHT (2001) é evidente que um líquido de baixa viscosidade deve penetrar rapidamente nas amostras e, se a penetração observada é lenta, algum fator deve ser responsável pela inibição da absorção de água. Para FANG et al. (2008) o tipo de pó, o tamanho das partículas e o teor de gordura, limitam a capacidade de umedecimento.

De acordo com KNIGHT (2001) a aglomeração para a molhabilidade é benéfica visto que o aumento do tamanho da partícula reduz a resistência de modo que, em contato com a água, se separam, ao invés de aderir e, conseqüentemente, reduzem o tempo de umedecimento.

#### 4.2.3.11 - Insolubilidade

Na Tabela C.10 (Apêndice C) tem-se a análise de variância dos valores médios da insolubilidade do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone da formulação elaborada e submetida à secagem por aspersão a diferentes temperaturas cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta das amostras e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.19 se apresentam os valores médios da insolubilidade da Formulação em pó da polpa da murta sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem e coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.19** – Valores médios de insolubilidade (%) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Insolubilidade (%)	
	Câmara de secagem	Ciclone
150	21,03 ± 0,88 bA	13,74 ± 1,16 bB
170	20,22 ± 0,93 bA	18,58 ± 1,49 aA
190	28,43 ± 0,94 aA	18,91 ± 2,12 aB

DMS para colunas = 2,90; DMS para linhas = 2,37; MG = 20,15%; CV = 6,61%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Quando, na Tabela 4.19, se avalia o aumento da temperatura, observa-se tendência de aumento de insolubilidade dos pós da murta coletados na câmara de secagem e no ciclone. O percentual de solubilidade na câmara de secagem foi de 78,97, 79,22 e 71,57% para as temperaturas de 150, 170 e 190 °C, respectivamente; para CANO-CHAUCA et al. (2005) é comum ocorrer problemas de solubilidade quando os alimentos são submetidos a

altas temperaturas especialmente produtos com alta concentração de sólidos. Similarmente, CHEGINI & GHOBADIAM (2005) relataram que o aumento da temperatura do ar de admissão provoca diminuição na solubilidade do pó de suco de laranja. VISSOTTO et al. (2010) verificaram que as insolubilidades da bebida de cacau em pó foram iguais entre si nas temperaturas de 40 e 60 °C houve diferença significativa entre a insolubilidade do pó seco a 80 e a 100 °C; é provável que, ao se aplicar temperaturas mais altas ocorra a formação de grânulos mais resistentes e o tempo de dissolução dos sólidos no líquido passa a ser insuficiente para a total dissolução das amostras. SAHIN-NADEEM et al. (2013) observaram, quando obtiverem o pó de sálvia, seco por aspersão que, ao aumentar a temperatura (145, 155 e 165 °C) de secagem aumentaram, também, a insolubilidade do pó, e afirmam que temperaturas baixas tem maior tendência de aglomeração dos pós, facilitando a sua reconstituição.

Observa-se, para o pó coletado no ciclone na temperatura de 150 °C, maior percentual de solubilidade (86,26%); os demais pós apresentaram 81,42 e 81,09%, para as temperaturas de 170 e 190 °C, respectivamente. Embora tenha ocorrido aumento na insolubilidade do pó ao se aumentar a temperatura de secagem, eles se mantiveram estatisticamente iguais nas temperaturas de 170 e 190 °C. Valor inferior foi observado por CEBALLOS et al. (2012) ao verificarem a solubilidade do pó da graviola liofilizado, adicionado de 18% de maltodextrina (DE-20) e água destilada, para a taxa de congelamento de 0,5 (°C/min) (-10 °C), e constataram 85,75% de solubilidade, ou seja, 14,85% de insolubilidade; percentual semelhante foi obtido por SZULC & LENART (2012) ao estudarem a solubilidade do leite em pó integral e registraram o percentual de 82% de solubilidade, 85% para uma mistura em pó e 83% de uma mistura processada (73% de leite em pó integral, 25% de açúcar e 2% de morango em pó) aglomerado com água caracterizando os pós estudados com solubilidade muito elevada em água; indicando que os pós da Formulação da murta produzidos através da secagem por aspersão coletados no ciclone, apresentam boa solubilidade em água a temperatura ambiente.

Percebe-se, ao comparar os valores médios da insolubilidade do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone, que somente na temperatura de 170 °C esses valores se mantiveram estatisticamente iguais; para as demais temperaturas os pós coletados na câmara de secagem apresentaram maior percentual de insolubilidade.

#### 4.2.3.12 - Antocianinas totais

Na Tabela C.11 (Apêndice C) tem-se a análise de variância dos valores médios das antocianinas totais do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone da Formulação elaborada cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, local de coleta das amostras e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.20 se encontram os valores médios das antocianinas totais da Formulação em pó da polpa da murta sob diferentes temperaturas (150, 170 e 190 °C) de secagem, coletados na câmara de secagem e no ciclone do secador por aspersão.

**Tabela 4.20** - Valores médios das antocianinas totais (mg/100 g) da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone, sob diferentes temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Antocianinas totais (mg/100 g)	
	Câmara de secagem	Ciclone
<b>150</b>	158,29 ± 0,61 aA	96,55 ± 0,27 aB
<b>170</b>	152,85 ± 0,19 bA	87,18 ± 0,03 bB
<b>190</b>	77,09 ± 0,05 cA	17,94 ± 0,77 cB

DMS para colunas = 0,92; DMS para linhas = 0,75; MG = 98,31mg/100g; CV = 0,43%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.20 as antocianinas totais sofreram redução significativa com o aumento da temperatura de secagem nos dois locais de coleta da amostra (câmara e ciclone), com os maiores valores das amostras da câmara, ficando demonstrado que a secagem das amostras nas temperaturas mais baixas e coletadas na câmara de secagem permite uma retenção maior deste componente.

SILVA et al. (2013) relataram, ao verificar a retenção de antocianinas no pó de jabuticaba seco por aspersão nas temperaturas de secagem de 140, 160 e 180 °C utilizando 30% de maltodextrina, valores de 83,21; 99,02 e 86,63%, respectivamente, e consideraram que a retenção foi alta, mesmo quando as temperaturas na saída do secador eram elevadas indicando que, de alguma forma as antocianinas apresentaram resistência ao calor. FAZAELI et al. (2012b) constataram, ao secar por aspersão nas temperaturas de 110, 130 e

150 °C, amora preta (*Morus nigra*) adicionada de maltodextrina (DE - 9) nas concentrações de 8, 12 e 16%, que ao aumentar a temperatura de secagem degradações ocorreram no teor de antocianinas. TONON et al. (2009) observaram, estudando a retenção de antocianinas de pós de açaí adicionados de 20% de maltodextrina (DE-10), que, ao se aumentar a temperatura do secador por aspersão (138, 170 e 202 °C) provocam-se maiores perdas de antocianinas, em que, à alta sensibilidade desses pigmentos, as altas temperaturas. ERSUS & YURDAGEL (2007) também verificaram maiores perdas de antocianinas de cenouras pretas (*Daucus carota* L.), com o aumento da temperatura (160, 180 e 200 °C) de secagem no secador por aspersão e concluíram que a temperatura de 160 °C mostrou maior retenção do pigmento sugerindo que as temperaturas de operação são muito importantes para a secagem de materiais sensíveis ao calor. FANG & BHANDARI (2011) avaliaram a estabilidade das antocianinas do suco de groselha (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc) adicionado de maltodextrina (DE-10) na proporção de 1:1, seco por aspersão na temperatura de 150 °C e relataram que o pó apresentou 94% de antocianinas totais considerando a secagem por aspersão uma técnica satisfatória.

Para WANG & XU (2007) as antocianinas não são estáveis a altas temperaturas, a degradação térmica foi encontrada em muitas frutas e o tratamento térmico é um dos fatores mais importantes que influenciam a estabilidade das antocianinas. Segundo SUN et al. (2009) o principal problema com a aplicação de antocianinas como corantes de alimentos é a sua vulnerabilidade a temperatura.

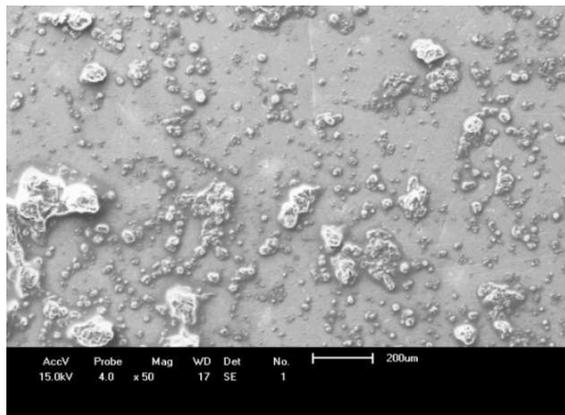
Para KARA & ERÇELEBI (2013) o método utilizado no processamento da polpa tem forte influência na estabilidade das antocianinas. Segundo FAZAELI et al. (2013) a magnitude e a duração do aquecimento influenciam no teor de antocianinas, porém estudos recentes têm demonstrado que a estabilidade das antocianinas não é apenas função da temperatura de processamento mas, por sua vez, é influenciada pelas propriedades intrínsecas do produto e pelas características do processo.

KIRCA et al. (2007) verificaram que as antocianinas de cenouras pretas (*Daucus carota* L.) dependem de fatores como a temperatura, teor de sólidos e o pH. Para CAVALCANTI et al. (2011) as antocianinas são facilmente susceptíveis à degradação por meio de fatores como luz, pH, temperatura do processamento e armazenamento e a presença de copigmentos, enzimas, oxigênio, ácido ascórbico e açúcar, entre outros que afetam a cor e a estabilidade desses compostos.

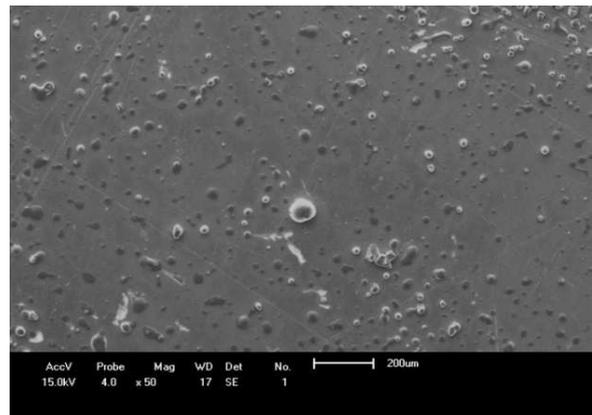
#### 4.2.3.13 - Morfologia

Realizou-se a análise da morfologia das partículas das polpas da murta em pó, coletadas na câmara de secagem e no ciclone. As imagens apresentadas na Figura 4.8, correspondem às partículas produzidas na temperatura de secagem de 150 °C. Verificam-se diferenças nas formas das partículas do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone. Observa-se que o pó coletado na câmara de secagem apresentou formato irregular e com depressão e o pó coletado no ciclone apresentou-se de forma mais lisa e oca. Para TONON et al. (2009) a predominância da forma lisa pode melhorar as características de escoamento. NIJDAM & LANGRISH (2006) afirmaram que quando a temperatura de secagem é baixa a superfície das partículas permanece úmida e flexível durante mais tempo, de modo que a partícula pode esvaziar, ficar oca ou enrugar à medida que arrefece; comportamento semelhante foi observado por OBÓN et al. (2009), ao relatarem que as partículas do extrato dos frutos de figo (*Opuntia stricta*), desidratados por aspersão (160 °C) se apresentaram como esferas ocas exibindo, às vezes, um pequeno orifício na superfície; os autores sugeriram que as esferas ocas foram formadas no processo de secagem por aspersão decorrente da vaporização do líquido contido no interior da esfera.

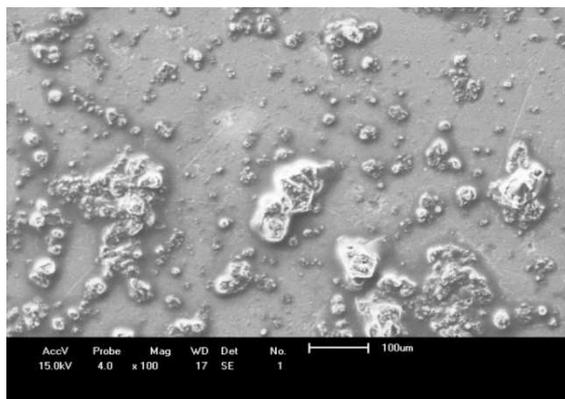
ALLAMILLA-BELTRAN et al. (2005) afirmaram surgir diferenças morfológicas entre os pós obtidos a diferentes temperaturas (110, 170 e 200 °C); devido a diferenças na taxa de secagem em baixas temperaturas de secagem (110 °C) é perceptível um grau maior de encolhimento e superfície irregular em comparação com a secagem a temperaturas elevadas.



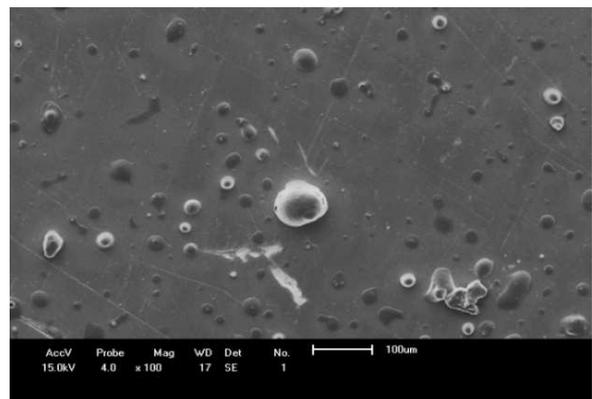
(a) Câmara, aumento de 50 vezes



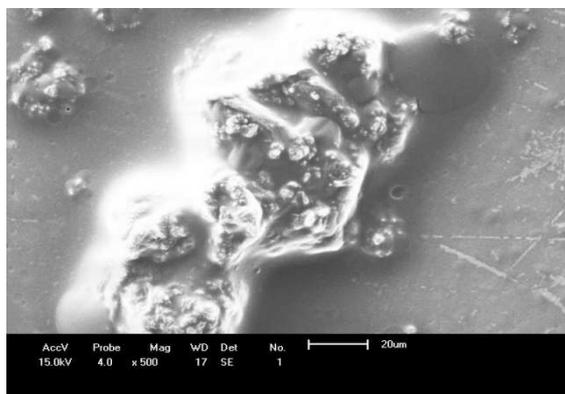
(b) Ciclone, aumento de 50 vezes



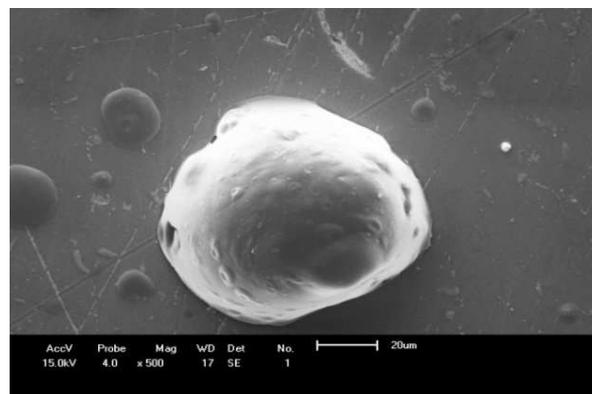
(c) Câmara, aumento de 100 vezes



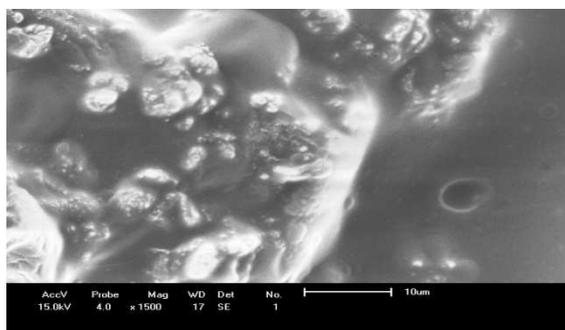
(d) Ciclone, aumento de 100 vezes



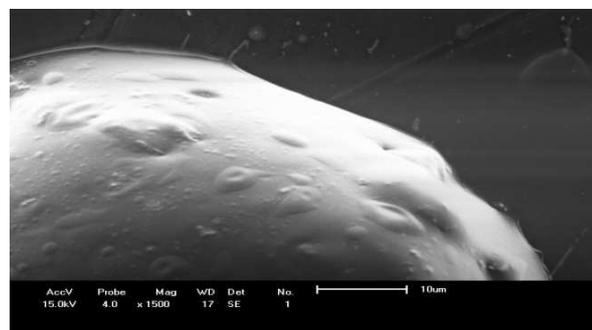
(e) Câmara, aumento de 500 vezes



(f) Ciclone, aumento de 500 vezes



(g) Câmara, aumento de 1500 vezes



(h) Ciclone, aumento de 1500 vezes

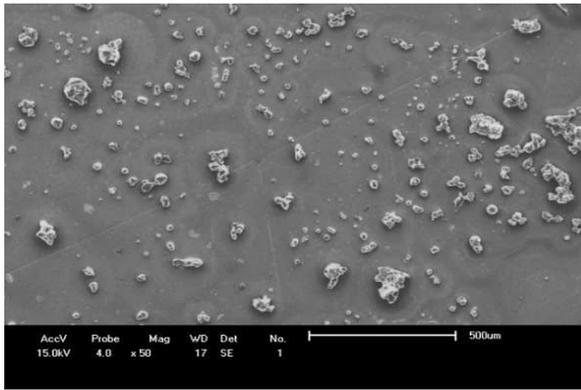
**Figura 4.8** – Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão na temperatura de 150 °C da polpa da murta em pó, coletada na câmara de secagem e no ciclone

As imagens apresentadas na Figura 4.9 correspondem às partículas produzidas com temperatura de secagem de 170 °C para as partículas em pó da polpa da murta coletadas na câmara de secagem e no ciclone. Nota-se que as partículas das amostras coletadas na câmara de secagem e no ciclone apresentaram formas irregulares. MELO (2012) ao desidratar em secador por aspersão a polpa de atemoia com adição de maltodextrina na temperatura de 180 °C, relatou que as partículas das amostras coletadas na câmara de secagem e no ciclone não apresentaram formato esférico, característico de pós produzidos por secagem por aspersão.

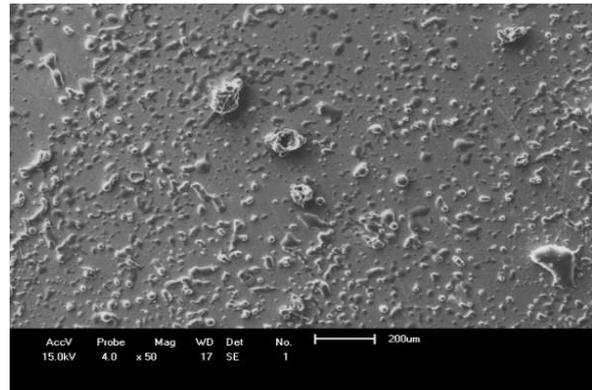
O pó coletado na câmara de secagem apresentou-se de forma enrugada e murcha. JENIPONG et al. (2008) relataram que as partículas produzidas através da secagem por aspersão a partir do leite de soja com baixos teores de sólidos, são mais rugosas que aquelas produzidas a partir de altos teores de sólidos; as diferenças na microestrutura podem ser em razão de que as amostras que apresentavam baixos teores de sólidos têm removida maior quantidade de água durante a desidratação resultando em maior encolhimento das partículas, o que tende a formar enrugamento.

Observa-se, na Figura 4.9, que o pó coletado no ciclone apresentou trincas. CANO-CHAUCA et al. (2005) verificaram que o tratamento usando a maltodextrina como agente carreador e a adição da celulose para os níveis 0, 3, 6 e 9%, em algumas partículas provocam cisões e poros na superfície exterior. Para FRASCARELI et al. (2012) a ausência de fissuras nas paredes das partículas ou de porosidade sobre a superfície indica que houve uma cobertura completa do agente carreador sobre o núcleo.

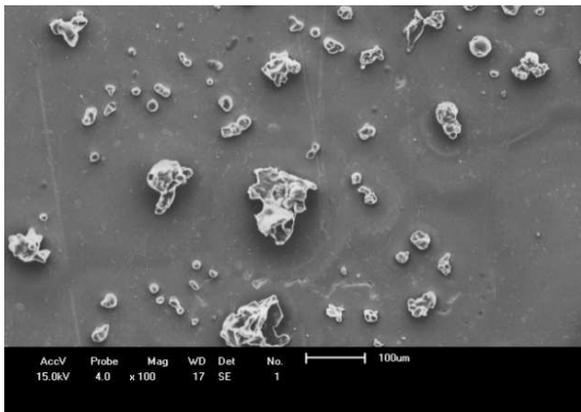
Também foi observada a formação de depressões nas partículas do pó de murta coletados na câmara e no ciclone. Segundo SAÉNZ et al. (2009) a formação de depressões na superfície das partículas obtidas através da secagem por aspersão é geralmente atribuída ao encolhimento da partícula em razão da perda drástica de teor de água seguido de arrefecimento. De acordo com TONON (2009), as desvantagens de partículas com superfícies rugosas é que elas podem tornar-se mais susceptíveis às reações de degradação e apresentarem problemas nas suas propriedades de fluxo.



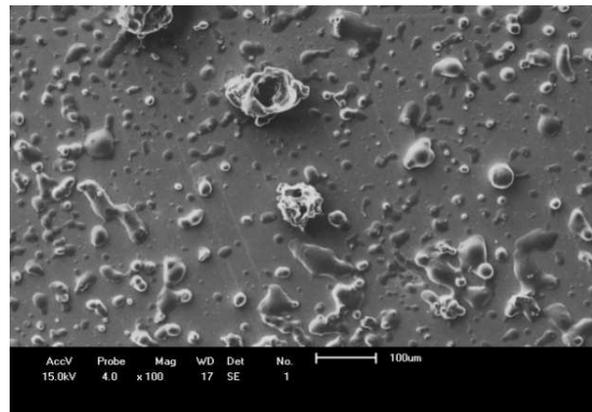
(a) Câmara, aumento de 50 vezes



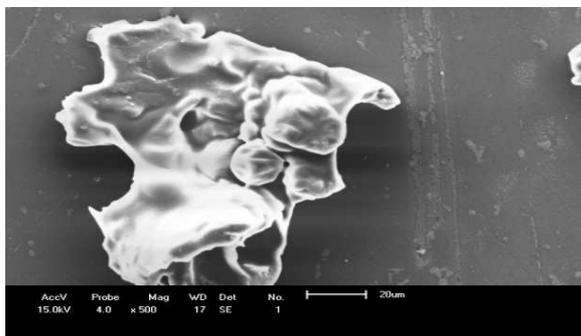
(b) Ciclone, aumento de 50 vezes



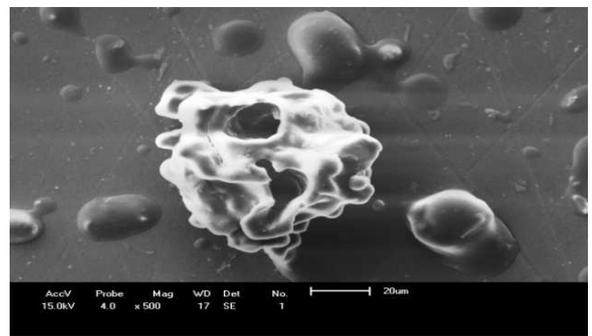
(c) Câmara, aumento de 100 vezes



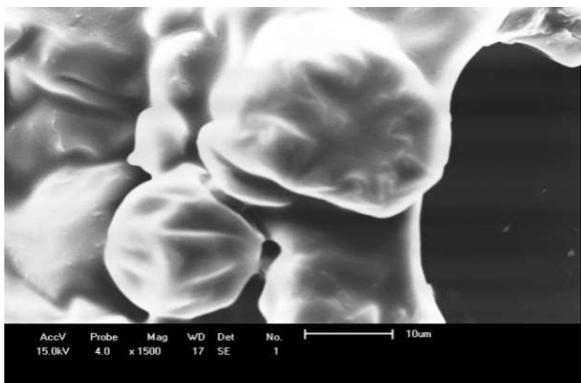
(d) Ciclone, aumento de 100 vezes



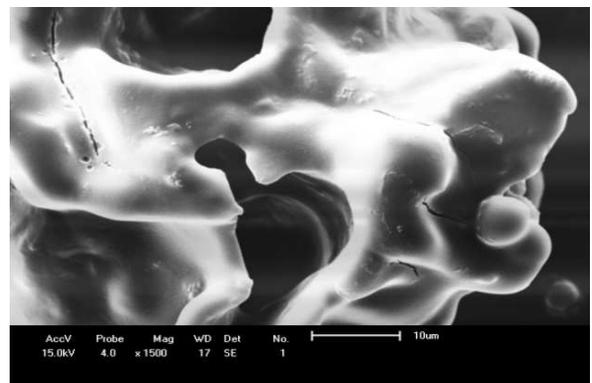
(e) Câmara, aumento de 500 vezes



(f) Ciclone, aumento de 500 vezes



(g) Câmara, aumento de 1500 vezes



(h) Ciclone, aumento de 1500 vezes

**Figura 4.9** – Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão na temperatura de 170 °C da polpa da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone

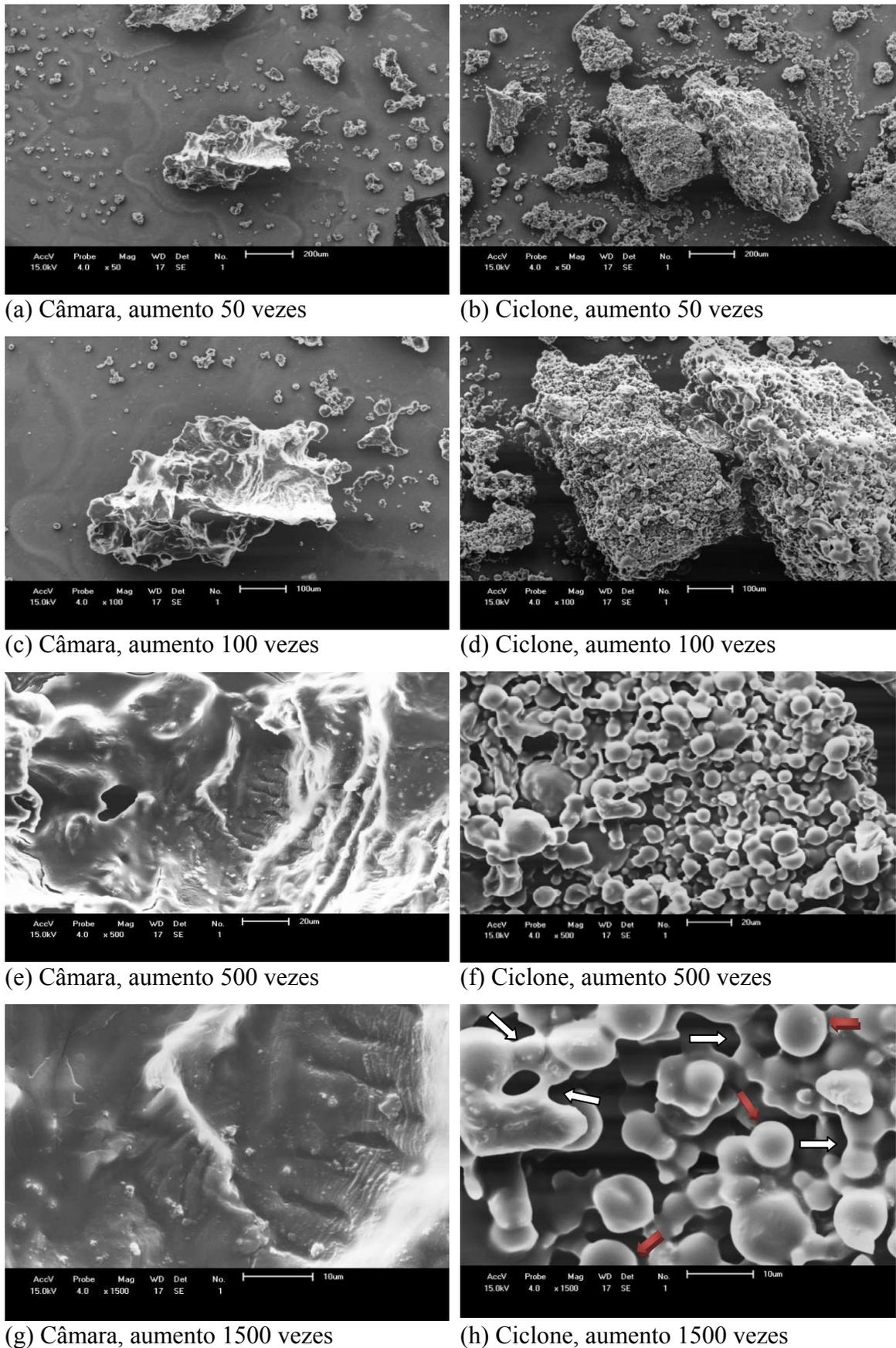
As imagens apresentadas na Figura 4.10, correspondem às partículas produzidas com temperatura de secagem de 190 °C para as partículas elaboradas através da Formulação da polpa da murta, coletadas na câmara de secagem e no ciclone.

O pó obtido na câmara de secagem não apresenta forma esférica e as partículas se apresentam com depressão. A microscopia mostrou que os pós coletados no ciclone a 190 °C aparecem como esferas perfeitas (setas vermelhas), lisas, aglomeradas e com pontes (setas brancas) entre as partículas. De acordo com OSÓRIO et al. (2010), as esferas lisas são desejáveis para a estabilidade dos ingredientes encapsulados. Segundo BARROS & STRINGHETA (2006) partículas intactas e regulares constituem resultado de um processo de secagem por aspersão perfeita. SILVA et al. (2013) verificaram, avaliando os pós obtidos com diferentes agentes de encapsulação na temperatura de secagem de 180 °C, que o uso da maltodextrina permitiu a formação de cápsulas mais homogêneas, algumas com superfícies lisas e outras com rugas.

FERRARI et al. (2012) verificaram, estudando a secagem por aspersão com a temperatura do ar de secagem de 145 °C da polpa da amora adicionada de 7% maltodextrina (DE-20), nas partículas formas esféricas, característica comum de pós obtidos pelo processo de secagem por aspersão e um grande número de partículas lisas. Os autores afirmaram que a utilização de 7% de maltodextrina resultou em forte adesão de partículas pequenas na superfície de partículas maiores, formando muitos aglomerados. Esses aglomerados também contribuíram para uma proteção melhor das antocianinas presentes na amora.

WOO et al. (2008) constataram, estudando as alterações morfológicas de partículas de soluções de sacarose-maltodextrina produzidas sob diferentes temperaturas de secagem por aspersão, que as partículas nas temperaturas de 120 e 150 °C são relativamente rígidas com deformação mínima e as partículas de 190 °C são relativamente elásticas com superfícies lisas.

BORRMANN et al. (2013) também observaram a formação de microesferas típicas em diferentes tamanhos para o suco de maracujá adicionado de amido desidratado por aspersão na temperatura de secagem de 180 °C.



**Figura 4.10**– Imagens das partículas resultantes da secagem por aspersão na temperatura de 190 °C da polpa da murta em pó coletada na câmara de secagem e no ciclone

Verifica-se que, de forma geral, houve alterações nas formas das partículas dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone ao se aplicar as temperaturas de 150, 170 e 190 °C no secador, além de que o pó coletado na câmara de secagem apresentou formato irregular e com depressões para todas as temperaturas aplicadas e somente na temperatura de 170 °C apresentou aspecto de murcha. Constata-se, ainda, grande diferença nos pós da murta coletados no ciclone. A temperatura de secagem de 150 °C apresentou pós de forma lisa e oca; a 170 °C observaram-se formas irregulares e trincas enquanto a influência da temperatura de secagem de 190 °C se mostrou no aparecimento de esferas perfeitas, lisas, aglomeradas e apresentando pontes entre as partículas.

TONON et al. (2009) observaram, ao estudar as partículas produzidas com 20% de maltodextrina e temperaturas do ar de secagem de 138, 170 e 202 °C em relação à influência da temperatura, que a grande maioria das partículas resultantes da secagem a 138 e 170°C apresentou superfície rugosa; já no caso da secagem a 202 °C uma grande parte das microcápsulas apresentaram uma superfície lisa, indicando que o aumento da temperatura favorece a obtenção de microcápsulas com superfície lisa, o que pode melhorar as características de escoamento do material. TONON et al. (2008) afirmaram que esse resultado está relacionado com as diferenças na velocidade de secagem a qual é maior para temperaturas mais elevadas provocando a evaporação da água mais rapidamente e levando à formação de uma superfície dura de modo que a partícula não pode eliminar a água de seu interior.

LANCHA et al. (2012), com relação ao pó da jabuticaba obtido por secagem por aspersão, temperatura do ar de secagem de 140 e 180 °C, perceberam que a utilização de menor temperatura levou à formação de partículas murchas enquanto temperaturas maiores resultaram em partículas lisas e arredondadas e que em todos os casos observaram a formação de pontes entre as partículas, o que se deve ao fato de os pós serem, de maneira geral, bastante higroscópicos. No pó com maior higroscopicidade (5% de maltodextrina - 180 °C), isso levou, inclusive, à formação de grandes aglomerados.

#### **4.2.5 - Isotermas de adsorção de água do pó coletado na câmara de secagem e no ciclone**

Os resultados dos valores experimentais do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água ( $a_w$ ), na temperatura de 25 °C, da Formulação em pó desidratada no secador por aspersão nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletada na câmara de

secagem, estão apresentados na Tabela 4.21. Observa-se que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, em todas as temperaturas avaliadas.

Com base na Tabela 4.21 constata-se, que a formulação em pó da murta coletada na câmara de secagem, apresentou atividades de água ( $a_w$ ) de 0,241; 0,197 e 0,217, para as respectivas temperaturas de secagem de 150, 170 e 190 °C, correspondentes a  $a_w < 0,3$ , ou seja, possuem boas condições de conservação devido à diminuição das reações degradativas; segundo PERUSSELO (2008) para se evitar reações de degradação enzimática e microbiológica em um alimento deve-se diminuir atividade de água até 0,3.

Observa-se que o pó seco à temperatura de 190 °C mostrou no estudo de adsorção menor higroscopicidade. Esta redução na capacidade de adsorção reflete, possivelmente, modificações físicas e químicas que o pó da formulação sofreu em temperaturas mais elevadas.

**Tabela 4.21** – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da murta em pó coletada na câmara do secador em função da atividade de água ( $a_w$ ) na temperatura de 25 °C

Temperatura do ar de secagem (°C)					
150		170 °C		190 °C	
$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$
0,241	0,765	0,197	0,098	0,217	0,804
0,505	5,594	0,492	4,852	0,497	6,130
0,580	8,889	0,569	8,106	0,588	8,040
0,607	10,354	0,647	11,526	0,641	9,949
0,625	11,686	0,662	12,315	0,769	16,281
0,645	12,918	0,673	12,675	0,782	17,688
0,730	18,280	0,731	16,359	0,802	19,397
0,763	20,977	0,757	18,200	0,824	21,608
0,793	25,405	0,793	21,423	0,834	22,814
0,811	26,138	0,803	22,476	0,921	43,517
0,902	47,151	0,909	44,707	-	-

Para MRAD et al. (2012) quando a atividade de água está em valores baixos ou intermediários na região chamada região sorção de múltiplas camadas, o teor de água de equilíbrio aumenta linearmente com a atividade de água enquanto em altos níveis de

atividade de água na região chamada condensação capilar, o teor de água de equilíbrio aumenta lentamente.

Na Tabela 4.22 se acham os parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Os valores obtidos são os resultados dos ajustes desses modelos às isotermas de adsorção de água, determinadas a 25 °C, da formulação em pó coletada na câmara de secagem. Observa-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) resultaram em valores acima de 0,97 em todos os modelos e amostras e os valores de  $P < 10\%$ . Desta forma, os três modelos podem ser utilizados na predição das isotermas de adsorção de água da formulação em pó da murta coletada na câmara de secagem.

**Tabela 4.22** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, do pó da formulação da murta em pó, desidratada a 150, 170 e 190 °C, em secador por aspensão coletado na câmara de secagem

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	150	16,1698	0,3568	0,8851	0,9970	3,74	
	170	8,7408	0,7121	0,9296	0,9950	2,52	
	190	6,1431	0,8180	0,9537	0,9992	1,78	
Oswin	Temperatura (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
	150	7,6688	0,8287	0,9887	7,41		
	170	7,2682	0,8010	0,9903	3,13		
	190	5,9360	0,8137	0,9958	5,08		
Peleg	Temperatura (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
	150	130,0020	23,6142	49,3171	3,1144	0,9990	1,90
	170	63,3240	13,1250	34,2941	2,5492	0,9962	2,12
	190	71,5108	16,6080	31,3497	2,7376	0,9998	0,66

Nota-se, para as temperaturas estudadas, que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Peleg, com os melhores coeficientes de determinação (>

0,995) e os menores desvios percentuais médios ( $< 2,13\%$ ). NOSHAD et al. (2012) estudando o efeito do pré-tratamento de desidratação osmótica ultrassônica sobre as isotermas de adsorção de água do marmelo usando o método gravimétrico estático nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C, ajustaram os modelos de GAB, BET, Chen, Halsey, Henderson, Peleg e Caurie e observaram que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais do marmelo tratado e não tratado, foi o de Peleg, com  $R^2 > 0,99$  e  $P < 3,6\%$ . Os parâmetros  $k_1$ ,  $n_1$  e  $n_2$  não apresentaram comportamento definido e  $k_2$  reduziu com o aumento da temperatura.

No modelo de GAB se observa redução no teor de água da monocamada molecular ( $X_m$ ) com o aumento da temperatura de secagem. Para DIOSADY et al. (1996) o valor do teor de água da monocamada molecular ( $X_m$ ) deve decrescer com o aumento da temperatura; como as moléculas absorvidas ganham energia cinética fazem com que o  $X_m$  decresça com o aumento da temperatura. MOSQUERA et al. (2012) afirmaram que o valor do teor de água da monocamada é de particular interesse uma vez que indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida na superfície dos alimentos e pode estar relacionada com a sua estabilidade. MEDEIROS et al. (2006) relataram, ao secar por aspersão a polpa de cupuaçu, valor de 4,93% para o teor de água da monocamada, no estudo das isotermas de adsorção do pó ao utilizarem o modelo de GAB.

As isotermas de adsorção de água da formulação em pó da murta na temperatura de 25 °C, podem ser classificadas como do tipo III. BLAHOVEC (2004) certifica que as curvas que apresentam valores para  $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$  no modelo de GAB são classificadas como do tipo III. Segundo CAMPOS et al. (2009) esse tipo de comportamento é uma característica de amostras com altas concentrações de açúcares e solutos e que apresentam pouca adsorção por capilaridade.

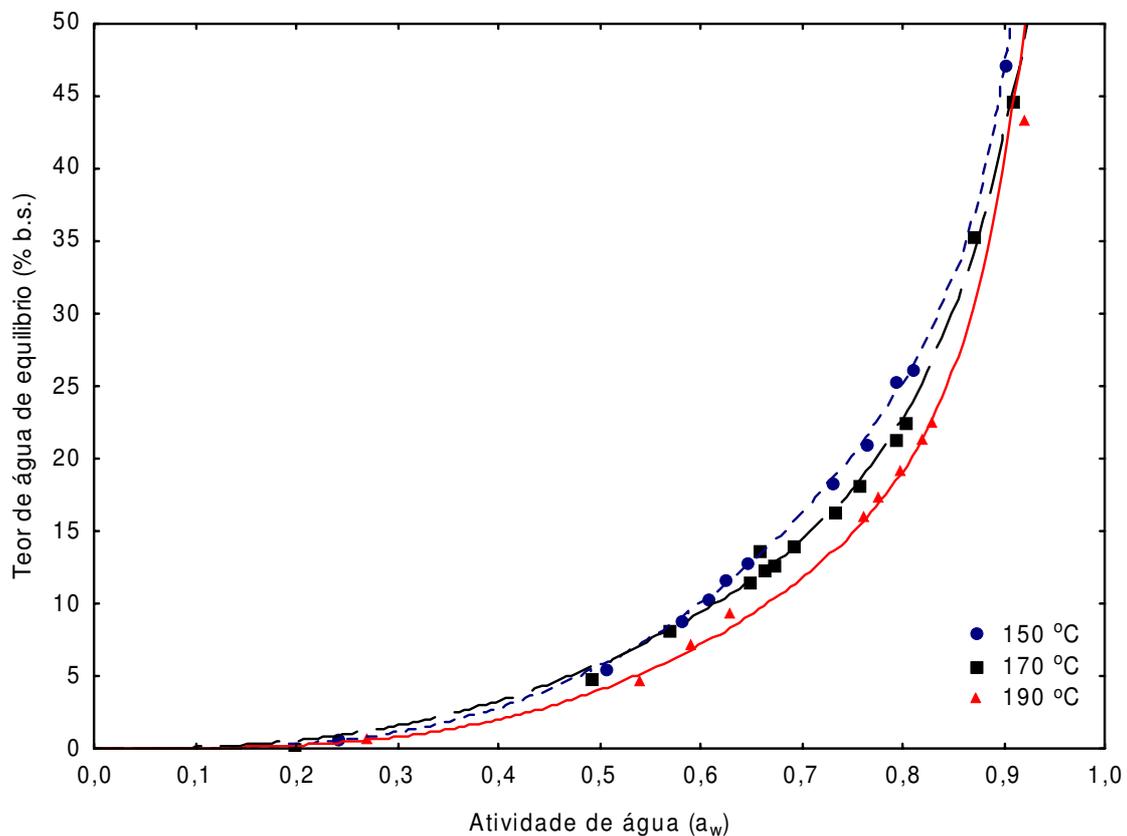
Ainda no modelo de GAB os parâmetros  $C$  e  $K$  aumentaram com o aumento da temperatura. RAHMAN (1995) e SYAMALADEVI et al. (2009) afirmaram que os valores de  $K$  comumente podem variar entre 0,7 e 1 para materiais alimentícios. Os valores de  $K$  apresentaram valores entre 0,8851 a 0,9537, ou seja,  $< 1$ , estando dentro da faixa citada.

Para o modelo de Oswin verifica-se que as amostras produzidas apresentaram coeficiente de determinação  $> 0,97$  e o parâmetro  $a$  do modelo apresentou redução com o aumento da temperatura e  $b$  variou entre 0,8010 e 0,8287, não apresentando um comportamento padrão ao aumentar a temperatura de secagem. STENCL (2004) obteve iogurte em pó através da secagem por aspersão e, ao ajustar o modelo de Oswin aos dados experimentais, obteve coeficiente de determinação de 0,9692.

No Apêndice D (Figuras D.1), tem-se as isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da murta em pó desidratada nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C coletadas na câmara de secagem e ajustadas pelo modelo de GAB e Oswin.

Na Figura 4.11 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C do pó desidratado nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletado na câmara de secagem, com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo.

Observa-se comportamento similar nas curvas dos pós da murta desidratados nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C; é perceptível o aumento do teor de água de equilíbrio com o aumento da atividade de água; nota-se que a amostra seca a 190 °C apresentou os menores teores de água de equilíbrio, sendo menos higroscópica que as demais amostras.



**Figura 4.11** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da formulação, e desidratadas sob as temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletadas na câmara de secagem, com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.23 se encontram os valores experimentais do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água na temperatura de 25 °C da formulação em pó da murta, desidratada através da secagem por aspersion nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C,

coletada no ciclone. Observa-se que o teor de água de equilíbrio também aumentou com o aumento da atividade de água, em todas as temperaturas avaliadas.

Ao analisar o comportamento do teor de água de equilíbrio entre as diferentes amostras secadas nas diferentes temperaturas de secagem (150, 170 e 190 °C), observa-se tendência de redução do teor de água de equilíbrio com o aumento da temperatura de secagem; tal tendência de comportamento também foi verificada para o teor de água e para a atividade de água com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.23** – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) a 25 °C da polpa da murta desidratada em diferentes temperaturas coletada no ciclone do secador por aspersão

Temperatura do ar de secagem (°C)					
150		170 °C		190 °C	
$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$
0,436	3,4628	0,434	2,1115	0,434	1,0496
0,519	6,1698	0,542	6,0097	0,538	5,1527
0,558	7,7356	0,602	8,0552	0,595	7,0611
0,600	9,5621	0,646	9,2053	0,629	9,1603
0,689	12,5077	0,689	10,9305	0,699	11,6412
0,710	13,2238	0,751	14,0938	0,706	12,2137
0,759	16,2271	0,773	16,3622	0,744	14,0267
0,775	18,1830	0,783	17,8319	0,781	16,8893
0,809	22,7829	0,799	19,6843	0,785	17,5573
0,889	42,2597	0,808	21,4418	0,815	20,5153
0,906	48,0351	0,893	41,5058	0,899	39,6947
-	-	0,907	47,7349	0,912	45,3244

Com base na atividade de água, a possibilidade de alteração microbiana em alimentos fica reduzida naqueles produtos que apresentam atividade de água abaixo de 0,60. Constata-se que o pó da murta terá estabilidade microbiológica em teores de água de equilíbrio de aproximadamente 9,6, 8,1 e 7,1% b.s, para as temperaturas de secagem de 150, 170 e 190 °C, respectivamente.

O pó desidratado na temperatura de 150 °C apresenta maior higroscopicidade em relação ao pó desidratado a 190 °C; como consequência, na amostra produzida na 150 °C

as condições de armazenamento do pó devem ser mais rigorosas que as do pó desidratado a 190 °C.

Na Tabela 4.24 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C para amostra em pó produzida a partir da Formulação nas temperaturas de secagem de 150, 170 e 190 °C.

**Tabela 4.24** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da murta em pó desidratada a 150, 170 e 190 °C, em secador por aspersão, coletada no ciclone

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	150	5,6290	1,0595	0,9888	0,9972	3,50	
	170	5,5795	0,7356	0,9911	0,9981	7,48	
	190	6,3187	0,6491	0,9690	0,9984	2,32	
Oswin	Temperatura (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
Oswin	150	5,8130	0,9400	0,9970	3,27		
	170	4,8895	1,0040	0,9979	7,63		
	190	5,2132	0,9287	0,9972	2,97		
Peleg	Temperatura (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	150	99,8216	12,8728	25,3434	2,1353	0,9984	2,62
	170	108,6004	14,6424	28,1179	2,6423	0,9988	5,36
	190	114,4928	19,6590	35,7147	3,1423	0,9996	1,15

É possível verificar que todos os modelos avaliados se ajustaram bem aos dados experimentais, como o de Peleg, que foi o que melhor se ajustou a esses dados, apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,9983$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P < 5,37\%$ ). Observa-se que os parâmetros  $k_1$ ,  $n_1$ ,  $k_2$  e  $n_2$  aumentaram com o aumento da temperatura. SINIJA & MISHRA (2008) estudando o pó de chá verde liofilizado nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C para a obtenção das curvas de adsorção do pó, ajustaram os dados experimentais a vários modelos matemáticos em que o modelo

de Peleg foi o que melhor descreveu o comportamento do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água, com valores de  $R^2$  acima de 0,99.

Para a formulação do pó da murta coletado no ciclone observa-se que os resultados referentes aos teores de água na monocamada ( $X_m$ ), variaram entre 5,5795 e 6,3187% b.s.; nota-se que os valores referenciados para as temperaturas de secagem de 150 e 170 °C são muito próximos enquanto que para a temperatura de 190 °C se percebe um pequeno aumento no valor. MISHIRA et al. (1996) afirmaram que os valores do teor de água da monocamada determinam o teor de água para uma armazenagem segura na qual a amostra esteja menos sujeita a mudanças na sua qualidade microbiana, enzimática e bioquímica. Diante dessa afirmação verifica-se que os pós coletados no ciclone nas temperaturas de 150 e 170 °C foram os que apresentaram os menores valores do teor de água na monocamada e quanto menor melhor para o armazenamento.

As constantes C e K estão relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada ( $X_m$ ). A constante de sorção C se refere às interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água. O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido (ALEXANDRE et al., 2007).

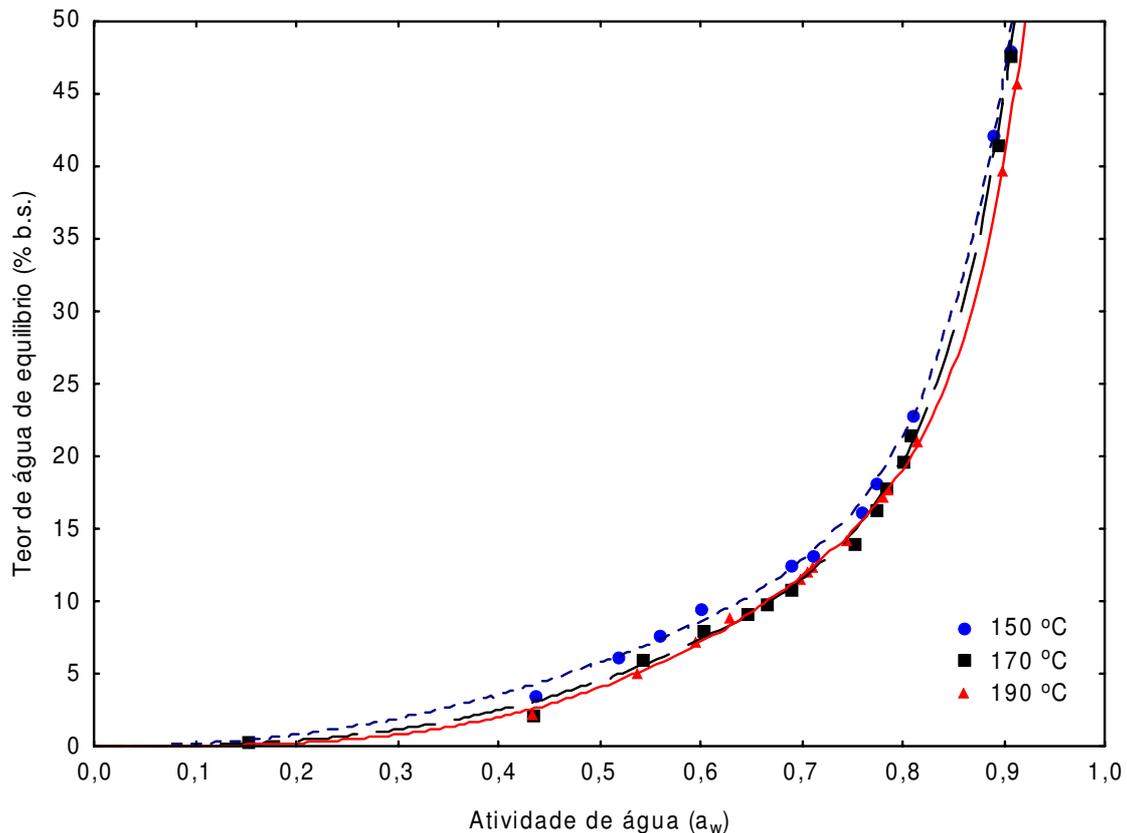
No parâmetro C observa-se que ocorreu redução do parâmetro ao aumentar a temperatura de secagem e o parâmetro K não teve comportamento definido.

Verifica-se, para as amostras desidratadas nas temperaturas de 150 a 190 °C, que os valores de K variaram entre 0,9911 e 0,9690 e os de C foram menores que 2 tendo-se, assim, a confirmação matemática do tipo de isotermas obtidas neste estudo as quais, segundo a classificação de BLAHOVEC (2004), são do tipo III. Comportamento similar foi verificado por BEJAR et al. (2012) para a casca e folhas de laranjas da variedade “Maltaise”, que, estudando as isotermas de adsorção através do método gravimétrico estático nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, relataram curvas de comportamento do tipo III, característica de produtos detentores de baixa atividade de água ( $a_w$ ) e alto teor de água.

Para o modelo de Oswin observa-se que o parâmetro **a** não teve um comportamento padrão e que o coeficiente de determinação apresentou valores maiores do que 0,9969 e  $P < 8$ ; para KNANI et al. (2012) o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) se apresenta com bons valores, em geral, com bons valores quando o número de parâmetros na equação aumenta.

No Apêndice D (Figuras D.1) tem-se as isotermas de adsorção de água a 25 °C da murta em pó desidratada nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C, coletadas no ciclone e ajustadas pelos modelos de GAB e Oswin.

Na Figura 4.12 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água a 25 °C do pó desidratado nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletado no ciclone, com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo dentre os testados; observa-se que as curvas estão muito próximas destacando-se a curva da amostra seca a 150 °C apresentando os maiores teores de água de equilíbrio.



**Figura 4.12** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas a partir da formulação desidratadas sob as temperaturas de 150, 170 e 190 °C e coletadas no ciclone, com ajustes pelo modelo de Peleg

### 4.3 - Secagem em camada de espuma

#### 4.3.1 - Seleção da formulação para secagem

A densidade da espuma e o *over-run* da espuma são parâmetros indispensáveis, para determinar a melhor formulação para ser desidratada pelo método de secagem em camada de espuma e obter o melhor pó, em termos de qualidade.

#### 4.3.1.1 - Densidade da espuma

Na Tabela E.1 (Apêndice E) se encontra a análise de variância dos valores da densidade das espumas em função das diferentes formulações e diferentes tempos de batimento. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação tempo de batimento e formulação e para sua interação sobre os valores da densidade da espuma.

Na Tabela 4.25 se encontram os valores médios de densidade das espumas ( $\text{g/cm}^3$ ) em função das diferentes formulações – Formulação 1 (polpa da murta integral + 1,5% de Emustab<sup>®</sup> + 0,5% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>), Formulação 2 (polpa da murta integral + 1,0% de Emustab<sup>®</sup> + 0,5% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>) e Formulação 3 (polpa da murta integral + 1,0% de Emustab<sup>®</sup> + 1,0% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>), e dos diferentes tempos de batimento. Constata-se que os valores das densidades das espumas das diferentes formulações, diminuíram significativamente com o aumento do tempo (5, 10, 15 e 20 min) de batimento de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. SANKAT & CASTAIGNE (2004) também observaram redução da densidade da espuma com o aumento do tempo de batimento, trabalhando com a formulação da polpa da banana adicionada de proteína de soja isolada.

**Tabela 4.25** – Valores médios das densidades das espumas ( $\text{g/cm}^3$ ) para as diferentes formulações, em função dos diferentes tempos de batimento

Tempo (min)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )		
	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3
5	0,4163 aC	0,4569 aB	0,4738 aA
10	0,3200 bC	0,3433 bB	0,4198 bA
15	0,2405 cC	0,2716 cB	0,3718 cA
20	0,2246 dC	0,2543 dB	0,3779 cA

DMS para colunas = 0,0132; DMS para linhas = 0,0119; MG = 0,347  $\text{g/cm}^3$ ; CV = 1,68%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando o comportamento da incorporação dos aditivos à polpa de murta integral verifica-se, para cada formulação estudada, que o aumento do tempo de batimento

acarretou na redução da densidade da espuma das formulações e que ocorreu aumento da densidade entre as formulações estudadas, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Segundo THUWAPANICHAYANAN et al. (2012) a densidade da espuma é um parâmetro de suma importância visto que desempenha papel fundamental na determinação da cinética de secagem e propriedades texturais do produto.

Constata-se que a faixa da densidade das formulações variou entre 0,4738 e 0,2246 g/cm<sup>3</sup>. Para SOARES et al. (2001) os valores considerados ideais para a secagem em camada de espuma estão entre 0,1 e 0,6 g/cm<sup>3</sup>. THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) observaram que quanto maior a densidade da espuma menor é a eficiência da desidratação. SOARES (2009) afirmou que quanto menor a densidade mais rápida e fácil se torna o processo de secagem em camada de espuma. THUWAPANICHAYANAN et al. (2012) relataram, ao secar em camada de espuma polpa de banana com densidades de 0,3, 0,5 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>, que a menor densidade (0,3 g/cm<sup>3</sup>) secou com maior êxito e rapidez afirmando que a menor densidade da espuma facilita a migração do teor de água do interior para a superfície da amostra.

#### 4.3.1.2 - *Over-run*

Na Tabela E.2 (Apêndice E) é apresentada a análise de variância dos valores do *over-run* em função das diferentes formulações e de diferentes tempos de batimento. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação tempo de batimento, formulação e para sua interação.

Na Tabela 4.26 são apresentados os valores médios do *over-run* (%) em função das diferentes formulações e tempos de batimento, tempo mínimo de 5 minutos e tempo máximo de 20 minutos.

Observa-se que o *over-run* aumentou significativamente com o aumento do tempo de batimento. Os maiores *over-run* foram obtidos para a Formulação 1 e os menores na Formulação 3. Constata-se ainda que a maior expansão ocorreu no tempo de 20 minutos para todas as amostras estudadas. As médias foram significativas a 5% de probabilidade em relação às formulações testadas e ao tempo de batimento.

Como a Formulação 1 foi a amostra que obteve os menores valores da densidade e os maiores do *over-run*, esta deve ser a formulação selecionada para os experimentos de secagem mas para o processo de secagem em camada de espuma tem-se que encontrar o tempo de batimento ideal da espuma. De acordo com THUWAPANICHAYANAN et al.

(2012) o tempo de batimento afeta o teor de compostos voláteis sendo que quanto maior o tempo de batimento maiores as perdas desses compostos.

**Tabela 4.26** – Valores médios do *over-run* (%) das diferentes formulações em função dos diferentes tempos de batimento

Tempo (min)	<i>over-run</i> (%)		
	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3
5	208,67 dA	181,24 dB	171,21 dC
10	301,56 cA	274,30 cB	206,09 cC
15	434,30 bA	373,12 bB	245,61 bC
20	472,12 aA	405,30 aB	240,03 aC

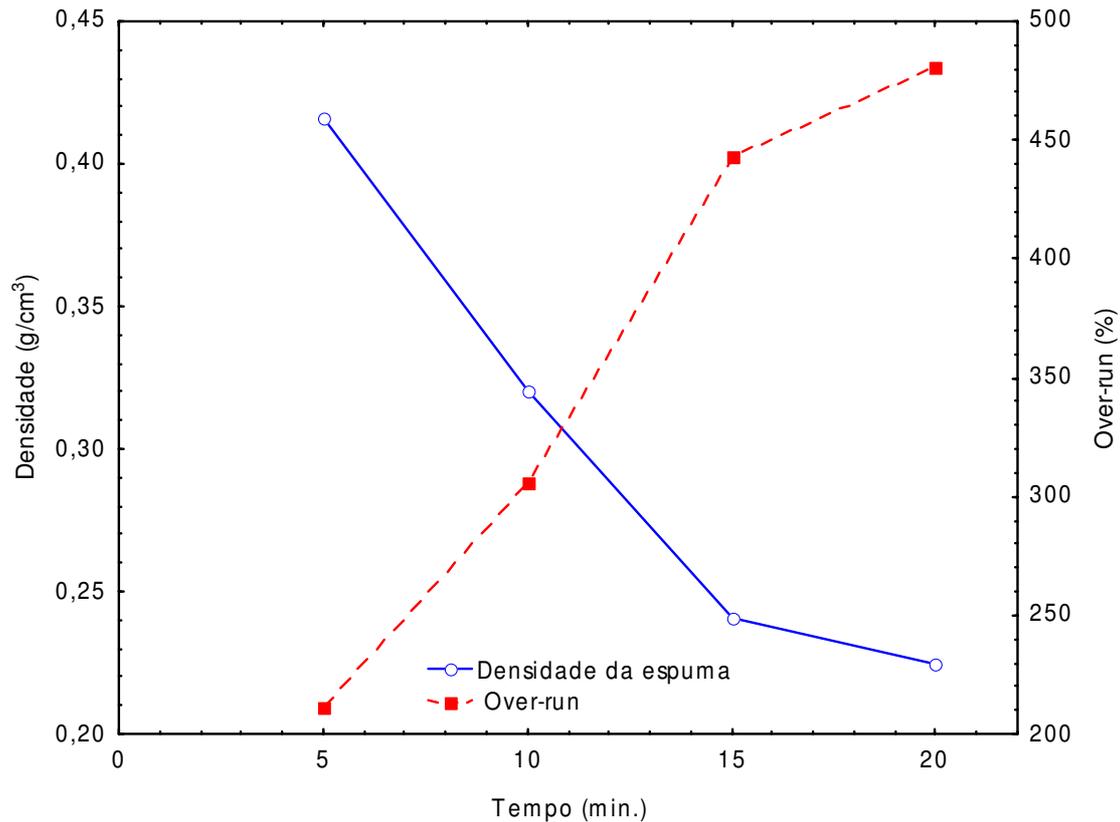
DMS para colunas = 2,27; DMS para linhas = 2,05; MG = 299,28%; CV = 0,34%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A Figura 4.13 representa a Formulação 1 com os valores da densidade da espuma e do *over-run* para os diferentes tempos de batimento. KARIM & WAI (1999) observaram, estudando os parâmetros da espuma, que o cruzamento entre as curvas da densidade e do *over-run* indica o melhor tempo de batimento.

A partir da análise da Formulação 1 da polpa de murta, pode-se considerar 10 minutos como o tempo ideal de batimento da espuma.



**Figura 4.13** – Valores médios da densidade da espuma (g/cm<sup>3</sup>) e do *over-run* (%) em função do tempo de batimento para a Formulação 1

#### 4.3.2 - Caracterização química, física e físico-química da polpa da murta integral e da formulação selecionada

Na Tabela 4.27 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, físico-química e física da polpa da murta integral e da espuma selecionada (Formulação 1) no tempo de batimento de 10 min. Comparando os parâmetros da caracterização obtidos para a polpa da murta e para a Formulação, observa-se que todos os valores foram diferentes estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, exceto a sacarose.

Ao comparar a espuma da Formulação 1 com a polpa integral percebe-se, avaliando a Tabela 4.27, uma redução do pH demonstrando a influência da incorporação dos aditivos sobre o pH, tornando a espuma mais ácida. SOUZA et al. (2011) constataram, ao verificar o efeito do aditivo Emustab<sup>®</sup> adicionado em várias concentrações (2,5, 5, 7,5 e 10%), na formação da espuma da polpa de cupuaçu, redução significativa do pH ao compará-la com a polpa integral com a formulação adicionada de 10% de Emustab<sup>®</sup>. SOARES et al. (2001)

não encontraram diferença no pH ao comparar a polpa de acerola com a formulação usando Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup>.

**Tabela 4.27** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados para a polpa integral e para a Formulação 1

Parâmetro	Polpa integral	Formulação 1
pH	3,33 ± 0,00	3,27 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,3 ± 0,00 b	15,5 ± 0,00 a
Teor de água (% b.u.)	81,25 ± 0,25 a	80,43 ± 0,42 b
Sólidos totais (%)	18,73 ± 0,25 b	19,56 ± 0,42 a
Acidez total titulável (% ác. cítrico)	1,54 ± 0,01 a	1,47 ± 0,00 b
Cinzas (%)	0,85 ± 0,01 a	0,60 ± 0,01 b
Antocianinas (mg/100 g)	44,49 ± 0,04 a	31,15 ± 0,05 b
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,285 ± 0,021 a	0,320 ± 0,012 b
Luminosidade (L*)	14,22 ± 0,02 b	24,30 ± 0,34 a
Intensidade de vermelho (+a*)	2,40 ± 0,09 b	14,41 ± 0,25 a
Intensidade de amarelo (+b*)	0,37 ± 0,12b	3,86 ± 0,52 a
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,983 ± 0,000 a	0,976 ± 0,000 ± b
Açúcares totais (g/L)	130,26 ± 3019,2b	231,34 ± 596,35 a
Sacarose (g/L)	10,58 ± 387,24 a	1,17 ± 382,40 a
Glicose (g/L)	34,86 ± 363,38 b	56,88 ± 714,80 a
Xilose (g/L)	84,80 ± 2268,5 b	165,76 ± 3414,63 a

Obs.: As médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de murta integral apresentaram o valor de 26,01% menor em relação ao valor da Formulação. SOARES (2009) também percebeu que a adição de aditivos (albumina, super Liga Neutra<sup>®</sup> e maltodextrina) na polpa de araçá-boi, promoveu aumento no valor dos sólidos solúveis totais da formulação quando comparados com o valor da polpa e afirmou que o aumento dos sólidos solúveis se torna importante pois pode promover alterações sensoriais e nutricionais no produto final.

Constata-se que o valor médio do teor de água da Formulação 1 e da polpa da murta foi próximo, com uma diferença de 1% apresentado-se estatisticamente diferente. Valor próximo da Formulação 1 foi relatado por MASSOLI et al. (2013) ao caracterizarem a

formulação do jambolão (*Syzygium cumini*) adicionado de 5% de albumina e 0,5% de goma xantana (80,63%).

Como consequência da adição de sólidos ocorreu redução do teor de água apresentando a polpa de murta formulada um valor de sólidos totais 4,43% superior ao obtido para a polpa integral.

A acidez total titulável da polpa de murta integral foi 4,76% maior que o valor encontrado para a Formulação 1. SILVA et al. (2008b) constataram, ao caracterizar a espuma da polpa de tamarindo formulada com 5% do composto proteico à base de albumina utilizada como dispersante e promotor de espuma, que o aditivo diminuiu o valor da acidez total titulável em cerca de 11%; este comportamento pode estar relacionado à alcalinidade do agente (pH=9,8). Para SILVA FILHO (2012) a redução da acidez total titulável para a espuma é consequência da ausência de ácido cítrico nos aditivos incorporados.

Observa-se que o teor de cinzas e densidade da Formulação 1 elaborada foi inferior à da polpa integral. Resultado semelhante foi verificado por MEDEIROS (2007) ao comparar a polpa integral da mangaba com a espuma composta de polpa de mangaba, emulsificante e espessante o qual relatou redução da acidez e densidade. Conforme BARRETO (2011) durante a batadura de um líquido com agentes espumantes o ar é transferido para esse líquido formando, assim, bolhas de ar que, conseqüentemente, diminuem a densidade das espumas formadas. THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) encontraram valor de 0,3 g/cm<sup>3</sup> para a densidade da espuma de purê de banana formada com albumina na concentração de 10%. SOUZA et al. (2011) verificaram que o valor da densidade das espumas obtidas foi significativamente menor que o da polpa de cupuaçu.

Observa-se que as antocianinas sofreram redução com a formação da espuma, o que se deve à incorporação dos aditivos e à exposição à luz durante o batimento, entre outros fatores.

O comportamento da luminosidade (L\*), da intensidade de vermelho (+a\*) e da intensidade de amarelo (+b\*) aumentou com a incorporação dos aditivos. A polpa de murta integral apresentou o valor de luminosidade 41,48% inferior ao obtido para a Formulação 1. SILVA et al. (2008b) constataram que a formulação tende a ser mais clara; tal comportamento se deve à adição do agente à polpa de tamarindo. Para BARRETO (2011), na obtenção da espuma, a diminuição da densidade da polpa aumentando o seu volume porém neste processo ocorre o aprisionamento do ar em micelas líquidas; tal expansão pode ser uma causa para o aumento do valor de L\* nas espumas em relação à polpa.

Tem-se que o valor médio da atividade de água reduziu significativamente com a formação da espuma, o que pode ser atribuído aos sólidos acrescidos na formulação, embora PINTO (2009) afirme que, em razão do Emustab<sup>®</sup> ter um teor de sólidos solúveis baixo (1,5 °Brix) é baixa sua capacidade de diminuição da atividade de água.

Os açúcares totais, a glicose e a xilose aumentaram com a formação da espuma apresentando a polpa integral valores inferiores aos obtidos para a Formulação 1. SOARES (2009) verificou ligeiros aumentos nos açúcares redutores e nos açúcares totais com o uso da maltodextrina, para obtenção da espuma do araçá-boi em relação à polpa.

Em análise aos resultados obtidos para a sacarose, observa-se que a adição do agente emulsificante Emustab<sup>®</sup> e da Super Liga Neutra<sup>®</sup> não ocasionou maiores alterações do ponto de vista estatístico, no conteúdo deste açúcar na Formulação 1.

#### 4.3.2.1 - Degradação da cor da Formulação 1

Na Tabela 4.28 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da degradação da cor da espuma da Formulação 1, através dos parâmetros  $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ , e diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) verificada a cada cinco minutos, durante 60 minutos.

Os valores dos parâmetros  $L^*$  e  $+a^*$  apresentaram tendência de diminuição com o aumento do tempo de exposição da espuma às condições ambientais. Alterações na luminosidade ( $L^*$ ) foram registradas após dez minutos de formada a espuma tornando-se mais escura (diminuição de  $L^*$ ), porém entre os tempos de leitura de 10 e 25, 15 e 30, 25 e 35, 35 e 60 min, a luminosidade é estatisticamente igual, verificando-se que a partir de 35 minutos até os 60 minutos a espuma, embora não apresente alteração estatisticamente significativa, mantém tendência declinante. Para SOUSA et al. (2003) o decréscimo da luminosidade indica escurecimento que, possivelmente, está relacionado com o escurecimento não-enzimático que ocorre sempre na presença de açúcares. Geralmente, alimentos que contêm antocianinas durante o processamento são susceptíveis a mudanças na cor, resultantes de efeitos combinados da degradação da antocianina e da formação de pigmentos escuros (SKREDE et al., 1992).

Percebe-se uma redução gradativa do parâmetro  $+a^*$ , intensidade de vermelho, com o tempo mantendo-se, assim, como o parâmetro  $L^*$ , estatisticamente estável por 10 minutos mas com tendência de redução, que se mantém do início ao fim do tempo de observação.

**Tabela 4.28** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros luminosidade (L\*), intensidade de vermelho (+a\*), e intensidade de amarelo (+b\*) e diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da espuma da Formulação 1, em função do tempo de exposição as condições ambientais

Tempo (min)	Parâmetros			
	L	+a*	+b*	$\Delta E^*$
0	24,30 ± 0,34 a	14,41 ± 0,25 a	3,86 ± 0,35a	-
5	24,28 ± 0,37 a	14,21 ± 1,77 ab	3,83 ± 5,83 a	0,31 ± 0,11 h
10	24,03 ± 0,04 ab	14,06 ± 0,03 abc	3,99 ± 0,09 a	0,69 ± 0,09 gh
15	23,65 ± 0,11 bc	13,97 ± 0,08 bcd	4,03 ± 0,38 a	1,11 ± 0,24 fg
20	23,61 ± 0,17 bc	13,77 ± 0,15 cde	3,79 ± 0,21 a	1,08 ± 0,23 fg
25	23,60 ± 0,12 bcd	13,64 ± 0,25 cde	3,77 ± 0,30 a	1,30 ± 0,04 ef
30	23,18 ± 0,07 cde	13,59 ± 0,01 de	3,66 ± 0,06 a	1,46 ± 0,20 def
35	23,10 ± 0,04 de	13,47 ± 0,07 ef	3,66 ± 0,09 a	1,65 ± 0,27 cde
40	22,93 ± 0,05 e	13,37 ± 0,02 ef	3,51 ± 0,12 a	1,80 ± 0,20 bcde
45	22,89 ± 0,06 e	13,13 ± 0,10 fg	3,68 ± 0,11 a	1,98 ± 0,15 abcd
50	22,82 ± 0,03 e	12,94 ± 0,05 gh	3,68 ± 0,10 a	2,16 ± 0,16 abc
55	22,77 ± 0,14 e	12,84 ± 0,11 gh	3,68 ± 0,10 a	2,27 ± 0,14 ab
60	22,76 ± 0,03 e	12,66 ± 0,05 h	3,68 ± 0,06 a	2,39 ± 0,15 a

Obs. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si; de acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Em relação ao parâmetro de cor +b\* (intensidade de amarelo) não houve alteração com o tempo de exposição às condições ambientais.

Verifica-se que a diferença total de cor apresentou redução gradativa com o tempo de exposição da espuma, com diferenças significativas entre médias.

FISCHER et al. (2013) afirmam que a cor é uma das propriedades mais importantes dos alimentos; é portanto, um parâmetro de qualidade que deve ser controlado enquanto a minimização de perdas de pigmentos durante o processamento e o armazenamento garante manutenção da qualidade e do valor comercial.

No tempo zero o valor encontrado para a diferença total de cor foi de 16,06, superior ao relato por BARRETO (2011) ao caracterizar a espuma obtida a partir da formulação de polpa integral de pitanga roxa adicionada de Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup> na concentração de 4%.

#### 4.3.2.2 – Comportamento reológico da formulação

Da análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta e da Formulação 1, constatou-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação velocidade de rotação e tratamentos (polpa integral e formulada) e para sua interação.

Na Tabela 4.29 são apresentados os valores médios das viscosidades aparentes da polpa integral da murta e da Formulação 1 avaliada na temperatura de 15 °C, nas diferentes velocidades de rotação.

**Tabela 4.29** – Viscosidades aparentes (mPa s) a 15 °C da polpa de murta integral e da Formulação 1, em diferentes velocidade de rotação

<b>Velocidade de rotação (rpm)</b>	<b>Taxa de deformação s<sup>-1</sup></b>	<b>Polpa integral</b>	<b>Formulação</b>
20	5,6	5.475,00 aB	11.675,00 aA
30	8,4	3.572,33 bB	8.355,33 bA
40	11,2	2.731,66 cB	6.788,00 bcA
50	14,0	2.143,33 cdB	5.730,00 bcdA
60	16,8	1.758,66 deB	5.939,33 bcdA
70	19,6	1.520,33 defB	5.284,33 cdeA
80	22,4	1.312,33 efB	4.754,33 cdeA
90	25,2	1.184,66 efB	4.365,00 cdeA
100	28,0	1.056,66 fB	3.971,66 deA
120	33,6	934,33 fB	3.558,00 deA
140	39,2	875,83 fB	3.279,66 deA

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nota-se, nas velocidades de rotação de 20-140 rpm, que os valores das viscosidades apresentaram tendência de diminuição com o aumento da rotação; comportamento semelhante foi observado por PAGLARINI et al. (2012) ao analisar o comportamento da viscosidade aparente da polpa de bacupari nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C e nas velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 rpm, a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação.

Com a incorporação de aditivos, conclui-se que os valores das viscosidades aparentes da Formulação 1 aumentaram em relação à polpa integral. Constata-se, ainda, que na temperatura em que se encontravam as amostras (15 °C), as viscosidades aparentes decrescem gradativamente e de forma estatisticamente significativa, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, em intervalos entre 10 e 40 rpm. FERNANDES et al. (2009) observaram, estudando o comportamento reológico da polpa de maracujá adicionada de sacarose (0, 10 e 20%) e pectina (0, 0,5 e 1,0%), aumento da viscosidade aparente com o aumento da concentração de pectina.

Tem-se, na Tabela 4.30, os parâmetros reológicos dos modelos de Sisko, Lei da Potência e Falguera-Ibarz ajustados aos dados experimentais das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa integral da murta e da espuma da Formulação 1, a 15 °C, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se que, dentre os modelos testados, todos apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,96 e desvios percentuais médios inferiores a 10%.

**Tabela 4.30** – Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a polpa integral da murta e para a espuma da Formulação 1, referente à temperatura de 15 °C

Modelos	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
	$\eta_{\square}$	$K_s$	$n_s$			
<b>Sisko</b>	Polpa integral	175,2760	34.663,1	-0,0894	0,9993	1,91
	Formulação	1.048,17	43.095,3	0,1994	0,9767	6,41
<b>Lei da potência</b>		$K$		$N$	$R^2$	P (%)
	Polpa integral	31.073,32		-0,0106	0,9989	2,57
	Formulação	37.502,90		0,3273	0,9755	7,00
<b>Falguera-Ibarz</b>		$\eta_{\square}$	$\eta_0$	$K$	$R^2$	P (%)
	Polpa integral	175,2755	34.838,3	1,0894	0,9993	1,91
	Formulação	1.048,17	44.143,4	0,8005	0,9767	6,41

Os resultados indicam bons ajustes dos três modelos, passíveis de ser utilizados na predição do comportamento reológico da polpa integral da murta e da Formulação 1. Os modelos de Sisko e Falguera-Ibarz apresentaram os melhores ajustes por apresentar em os

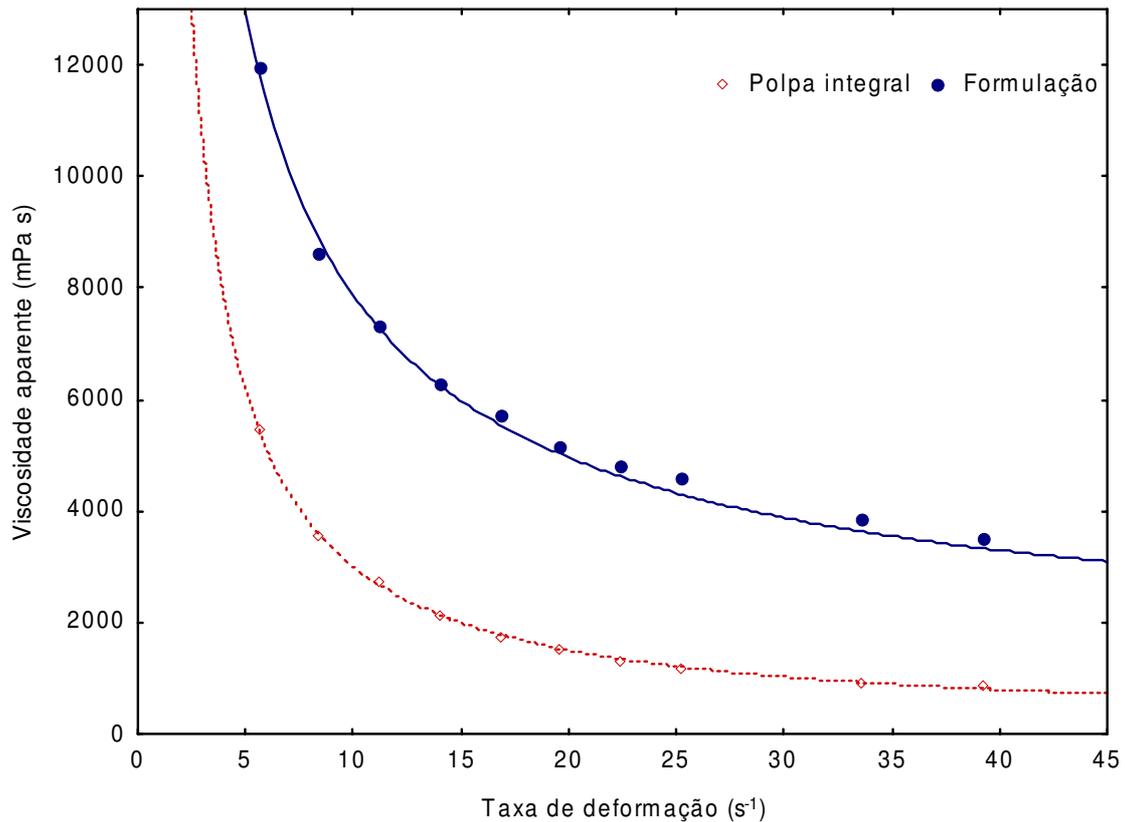
maiores  $R^2$  e os menores desvios percentuais médios. KECHINSKI et al. (2011) verificaram, ao avaliar o comportamento reológico da polpa de mirtilo formulada com a adição de goma xantana (1,6; 2,0; 2,5; 3,0; e 3,3%) e de frutose (6,6, 10,0, 15,0, 20,0 e 23,4%), que o modelo de Sisko apresentou o melhor ajuste com os maiores  $R^2$  e  $X^2$ , observando comportamento pseudoplástico.

Nos parâmetros do modelo de Sisko observa-se que os parâmetros  $\eta_{\infty}$ ,  $K_s$  e  $n_s$  aumentaram ao se adicionar os aditivos à polpa.

O modelo da Lei da potência apresentou coeficiente de determinação superior a 0,97 e o desvio percentual médio abaixo de 8% enquanto os parâmetros  $K$  e  $n$  aumentaram. CUNHA et al. (2008) constataram, ao verificar o comportamento reológico de amostras de bebida láctea (70% leite e 30% de soro de queijo) e leite fermentado (100% leite) que após ajustarem o modelo da Lei da potência obtiveram para a bebida láctea coeficiente de determinação superior a 0,94 e para o leite fermentado  $R^2 > 0,97$ ; verificaram, também, ao comparar as duas amostras, que o índice de consistência aumentou nas temperaturas estudadas; comportamento contrário foi observado para a polpa da murta e para a Formulação 1.

Os parâmetros do modelo de Falguera-Ibarz  $\eta_{\infty}$  e  $\eta_0$  aumentaram com a adição dos aditivos à polpa de murta e o  $K$  reduziu.

A Figura 4.14 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação na temperatura de 15 °C, para a polpa integral da murta e para a Formulação 1. Observa-se que a Formulação 1 apresentou, em todas as taxas de deformação, viscosidades aparentes maiores do que a polpa integral; a polpa integral e a Formulação 1 apresentaram características de fluidos pseudoplástico em que a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação.



**Figura 4.14** – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e da Formulação 1, com ajustes pelo modelo de Falguera-Ibarz

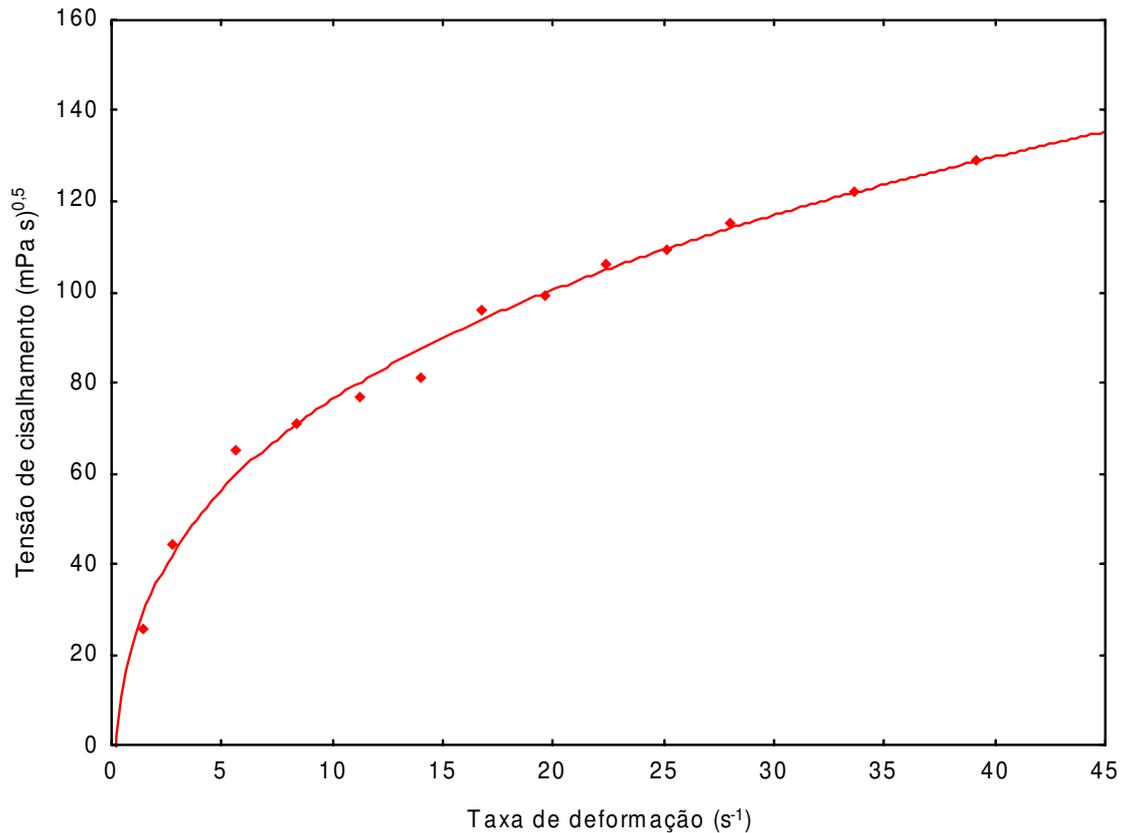
Na Tabela 4.31 estão os parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson para a Formulação 1, na temperatura de 15 °C, tal como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se que todos os modelos testados apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,93 e desvios percentuais médios inferiores a 10%; entretanto, o modelo de Herschel-Bulkley apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). VRIESMANN et al. (2009) constataram, estudando o comportamento reológico da fração de amido a partir da polpa do cupuaçu, que o modelo de Herschel-Bulkley ( $R^2 \geq 0,98$ ) foi o mais adequado para descrever o comportamento reológico da amostra. VERNON-CARTER et al. (2001) concluíram, ao aplicar diversos aditivos na polpa de tamarindo e água destilada, que o modelo de Herschel-Bulkley resultou no melhor ajuste com  $R^2$  de 0,99 para todos os tratamentos.

**Tabela 4.31** – Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) para a formulação (espuma) na temperatura de 15 °C

<b>Modelo</b>	<b>Parâmetro</b>			<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>Ostwald-de-Waele ou Lei da Potência</b>	<b>K</b>	<b>n</b>		0,9871	4,48
	28,8294	0,4133			
<b>Herschel-Bulkley</b>	<b><math>\tau_{OH}</math></b>	<b><math>k_H</math></b>	<b><math>n_H</math></b>	0,9908	3,15
	-37,2881	59,8274	0,2784		
<b>Mizrahi-Berk</b>	<b><math>k_{OM}</math></b>	<b><math>k_M</math></b>	<b><math>n_M</math></b>	0,9896	1,63
	-44,6038	49,3127	0,0342		
<b>Casson</b>	<b><math>k_{OC}</math></b>	<b><math>k_C</math></b>		0,9450	3,82
	4,7852	1,1306			

Os parâmetros  $n$ ,  $n_H$  e  $n_M$  dos modelos de Ostwald-de-Waele ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, da Formulação 1 elaborada a partir da polpa de murta adicionada de Emustab<sup>®</sup> e Super Liga Neutra<sup>®</sup>, apresentaram valores menores que a unidade; comportamento semelhante foi observado por FARAONI et al. (2013) estudando o comportamento reológico dos sucos mistos de manga, goiaba e acerola, adicionados de fitoquímicos (epigallocatequina galato e luteína); ao se ajustar os modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley verificou-se que os valores de  $n$  e  $n_H$  (índices de comportamento do fluido) foram menores que a unidade indicando comportamento pseudoplástico do fluido; note-se que quanto mais afastados da unidade maior a pseudoplasticidade do produto.

A Figura 4.16 mostra a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação na temperatura de 15 °C para a Formulação 1.



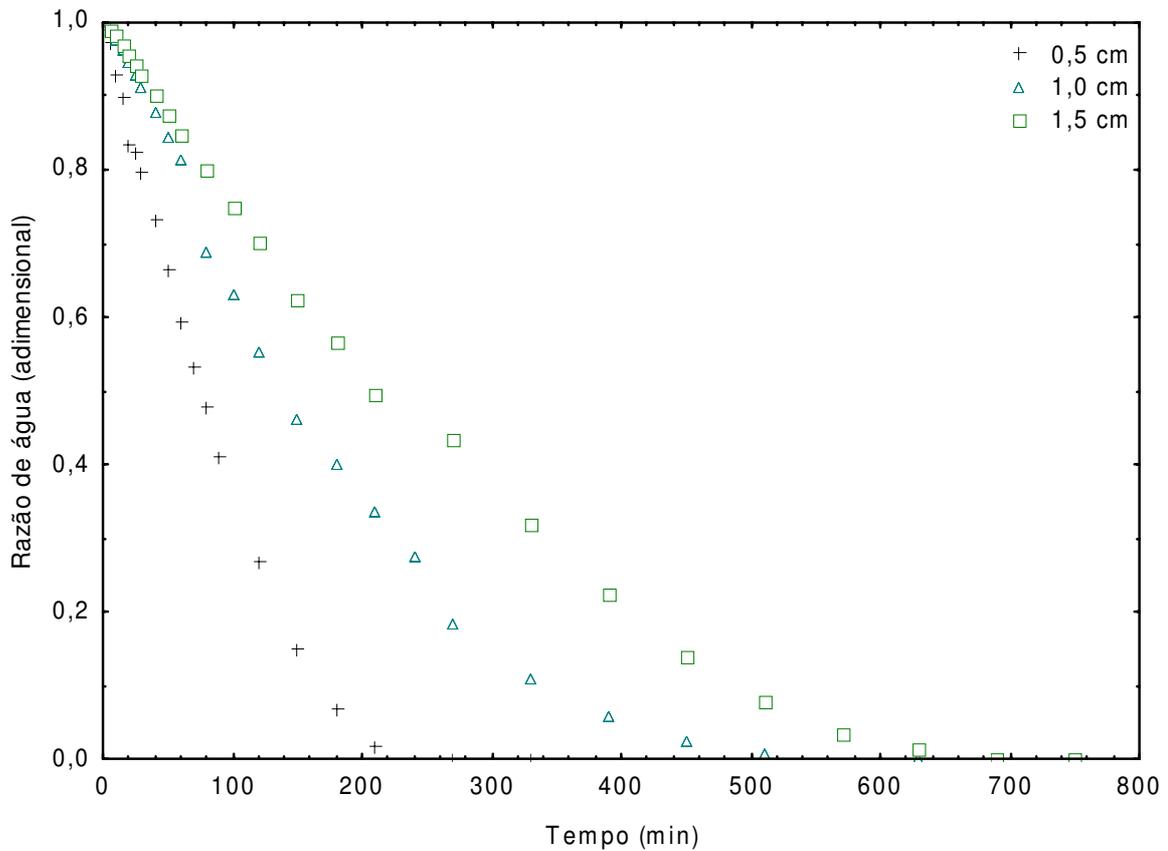
**Figura 4.15** – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação 1 (espuma) com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

### 4.3.3 - Secagem em camada de espuma

#### 4.3.3.1 - Influência da espessura da camada e temperatura de secagem

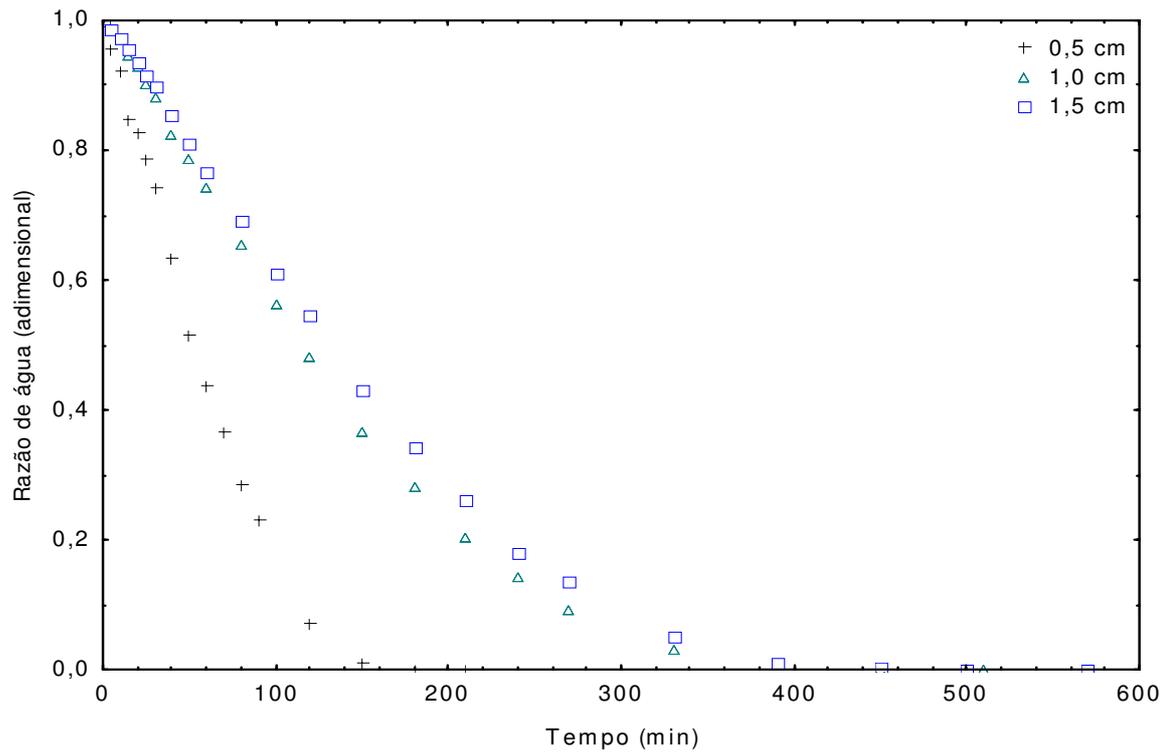
Nas Figuras 4.16 a 4.20 estão apresentadas as cinéticas de secagem da formulação selecionada (Formulação 1 – polpa integral da murta, 1,5% de Emustab<sup>®</sup> e 0,5% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>), para o tempo de batimento de 10 min com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C. Os dados apresentados nos gráficos estão na forma do adimensional de razão de água, em função do tempo de secagem. O processo de secagem foi, em todas as amostras, mais rápido para as espessuras menores. Observa-se que todas as curvas foram influenciadas pela espessura da camada de espuma. RAHARITSIFA & RATTI (2010) verificaram, aplicando a liofilização na espuma do suco de maçã preparada com 3% de albumina de ovo em diferentes espessuras (1, 4 e 6 cm), que a espessura tem impacto significativo na secagem das espumas, isto é, quanto menor a espessura menor também o tempo de secagem; as

amostras com espessuras de 1, 4 e 6 cm permaneceram no liofilizador por 1, 5 e 8 horas, respectivamente.

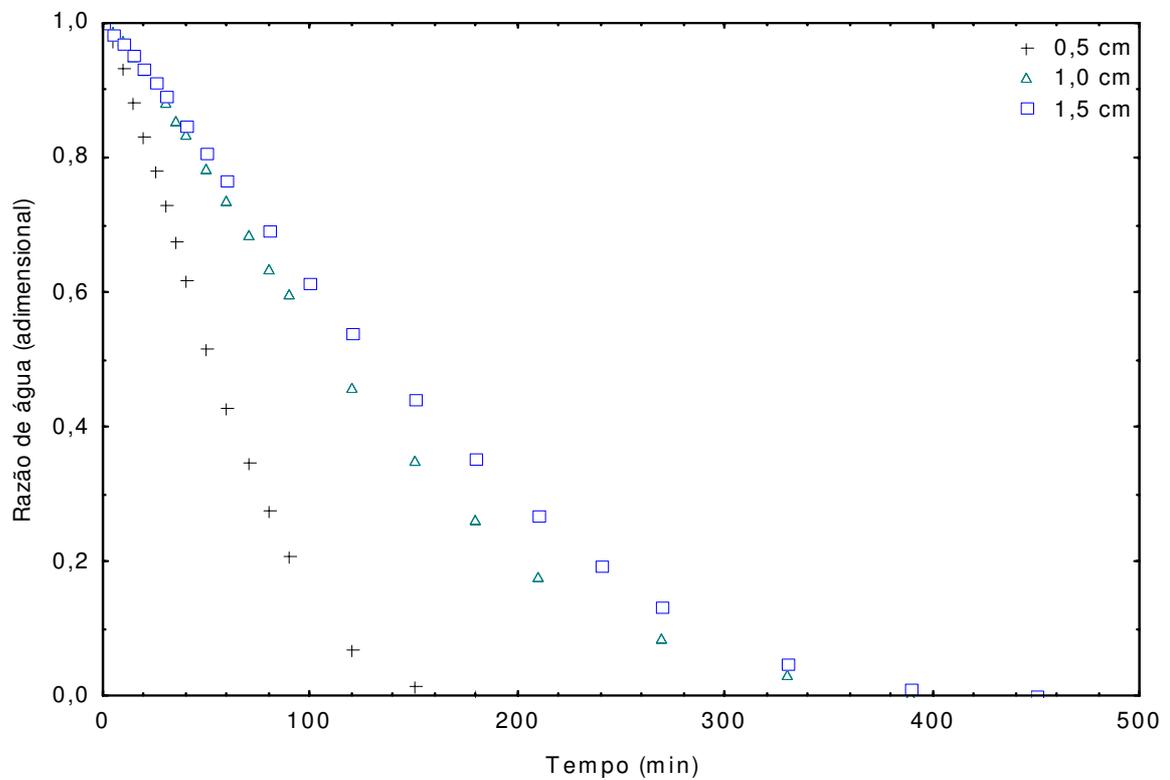


**Figura 4.16** – Cinética de secagem da Formulação 1, na temperatura de 50 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma

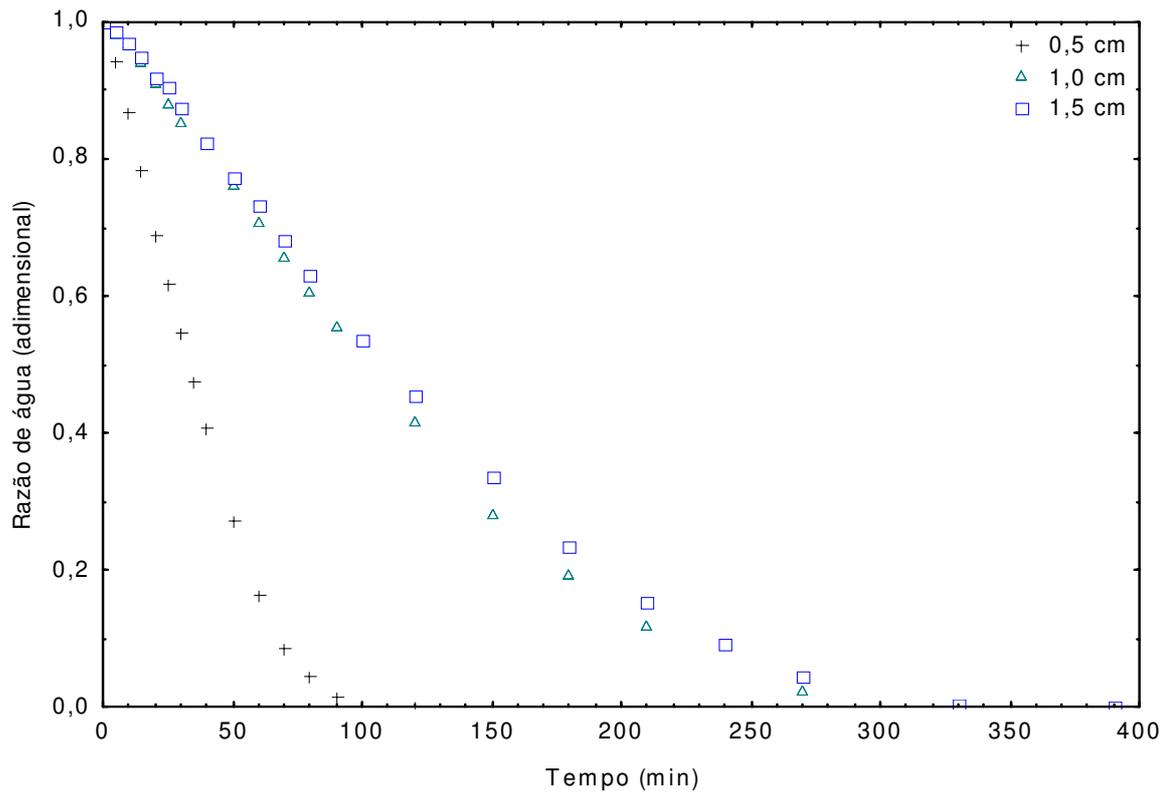
O tempo de secagem para a temperatura de 50 °C nas espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, foi de 5 h e 30 min, 10 h e 30 min e 12 h e 30 min, respectivamente; para a temperatura de 60 °C nas espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, foi de 3 h e 30 min, 8 h e 30 min e 9 h e 30 min, respectivamente; para a temperatura de 70 °C nas espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, foi de 3 h, 6 h e 30 min e 7 h e 30 min, respectivamente; para a temperatura de 80 °C nas espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, foi de 2 h, 5 h e 30 min e 6 h e 30 min, respectivamente; para a temperatura de 90 °C nas espessuras de camada de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, foi de 1 h e 30 min, 4 h e 30 min e 5 h e 30 min, respectivamente, mostrando a influência que a espessura tem no tempo de secagem.



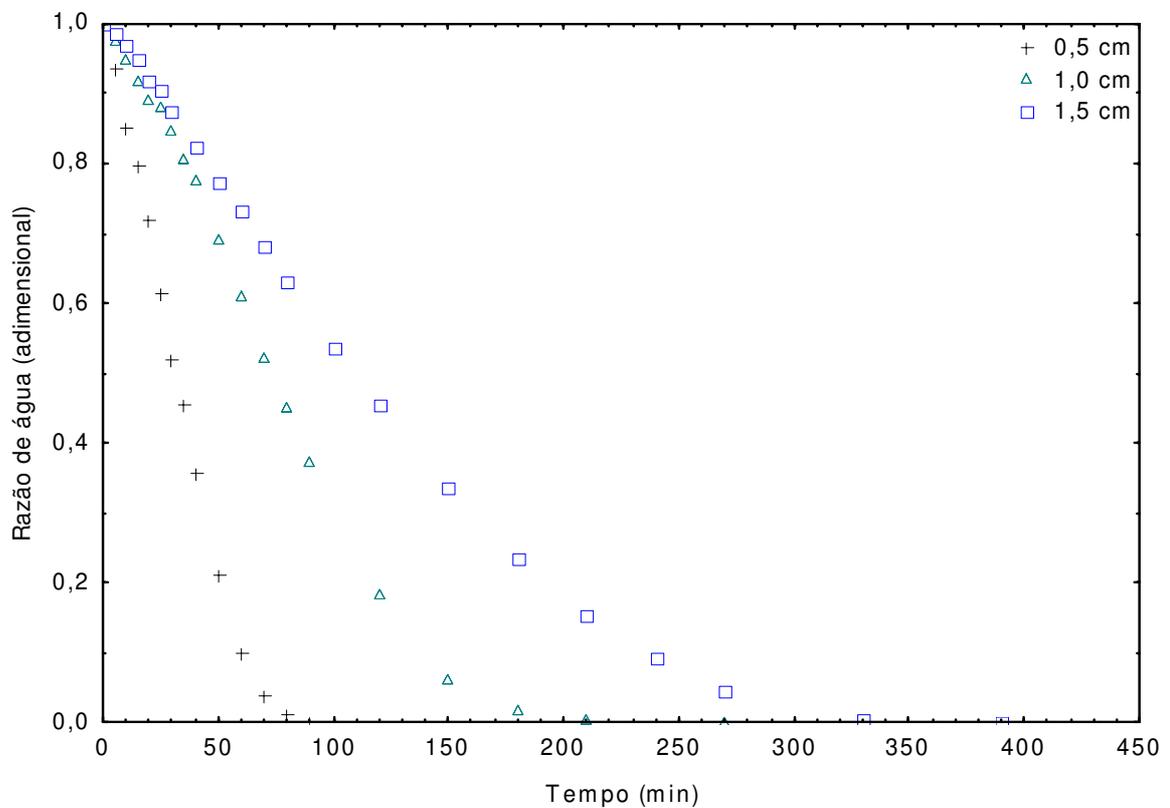
**Figura 4.17** - Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 60 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma



**Figura 4.18** – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 70 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma



**Figura 4.19** – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 80 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma



**Figura 4.20** – Cinética de secagem da Formulação 1 na temperatura de 90 °C e em diferentes espessuras da camada de espuma

As curvas também são influenciadas pela temperatura com redução gradativa nos tempos com efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem, para todas as espessuras. A influência do aumento da temperatura sobre o tempo de secagem é esperada e relatada em outros estudos, como em RONCHETI et al. (2013a; 2013b) ao estudarem a secagem em camada de espuma da cenoura e morango nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Constata-se, para todas as temperaturas e espessuras, que as curvas de secagem demonstram maior perda de água no início do processo de secagem. RAJKUMAR et al. (2007) também notaram que a espuma de polpa de manga exibiu velocidade de secagem mais elevada no início da secagem do que no fim justificando que a taxa de migração de água a partir da superfície interior para a exterior diminui na fase final de secagem e, conseqüentemente, se registram taxas de secagem mais baixas. URIBE et al. (2011) que estudaram a cinética de secagem do pepino, observaram que para as temperaturas estudadas a razão de água reduziu rapidamente no início do processo e mais lentamente à medida em que se aumentava o tempo de secagem.

#### **4.3.3.2 – Modelos matemáticos**

Na Tabela 4.32 se exibem os parâmetros dos modelos matemáticos de Page, Exponencial simples e Midili, ajustados aos dados de secagem da formulação com polpa de murta (Formulação 1) desidratada nas temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Verifica-se que todos os modelos matemáticos proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais em razão de terem apresentado coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,97 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,04. Destaca-se o modelo de Midili, que apresentou coeficiente de determinação  $> 0,98$  e desvios quadráticos médios, inferiores a 0,015. FURTADO et al. (2010) verificaram, ao secar a polpa de seriguela em camada de espuma e utilizando estufa de circulação de ar forçada e variando as temperaturas (60, 70 e 80 °C), que os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados coeficientes de determinação e baixo erro médio estimado porém o modelo de Midili & Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados observados nas diferentes temperaturas de secagem, visto que apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o menor erro médio estimado (SE).

**Tabela 4.32** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

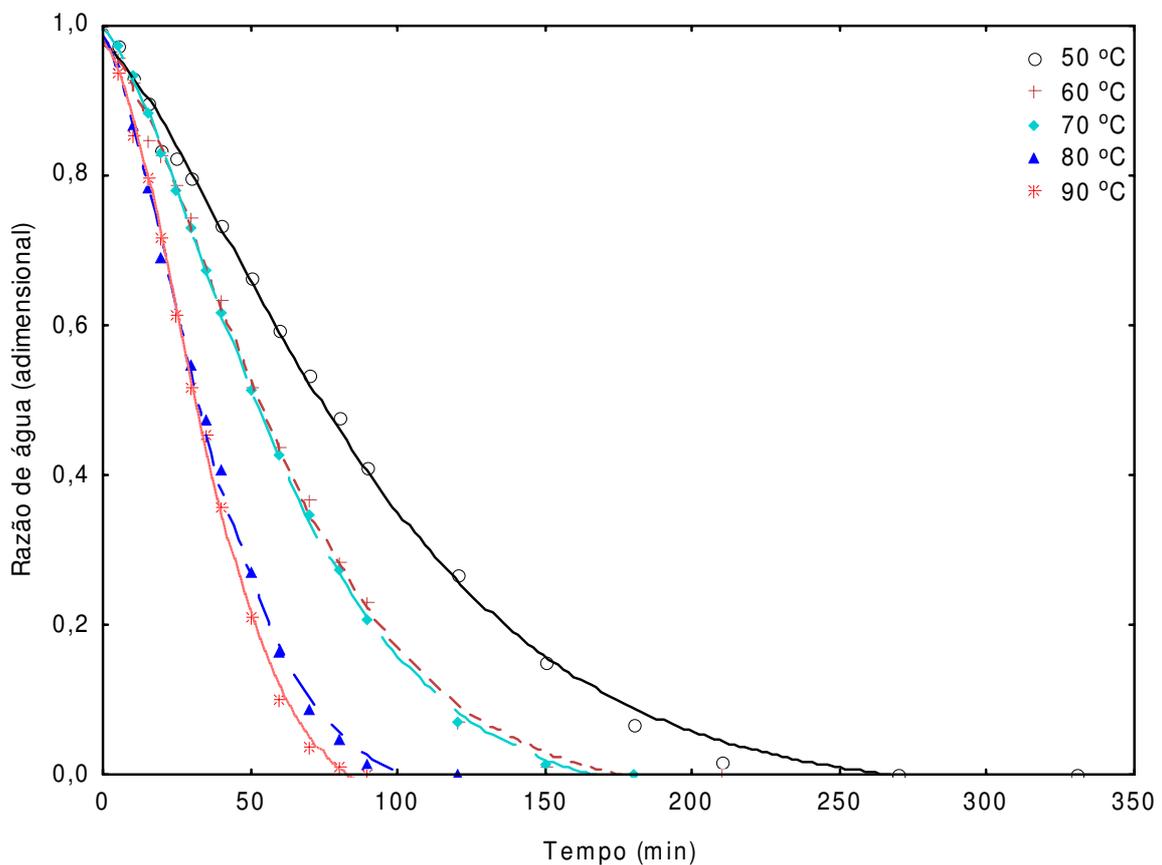
Modelos	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	DQM	
		K	N				
<b>Page</b>	50	0,0023	1,3260		0,9964	0,0312	
	60	0,0024	1,4276		0,9971	0,0185	
	70	0,0021	1,4639		0,9991	0,0098	
	80	0,0039	1,4910		0,9975	0,0168	
	90	0,0023	1,6641		0,9961	0,0215	
<b>Exponencial simples</b>	Temp. (°C)	a	k	C	$R^2$	DQM	
	50	1,1686	0,0085	-0,1323	0,9921	0,0001	
	60	1,2137	0,0117	-0,1616	0,9899	0,0351	
	70	1,2902	0,0110	-0,2287	0,9917	0,0303	
	80	1,2742	0,0183	-0,2151	0,9888	0,0358	
	90	1,5233	0,0147	-0,4701	0,9872	0,0390	
<b>Midili</b>	Temp. (°C)	a	k	n	B	$R^2$	DQM
	50	0,9750	0,0017	1,3777	-0,0000	0,9978	0,0127
	60	0,9794	0,0020	1,4596	-0,0001	0,9983	0,0143
	70	0,9957	0,0023	1,4387	-0,0001	0,9996	0,0058
	80	0,9854	0,0037	1,4891	-0,0002	0,9985	0,0131
	90	0,9766	0,0021	1,6610	-0,0004	0,9982	0,0145

O parâmetro  $k$ , do modelo de Midili, que representa a constante da taxa de secagem, aumentou com o aumento da temperatura até 80 °C reduzindo-se na temperatura de 90 °C. Para GONELI et al. (2009) o parâmetro  $k$  representa o efeito das condições externas de secagem, o qual tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem. GONÇALVES et al. (2013) secaram banana nas temperaturas de 55 e 65 °C e verificaram que a constante de secagem  $k$  aumentou com o aumento da temperatura de secagem afirmando que quanto maior o valor deste parâmetro mais rápido é o processo de

secagem. FREITAS et al. (2007) verificaram aumento do parâmetro  $k$  ao secar manga em fatias, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

O parâmetro  $n$ , do modelo de Midili, aumentou com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi verificado por MADUREIRA et al. (2011) ao ajustarem os dados de secagem da formulação elaborada de polpa do figo-da-índia adicionada de 25% de amido modificado, em que os valores de  $n$  aumentaram com o aumento da temperatura.

Na Figura 4.21 se encontram as cinéticas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm nas diferentes temperaturas avaliadas com ajustes pelo modelo de Midili, o melhor modelo dentre os testados. Observa-se a proximidade das curvas ajustadas aos dados experimentais e se nota que as curvas nas temperaturas de 50 e 60 °C e de 80 e 90 °C foram muito próximas.



**Figura 4.21** – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 0,5 cm em diferentes temperaturas de secagem, com ajuste pelo modelo de Midili

Na Tabela 4.33, estão os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Exponencial simples e Midili, ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com espessura da

camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, os coeficientes de determinação e os desvios quadráticos médios.

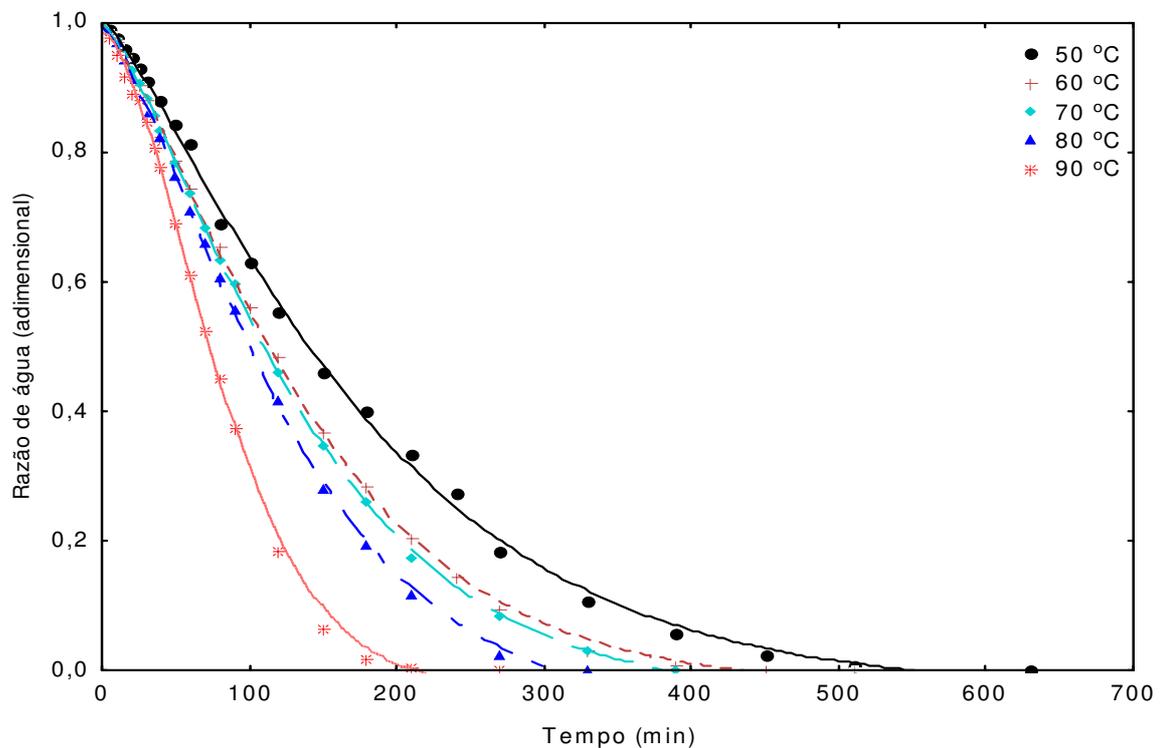
**Tabela 4.33** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	DQM	
		k	N				
<b>Page</b>	50	0,0011	1,2987		0,9984	0,0141	
	60	0,0012	1,3321		0,9992	0,0102	
	70	0,0011	1,3601		0,9995	0,0072	
	80	0,0010	1,4115		0,9982	0,0140	
	90	0,0006	1,6261		0,9975	0,0174	
<b>Exponencial simples</b>	Temp. (°C)	a	k	C	$R^2$	DQM	
	50	1,1576	0,0045	-0,1120	0,9954	0,0246	
	60	1,1587	0,0057	-0,1109	0,9947	0,0270	
	70	1,2509	0,0051	-0,2041	0,9953	0,0227	
	80	1,3377	0,0051	-0,2958	0,993	0,0265	
	90	1,3314	0,0078	-0,2555	0,9792	0,051	
<b>Midili</b>	Temp. (°C)	a	k	n	B	$R^2$	DQM
	50	1,0059	0,0013	1,2531	-0,0000	0,9987	0,0131
	60	0,9954	0,0012	1,3233	-0,0000	0,9996	0,0074
	70	0,9993	0,0013	1,3229	-0,0000	0,9998	0,0035
	80	0,9930	0,0011	1,3821	-0,0001	0,9993	0,0087
90	0,9882	0,0005	1,6392	-0,0000	0,9984	0,0142	

Verifica-se ainda, na Tabela 4.33, que todos os ajustes apresentaram  $R^2 > 0,98$ , e desvios quadráticos médios inferiores a 0,03 podendo-se utilizá-los na predição das curvas de secagem. O modelo que melhor se ajustou foi o de Midili, com os maiores  $R^2$  e menores DQM em todas as temperaturas. SILVA et al. (2008b) verificaram, ao secar a polpa de

tamarindo (*Tamarindus indica* L.) em camada de espuma nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, que o modelo de Midili e Kucuk, apresentou o maior valor para  $R^2$  e menor DQM, em todas as temperaturas. PEREZ et al. (2013) observaram que o modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais de secagem para os tratamentos estudados apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 99% e erros percentuais médios inferiores a 8,5%, podendo ser usados na predição da cinética de secagem da polpa de cupuaçu.

Na Figura 4.22 se apresentam as cinéticas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C. Observa-se influência da temperatura com redução gradativa nos tempos de secagem sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas. As curvas de secagem estão representadas pelo modelo de Midili, que resultou nos melhores ajustes. LIMA et al. (2007) em estudo da secagem em camada fina de três amostras de facheiro nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, observaram que dentre os modelos aplicados o de Midili apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM para as temperaturas estudadas. Na Figura 4.22 observa-se que as curvas de secagem nas temperaturas de 60 e 70 °C foram muito próximas.



**Figura 4.22** – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 1,0 cm em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo modelo de Midili

Na Tabela 4.34 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Exponencial simples e Midili, ajustados aos dados de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, os coeficientes de determinação e os desvios quadráticos médios.

**Tabela 4.34** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados à secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

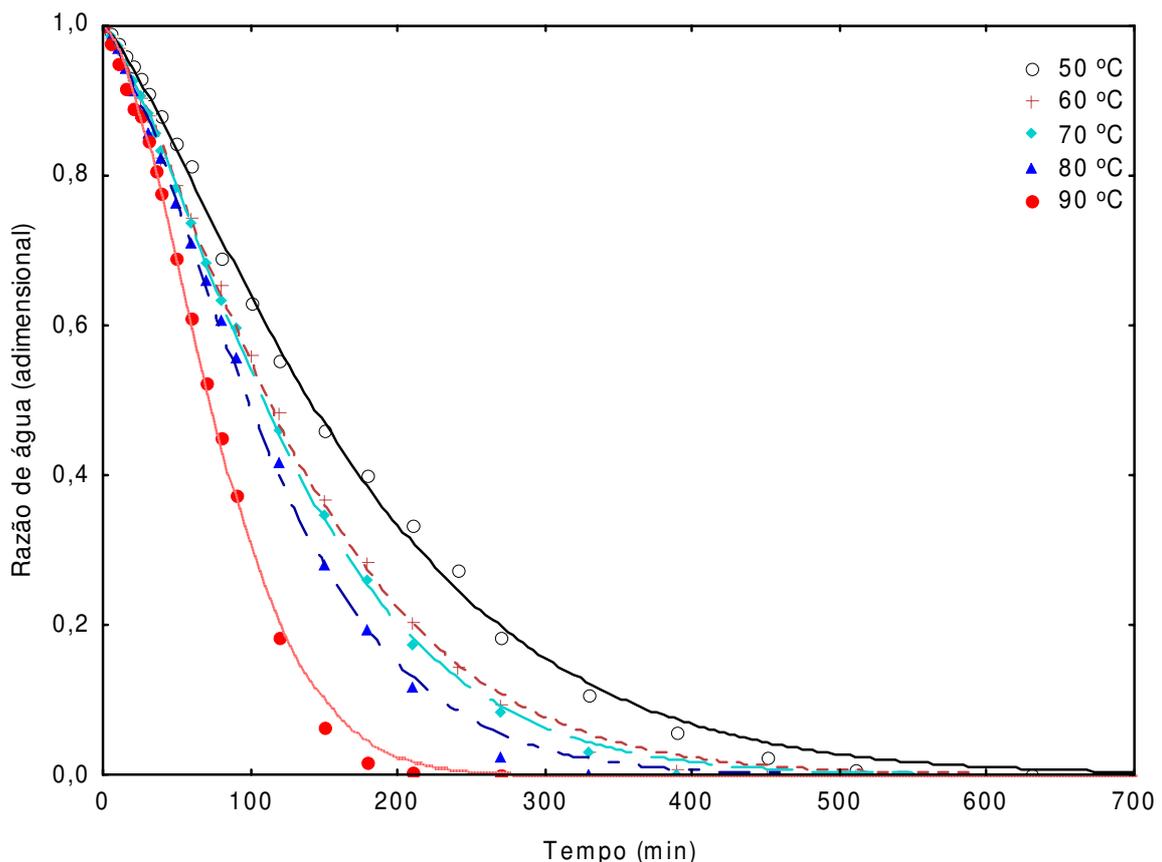
Modelos	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	DQM	
		k	N				
<b>Page</b>	50	0,0008	1,2639		0,9958	0,0237	
	60	0,0009	1,3659		0,9993	0,0244	
	70	0,0011	1,3386		0,9976	0,0174	
	80	0,0009	1,4055		0,9985	0,0133	
	90	0,0015	1,3642		0,9986	0,0136	
<b>Exponencial simples</b>	Temp. (°C)	a	k	C	$R^2$	DQM	
	50	1,2476	0,0025	-0,2288	0,9977	0,0172	
	60	1,1683	0,0050	-0,1203	0,9939	0,0001	
	70	1,2425	0,0046	-0,2081	0,9953	0,0245	
	80	1,2710	0,0053	-0,2231	0,9938	0,0278	
	90	1,2322	0,0064	-0,1886	0,9964	0,0220	
<b>Midili</b>	Temp. (°C)	a	k	n	B	$R^2$	DQM
	50	1,0000	0,0013	1,1474	-0,0001	0,9984	0,0145
	60	0,9954	0,0010	1,3354	-0,0000	0,9992	0,0106
	70	0,9890	0,0011	1,3212	-0,0001	0,9991	0,0107
	80	0,9972	0,0011	1,3555	-0,0001	0,9993	0,0091
90	0,9981	0,0018	1,3047	-0,0001	0,9996	0,0073	

Constata-se então que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem da Formulação 1, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação de 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,025. SOUSA et al.

(2011) observaram, estudando a secagem em camada fina de polpa de oiti nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar, os dados obtidos aos modelos matemáticos de Dois termos, Logaritmico, Page, Henderson & Pabis e Midilli aos dados experimentais, que o de Page e o de Midilli apresentaram os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM para a faixa de temperatura estudada.

Na Figura 4.23 se apresentam as cinéticas de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas diferentes temperaturas avaliadas com ajuste pelo modelo de Midilli, que foi o que apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. MELO et al. (2013) também relataram redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura de secagem (70, 80 e 90 °C), estudando a secagem em camada de espuma da polpa de mandacaru adicionada de albumina e Super Liga Neutra<sup>®</sup>.

Nota-se também, nesta espessura da camada (1,5 cm) a proximidade das curvas de secagem obtidas nas temperaturas de 60 e 70 °C.



**Figura 4.23** – Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de 1,5 cm em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo modelo de Midilli

#### 4.3.4 - Caracterização do pó da murta submetido à secagem em camada de espuma

##### 4.3.4.1 - Teor de água

Encontra-se, na Tabela G.1 (Apêndice G) a análise de variância do teor de água da polpa da murta em pó da Formulação 1 cujos resultados mostram diferenças significativas a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Apresentam-se, na Tabela 4.35, os valores médios do teor de água (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma. Analisando os valores médios do teor de água da polpa da murta em pó, nota-se aumento do teor de água com o aumento da espessura da camada de espuma e redução com o aumento da temperatura.

**Tabela 4.35** – Valores médios do teor de água (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	11,45 ± 0,32 aC	14,46 ± 0,40 aB	16,06 ± 0,05 aA
60	10,76 ± 0,20 bC	12,55 ± 0,33 bB	13,47 ± 0,13 bA
70	9,49 ± 0,36 cC	10,53 ± 0,35 cB	11,34 ± 0,09 cA
80	7,72 ± 0,14 dB	9,70 ± 0,14 dA	10,09 ± 0,07 dA
90	6,62 ± 0,39 eC	8,60 ± 0,13 eB	10,67 ± 0,30 dA

DMS para colunas = 0,62; DMS para linhas = 0,53; MG = 10,90%; CV = 2,43%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando a influência da temperatura nos valores médios do teor de água, observa-se, de forma geral, diminuição deste parâmetro com o aumento da temperatura de secagem. A secagem em camada de espuma utilizando temperaturas do ar de secagem mais elevadas, resultou em produtos em pó com menores teores de água; fato semelhante foi observado por DANTAS (2010) para o pó de abacaxi, ao verificar teores de água de 7,79 e 3,46% para as respectivas temperaturas de secagem de 60 e 70 °C, na espessura de 0,4 cm; CRUZ (2013) observou, para a polpa de goiaba adicionada de 2,5% de emulsificante que,

ao aumentar a temperatura de secagem (60, 70 e 80 °C) o teor de água reduziu em 7,16, 6,40 e 5,23%; FALADE & OKACHA (2012) constataram, para a secagem da banana nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, que ao aumentar a temperatura de secagem ocorreram reduções no teor de água do pó em 8,4, 7,8 e 6,8%, respectivamente.

Ao avaliar a influência da espessura da camada de espuma sobre o teor de água das amostras em pó nota-se que, com o aumento da espessura, houve aumento do teor de água, com exceção da temperatura de 80 °C, que se comportou de forma atípica, e se manteve com médias estatisticamente iguais em relação à espessura de 1,0 e 1,5 cm, ocorrendo redução apenas na espessura de 0,5 cm; comportamento semelhante foi obtido por SILVA FILHO (2012) ao realizar a secagem em camada de espuma da polpa de manga Haden em diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C) e espessuras da camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm), ao observar, ao aumentar a espessura, aumento do teor de água.

Verifica-se que os valores obtidos ficaram próximos dos valores encontrados na literatura para pós de frutas desidratados pelo método de secagem em camada de espuma. LISBOA et al. (2012) obtiveram, ao avaliar o pó de figo-da-índia, seco em estufa com circulação de ar na temperatura de 90 °C com espessura da camada de espuma de 0,8 cm, um pó com 7,46% de teor de água e BREDA et al. (2013) obtiveram variação no teor de água de 5,43 a 7,28%, para formulações de polpa de cajá-manga, secos na temperatura de 70 °C.

A variação nos valores entre cada produto é função dos diferentes tipos de aditivo utilizados, da espessura da camada de espuma, da densidade da espuma e das condições da secagem, como temperatura, velocidade do ar e tempo de secagem, dentre outras variáveis (LISBOA et al., 2012).

#### **4.3.4.2 - Atividade de água**

Encontra-se, na Tabela G.2 (Apêndice G) a análise de variância da atividade de água da polpa da murta em pó (Formulação 1) cujos resultados mostram diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem, espessuras da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Apresentam-se, na Tabela 4.36, os valores médios da atividade de água da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.36** – Valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,240 ± 0,024 aB	0,392 ± 0,006 aA	0,394 ± 0,004 aA
60	0,248 ± 0,027 aB	0,392 ± 0,036 aA	0,366 ± 0,023 aA
70	0,217 ± 0,010 abA	0,255 ± 0,025 bA	0,267 ± 0,026 bA
80	0,203 ± 0,019 abA	0,241 ± 0,011 bA	0,255 ± 0,019 bA
90	0,164 ± 0,002 bB	0,224 ± 0,019 bA	0,254 ± 0,026 bA

DMS para colunas = 0,063; DMS para linhas = 0,054; MG = 0,274; CV = 9,81%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De maneira geral, nas três espessuras da camada de espuma as atividades de água apresentaram redução com o aumento de temperatura de secagem e tendência de aumento com o aumento da espessura.

Nota-se, na Tabela 4.36, que a atividade de água em função da temperatura na espessura de 0,5 cm, se manteve estável entre as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e entre as temperaturas de 70, 80 e 90 °C; as espessuras de 1,0 e 1,5 cm apresentaram comportamento semelhante e com o aumento da temperatura se mantiveram estatisticamente iguais entre as temperaturas de 50 e 60 °C, ocorrendo uma redução na temperatura de 70 °C, mantendo as médias sem diferença estatística até 90 °C. DANTAS (2010) obteve, ao realizar a secagem em camada de espuma com 0,4 cm de espessura nas temperaturas de 60 e 70 °C, valores de 0,238 e 0,239  $a_w$ , respectivamente, para o pó de abacaxi.

Em relação à espessura, verifica-se que os valores obtidos para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm não diferiram estatisticamente em todas as temperaturas. Nas temperaturas de 50, 60 e 90 °C os menores valores de  $a_w$  estatisticamente diferentes ocorreram nas amostras secas com 0,5 cm de espessura, enquanto nas temperaturas de 70 e 80 °C todos os valores de  $a_w$  entre as diferentes espessuras, foram estatisticamente iguais.

SOARES et al. (2013) relataram valores de atividade de água na faixa de 0,2 e 0,3, para o pó da polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de albumina (5, 10, 15 e 20%), seco pelo processo de secagem em camada de espuma nas condições de temperatura

do ar de secagem de 70 °C e com velocidade do ar de 4,3 m/s. LISBOA et al. (2012) encontraram o valor de 0,311 para o pó de figo-da-índia seco em camada de espuma, em estufa com circulação de ar na temperatura de 90 °C, com espessura da camada de 0,8 cm. PAVAN et al. (2012) encontraram, ao comparar diferentes tratamentos para o pó de açaí, atividade de água de 0,240, 0,196 e 0,119, para as secagens em *refractance window*, liofilização e ar quente, respectivamente.

#### 4.3.4.3 - Luminosidade (L\*)

Observa-se, na Tabela G.3 (Apêndice G), a análise de variância da luminosidade (L\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1) cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura e espessura da camada de espuma e, para a interação entre os dois fatores, efeito significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Apresentam-se, na Tabela 4.37, os valores médios da luminosidade (L\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.37** – Valores médios da luminosidade (L\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1) em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	12,24 ± 0,02 aA	11,72 ± 0,01 aB	11,40 ± 0,17 aC
60	11,93 ± 0,00 bA	11,68 ± 0,04 aB	11,35 ± 0,17 aC
70	11,42 ± 0,14 cA	11,01 ± 0,04 bB	11,00 ± 0,07 bB
80	10,99 ± 0,03 dA	10,77 ± 0,04 bB	10,55 ± 0,10 cC
90	10,73 ± 0,17 eA	10,52 ± 0,13 cB	10,18 ± 0,04 dC

DMS para colunas = 0,24; DMS para linhas = 0,20; MG = 11,16; CV = 0,93%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nota-se que os fatores temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, influenciaram no comportamento da luminosidade ocorrendo escurecimento (diminuição do L\*) com o aumento da temperatura e da espessura.

Observa-se que a amostra seca com 0,5 cm de espessura foi a que mais sofreu influência com o aumento da temperatura; a cada aumento de 10 °C constata-se redução significativa da luminosidade da amostra de acordo com o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade; na espessura de 1,0 cm também houve redução com o aumento da temperatura, exceto entre as temperaturas de 50 e 60 °C e 70 e 80 °C; na espessura de 1,5 cm as médias foram estatisticamente iguais entre as temperaturas iniciais (50 e 60 °C), e diferentes a partir de 70 °C; a partir daí, as médias apresentaram diferenças significativas. MEDEIROS (2007) constatou, ao secar as espumas produzidas a partir da polpa de mangaba integral com adição de um emulsificante e um estabilizante, que os valores médios da luminosidade da mangaba em pó desidratada a 50, 60 e 70 °C, foram estatisticamente diferentes e apresentaram redução da luminosidade com o aumento da temperatura. KARIN & WAI (1999) constataram, avaliando a cor da carambola em pó desidratada pelo método de secagem em camada de espuma com temperaturas de secagem de 70 e 90 °C, valores para L\* de 78,4 e 69,3, respectivamente.

Em relação à espessura, o aumento da espessura reduziu a luminosidade para todas as amostras estudadas, tornando o pó da murta mais escuro, o que ocorreu provavelmente em razão do maior tempo de secagem mas na temperatura de 70 °C, entre as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, se mantiveram estatisticamente iguais. Comportamento contrário foi observado por SANTIAGO et al. (2013) para amostras do pó de mix da polpa de mamão com cenoura, os quais verificaram aumento da luminosidade com o aumento da temperatura.

#### **4.3.4.4 - Intensidade do vermelho (+a\*)**

Observa-se, na Tabela G.4 (Apêndice G), a análise de variância da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1) em que os resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem, espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Tem-se, na Tabela 4.38, os valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.38** – Valores médios da intensidade do vermelho (+a\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	10,96 ± 0,02 aA	9,73 ± 0,03 aB	8,58 ± 0,01 aC
60	10,42 ± 0,02 bA	9,52 ± 0,02 bB	8,29 ± 0,11 bC
70	9,83 ± 0,07 cA	8,75 ± 0,02 cB	8,21 ± 0,01 bC
80	7,83 ± 0,00 dA	7,63 ± 0,02 dB	6,72 ± 0,04 cC
90	7,31 ± 0,13 eA	7,20 ± 0,10 eA	5,19 ± 0,05 dB

DMS para colunas = 0,146; DMS para linhas = 0,12; MG = 8,41; CV = 0,74%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.38, observa-se que o aumento da temperatura acarretou tendência de redução do parâmetro +a\* e nas espessuras de 0,5 e 1,0 cm apresentou comportamento semelhante; as médias dos valores apresentaram decréscimo a cada aumento da temperatura embora as amostras com 1,5 cm de espessura não tenham apresentado, entre as temperaturas de 60 e 70 °C, diferenças significativas. CRUZ (2013) observou, ao secar pelo processo de camada de espuma a polpa de goiaba adicionada de 2,5% de emulsificante, que ao aumentar a temperatura (60, 70 e 80 °C) a intensidade de vermelho se manteve estável.

Verifica-se uma redução da intensidade de vermelho ao se aumentar a espessura sendo que entre as espessuras de 0,5 e 1,0 cm, na temperatura de 90 °C, as amostras não indicam diferenças significativas. SANTIAGO et al. (2013) também observaram redução da intensidade de vermelho (+a\*) das amostras do mix da polpa de mamão com cenoura em pó, com o aumento da espessura.

Valores próximos à intensidade de vermelho do pó da murta, foram relatados por CAPARINO et al. (2012) secando a polpa de manga e utilizando o processo de secagem a tambor, verificaram o valor de 6,92 para a intensidade de vermelho. LISBOA et al. (2012)

para o pó da polpa do figo-da-índia obtido através da secagem em camada de espuma, valor de 10,83.

#### 4.3.4.5 -Intensidade de amarelo (+b\*)

Observa-se, na Tabela G.5 (Apêndice G), a análise de variância da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em que os resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma; para a interação entre os dois fatores, não houve efeito significativo.

Tem-se, na Tabela 4.39, os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.39** – Valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	2,33 ± 0,18 aA	2,36 ± 0,04 aA	2,44 ± 0,08 aA
60	2,17 ± 0,08 abA	2,18 ± 0,04 abA	2,31 ± 0,22 aA
70	1,99 ± 0,20 bA	2,02 ± 0,13 bA	2,16 ± 0,08 aA
80	1,27 ± 0,16 cB	1,42 ± 0,16 cAB	1,54 ± 0,06 bA
90	0,82 ± 0,06 dB	1,25 ± 0,01 cA	1,42 ± 0,18 bA

DMS para colunas = 0,31; DMS para linhas = 0,26; MG = 1,85; CV = 7,14%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV = Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.39 verifica-se, com o aumento da temperatura para todas as espessuras, declínio da intensidade de amarelo; nota-se que as amostras que menos sofreram com a alteração da temperatura foram da espessura de 1,5 cm, que mantiveram as médias estatisticamente iguais nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, ocorrendo uma redução na temperatura de 80 °C, mantendo-se estável de 80 a 90 °C. KARIN & WAI (1999) constataram, ao avaliar a cor da carambola em pó desidratada pelo método de secagem em

cada de espuma com temperaturas de 70 a 90 °C, redução da intensidade de amarelo com o aquecimento para todos os experimentos. CRUZ (2013) verificou, nos valores obtidos (21,97, 22,57 e 22,20) estabilidade na intensidade de amarelo com o aumento da temperatura de secagem (60, 70 e 80 °C), ao secar polpa de goiaba adicionada de 2,5% de emulsificante pelo processo de secagem em camada de espuma.

Quanto ao comportamento da espessura percebe-se que o aumento da espessura praticamente não influenciou o parâmetro +b\* das amostras com exceção das amostras secas nas temperaturas de 80 e 90 °C e na espessura de 0,5 cm, que diferiram estatisticamente das demais.

#### 4.3.4.6 - Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ )

Observa-se, na Tabela G.6 (Apêndice G), a análise de variância da diferença total de cor da polpa da murta em pó (Formulação 1), cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Tem-se, na Tabela 4.40, os valores médios da diferença total de cor da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.40** – Valores médios da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) da polpa da murta em pó em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	8,99 ± 0,09 aA	7,80 ± 0,07 aB	7,10 ± 0,13 aC
60	8,52 ± 0,04 bA	7,96 ± 0,00 aB	6,82 ± 0,26 aC
70	8,10 ± 0,15 cA	7,29 ± 0,09 bB	6,87 ± 0,08 aC
80	6,37 ± 0,11 dA	6,35 ± 0,09 cA	5,78 ± 0,08 bB
90	6,03 ± 0,24 eA	6,12 ± 0,06 cA	5,04 ± 0,09 cB

DMS para colunas = 0,30; DMS para linhas = 0,25; MG = 7,01; CV = 1,82%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 4.40, ocorreu redução da diferença total de cor com o aumento da temperatura, para todas as espessuras. Nota-se que, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, na espessura de 0,5 cm, as diferenças reduziram gradativamente a cada aumento da temperatura, enquanto nas temperaturas de 50-60 °C e 80-90 °C os valores médios da diferença total de cor foram estatisticamente iguais, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a espessura de 1,0 cm; na espessura de 1,5 cm se manteve estatisticamente inalterada nas temperaturas de 50, 60, 70 °C.

Com base no efeito da espessura sobre as amostras estudadas, constata-se redução das médias com o aumento da espessura com as médias estatisticamente iguais entre as temperaturas de 80 e 90 °C e espessuras de 0,5 e 1,0 cm, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CAPARINO et al. (2012) encontraram valor de 6,23 para a diferença total de cor para o pó reconstituído de manga adicionado de maltodextrina (DE-10), seco em secagem por atomização; valores superiores foram relatados por BARRETO (2011) para pós de pitanga roxa adicionada de albumina (51,49) adicionada de albumina + super Liga Neutra<sup>®</sup> (53,02), secos pelo mesmo processo deste estudo, na temperatura de 55 °C e espessura de 5,0 mm.

#### 4.3.4.7 - pH

Apresentam-se, na Tabela 4.41, os valores médios do pH da polpa da murta em pó (Formulação 1), seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.41** – Valores médios de pH da polpa da murta em pó (Formulação 1) em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	3,35 ± 0,00	3,24 ± 0,00	3,36 ± 0,01
60	3,37 ± 0,00	3,24 ± 0,00	3,38 ± 0,00
70	3,39 ± 0,00	3,26 ± 0,00	3,41 ± 0,00
80	3,39 ± 0,00	3,27 ± 0,00	3,46 ± 0,00
90	3,42 ± 0,00	3,30 ± 0,00	3,51 ± 0,00

Os valores de pH não demonstraram sofrer influência da espessura da camada uma vez que na camada intermediária, 1,0 cm, os pH foram menores dentre as três espessuras.

Nota-se aumento dos valores do pH com o aumento da temperatura de secagem fato também verificado por DANTAS (2010) ao utilizar a secagem em camada de espuma, com 0,4 cm de espessura nas temperaturas de 60 e 70 °C, verificando, para o pó de abacaxi, valores de 4,34 e 4,43, respectivamente; por KADAM et al. (2011) para o pó de mandarin (*Citrus reticulata* Balanco) reconstituído, seco em camada de espuma nas temperatura de 65, 75 e 85 °C. KADAM et al. (2010) obtiveram valores de pH de 5,85, 5,20 e 5,94 para o pó da polpa de manga adicionado de 25% de leite, seco pelo processo de camada de espuma nas temperaturas de 65, 75 e 85 °C, respectivamente; comportamento inverso observado neste trabalho quanto ao aumento da temperatura, foi relatado por KADAM et al. (2012) ao avaliarem o pH do pó de abacaxi nas temperaturas de 65, 75 e 85 °C.

Observa-se que na espessura da camada de 1,5 cm o pH do pó foi superior aos demais indicando maior oxidação das amostras. Ao se apresentar inferior aos demais, o pH na espessura de 1,0 cm, contraria os resultados de MELO (2008) que, ao secar polpa de mandacaru em camada de espuma nas espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, verificou menor oxidação das amostras com o aumento da espessura.

O pH do pó da murta, com valores entre 3,24-3,51, foi inferior aos encontrados por UCHOA et al. (2008) para pós obtidos a partir de resíduo de frutas (4,17 a 4,60) e RAJKUMAR et al. (2007) para o pó da manga Alphonso (4,10). Segundo KADAM et al. (2011) baixo pH é benéfico devido à segurança do produto. Os valores de pH abaixo ou próximos de 4,5 limitam o desenvolvimento de microrganismos; desta forma, os pós da murta, secos através da secagem de camada de espuma podem ser considerados pós alimentícios, seguros e pouco propensos ao ataque microbiano.

#### **4.3.4.8 - Acidez total titulável**

Observa-se, na G.7 (Apêndice G), a análise de variância da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa de murta em pó (Formulação 1), cujos resultados mostram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem, espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Apresentam-se, na Tabela 4.42, os valores médios da acidez total titulável (% ác. cítrico) da polpa da murta em pó, seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.42** – Valores médios da acidez total titulável (% ác. cítrico) da polpa de murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
<b>50</b>	7,08 ± 0,01 aA	6,84 ± 0,07 aB	6,43 ± 0,06 aC
<b>60</b>	6,95 ± 0,00 abA	6,81 ± 0,10 aA	6,31 ± 0,22 aB
<b>70</b>	6,92 ± 0,00 abA	6,56 ± 0,00 bB	5,78 ± 0,00 bC
<b>80</b>	6,80 ± 0,02 bA	6,46 ± 0,00 bB	5,73 ± 0,05 bC
<b>90</b>	5,22 ± 0,04 cA	5,30 ± 0,00 cA	4,32 ± 0,08 cB

DMS para colunas = 0,17; DMS para linhas = 0,15; MG = 6,23%; CV = 1,20%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando os valores médios da acidez total titulável da polpa da murta em pó na Tabela 4.43, nota-se tendência de redução do teor de acidez com o aumento da temperatura de secagem e da espessura, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FEITOSA et al. (2011) observaram, com o aumento da temperatura de secagem de 50 a 60 °C, redução significativa da acidez e, ao aumentar a temperatura de 60 a 70 °C, não ocorreu diferença entre as médias para o pó elaborado a partir da polpa de mangaba (90%) e leite de cabra (10%) com adição de um emulsificante e um estabilizante, secas pelo processo de secagem em camada de espuma. MELO et al. (2011a) verificaram, para o pó composto por umbu-cajá (90%) e leite de cabra (10%) utilizando o processo de secagem em camada de espuma em diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) valores de acidez de 9,74, 9,45 e 8,29% de ácido cítrico, respectivamente. FALADE & OKACHA (2012) obtiveram, estudando a secagem em camada de espuma para polpa de banana fresca valores de acidez total titulável sem diferença estatística nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Com relação ao comportamento da acidez total titulável em relação ao aumento da espessura para cada temperatura observa-se, de maneira geral, que os valores da acidez diminuiriam com o aumento da espessura; comportamento semelhante foi observado por SANTIAGO et al. (2013) para o mix da polpa de mamão com cenoura em pó; nas

temperaturas de secagem de 70 e 60 °C os autores constataram tendência de redução da acidez com o aumento das espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm.

De acordo com os valores médios, nota-se que a menor degradação dos ácidos orgânicos se deu na amostra seca na temperatura de 50 °C, com 0,5 cm de espessura e a maior oxidação ocorreu na temperatura de 90 °C, com espessura de 1,5 cm; comportamento semelhante foi verificado por SILVA FILHO (2012) para o pó da manga Haden, que constatou menor oxidação dos ácidos orgânicos para o pó seco em menor temperatura e menor espessura. MELO (2008) afirmou que os ácidos orgânicos se oxidam com a temperatura e quanto maior for a temperatura maior também sua oxidação.

#### 4.3.4.9 - Molhabilidade

Observa-se, na Tabela G.8 (Apêndice G), a análise de variância da molhabilidade da polpa da murta em pó (Formulação 1), cujos resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para a fonte de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e, para a interação entre os dois fatores, não se verificou efeito significativo.

Tem-se, na Tabela 4.43, os valores médios da molhabilidade da polpa da murta em pó, seca em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

**Tabela 4.43** – Valores médios da molhabilidade (g/min) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,10 ± 0,00 aA	0,10 ± 0,00 aA	0,09 ± 0,00 aA
60	0,08 ± 0,00 bB	0,09 ± 0,00 bA	0,08 ± 0,00 bAB
70	0,07 ± 0,00 bA	0,08 ± 0,00 bA	0,08 ± 0,00 bA
80	0,06 ± 0,00 cA	0,06 ± 0,00 cAB	0,05 ± 0,00 cB
90	0,04 ± 0,00 dA	0,04 ± 0,00 dA	0,04 ± 0,00 dA

DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01; MG = 0,07g/min; CV = 4,97 %

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se redução da molhabilidade com o aumento da temperatura para todas as espessuras estudadas. Constata-se, para as três espessuras, que os valores da molhabilidade das amostras secas a 60 e 70 °C, não diferem entre si. CHEGINI & GHOBADIAN (2005), em altas temperaturas de secagem, possivelmente é formada uma camada rígida sobre a superfície das partículas diminuindo a molhabilidade e a dissolução do pó.

Em relação à espessura, percebe-se que nas temperaturas de 50, 70 e 90 °C os valores da molhabilidade se mantiveram estatisticamente iguais; nas temperatura de 60 e 80 °C apresentaram comportamento indefinido com diferenças significativas a 5% de probabilidade, apenas entre a espessura de 0,5 e 1,0 cm (60 °C) e entre 0,5 e 1,5 cm (80 °C).

SZULC & LENART (2012) verificaram, ao caracterizar pós alimentícios (alimento para bebê) quanto à molhabilidade, que o tempo de umedecimento dos pós foram acima de 15 segundos e alguns tipos de pós tiveram o tempo da molhabilidade maior do que 180 s. VISSOTO et al. (2010) consideraram que os componentes do pó da bebida de cacau, composta de 80% de açúcar, 12% de milho e maltodextrina (DE 17-19,9) e 8% de pó de cacau, não possuíam quaisquer características de instantaneidade ao passar 19,63 s para ocorrer a molhabilidade.

#### **4.3.4.10 - Insolubilidade**

Na Tabela G.9 (Apêndice G), tem-se a análise de variância da insolubilidade (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1); seus resultados mostraram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Verificam-se na Tabela 4.44, os resultados dos valores médios da insolubilidade da murta em pó.

De acordo com a Tabela 4.44, o aumento da temperatura influenciou o comportamento do pó em relação à insolubilidade, exceto para a secagem na espessura de 1,0 cm, que se manteve com as médias estatisticamente iguais, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Verifica-se que, quanto maior a temperatura maior também a insolubilidade do pó; no início, aproximadamente 68% do pó se dissolveram reduzindo aproximadamente 62% para a temperatura de 90 °C para as espessuras de 0,5 e 1,5 cm. O pó submetido a secagem com espessura de 1,5 cm não apresentou mudanças nas características das partículas entre as temperaturas de 50 e 60 °C, nem entre 60, 70 e 80 °C;

comportamento semelhante foi verificado por SANTIAGO et al. (2013) ao secarem um mix de polpa de mamão com cenoura em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; esses autores constataram que os maiores resultados obtidos de solubilidade foram para a menor temperatura de secagem (50°C). CRUZ (2013) ao secar polpa de goiaba pelo processo de camada de espuma adicionada de 2,5% de emulsificante, observou que ao aumentar a temperatura (60, 70 e 80 °C) a solubilidade se manteve estável (88,80, 88,11 e 88,51%).

**Tabela 4.44** – Valores médios de insolubilidade (%) da polpa da murta em pó (Formulação 1), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessuras da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	32,93 ± 1,75 cA	33,25 ± 0,72 aA	32,33 b± 0,41 cA
60	32,27 ± 0,34 cA	33,70 ± 0,64 aA	33,65 ± 0,45 bcA
70	32,93 ± 0,43 cA	33,48 ± 1,29 aA	34,16 ± 0,29 bA
80	35,24 ± 0,64 bA	33,33 ± 0,54 aB	34,32 ± 0,17 bAB
90	37,75 ± 0,37 aA	33,32 ± 0,52 aB	37,78 ± 1,00 aA

DMS para colunas = 1,75; DMS para linhas = 1,48; MG = 34,03%; CV = 2,18%

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV - Coeficiente de variação

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

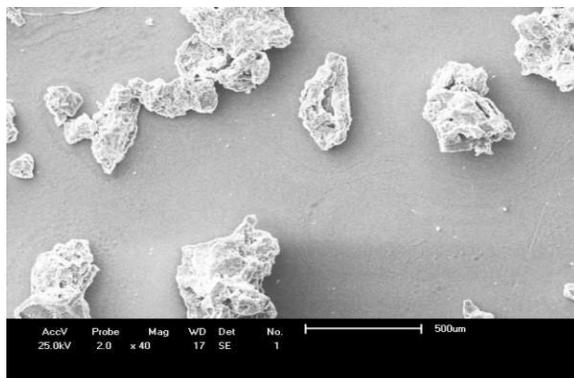
CANO-CHAUCA et al. (2005) registraram 72% de solubilidade (28% de insolubilidade) para o pó da manga adicionado de 9% de celulose desidratado em secador por aspersão. CAPARINO et al. (2012) encontraram, para a solubilidade do pó de manga os valores 89,70% (10,30% insolubilidade), 94,38% (5,62% de insolubilidade), 95,31% (4,69% de insolubilidade) para os métodos de liofilização, secagem em tambor rotativo e secagem por aspersão, respectivamente.

Constata-se, que nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, as amostras não apresentaram diferença estatística entre as médias da insolubilidade com o aumento da espessura, ocorrendo um comportamento indefinido com as temperaturas de 80 e 90 °C. SANTIAGO et al. (2013) verificaram, ao secar o mix da polpa de mamão com cenoura em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, nas espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, que os dados de solubilidade obtidos para as espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm nas temperaturas de 70 e 60 °C não apresentaram diferença significativa. SILVA FILHO

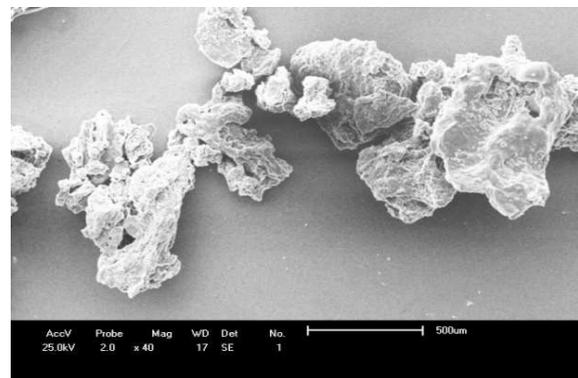
(2012) observaram, em amostras de manga Haden em pó obtida por camada de espuma nas espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, um ligeiro aumento da solubilidade na espessura de 0,5 cm.

#### 4.3.4.11 - Morfologia

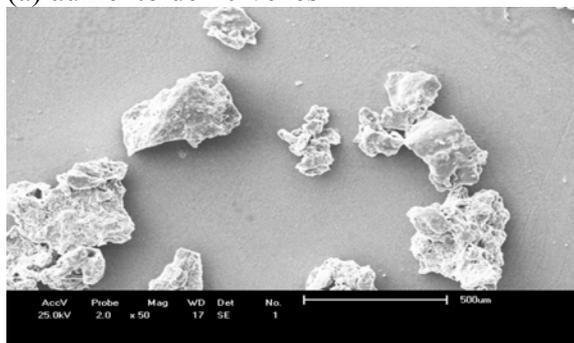
Na Figura 4.24 percebem-se através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), as características morfológicas e estruturais do pó de murta da Formulação 1, seco na temperatura de 50 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm. Verifica-se estrutura porosa e irregular em forma e tamanho em razão do pó ser obtido através da raspagem e logo após sofrer trituração.



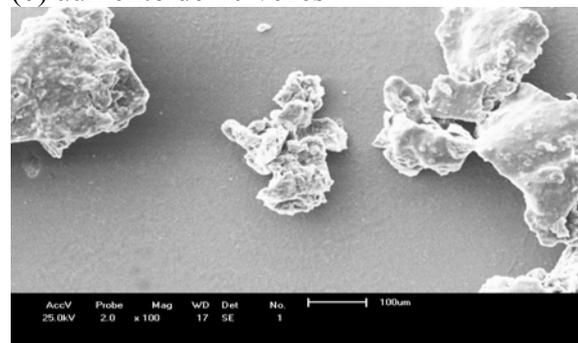
(a) aumento de 40 vezes



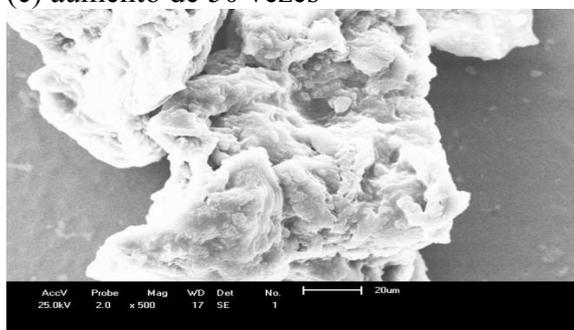
(b) aumento de 40 vezes



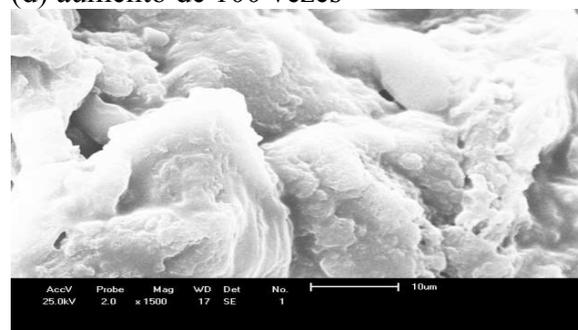
(c) aumento de 50 vezes



(d) aumento de 100 vezes



(e) aumento de 500 vezes



(f) aumento de 1500 vezes

**Figura 4.24** – Imagens das partículas do pó da murta (Formulação 1) resultantes da secagem em camada de espuma, na temperatura de 50 °C e espessura da camada de 0,5 cm

#### 4.3.5 - Isotermas de adsorção do pó da murta submetido a secagem em camada de espuma

Na Tabela 4.45 observam-se os resultados dos valores experimentais na temperatura de 25 °C, do teor de água de equilíbrio da polpa da murta em pó (Formulação 1), seco com a espessura de 0,5 cm e nas temperaturas de secagem 50, 60, 70, 80 e 90 °C; nota-se que o teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da amostra aumentou com o aumento da atividade de água ( $a_w$ ) e que a atividade de água e o teor de água de equilíbrio se reduzem com o aumento da temperatura de secagem.

De acordo com FELLOWS (2006) a atividade de água inferior a 0,6 corresponde à faixa de inibição da atividade microbiana. Ante o que se constata que a Formulação 1 em pó da polpa de murta adicionada de Emustab® e Super Liga Neutra®, terá estabilidade microbiológica em teores de água inferiores a aproximadamente 16,51, 18,32, 19,19, 17,28 e 14,73% b.s. para as respectivas temperaturas de secagem 50, 60, 70, 80 e 90 °C.

**Tabela 4.45** – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó desidratada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com espessura de camada de espuma de 0,5 cm

Temperatura (°C)									
50		60		70		80		90	
$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$
0,351	5,726	0,248	5,4450	0,217	4,499	0,206	4,609	0,254	3,743
0,404	7,700	0,409	5,4450	0,408	12,489	0,424	10,496	0,411	6,646
0,445	9,929	0,483	12,404	0,507	16,652	0,491	13,388	0,474	9,743
0,479	11,752	0,536	15,558	0,558	19,190	0,540	15,735	0,529	11,947
0,534	14,589	0,579	18,321	0,603	21,916	0,564	17,283	0,561	13,443
0,560	16,514	0,639	20,843	0,638	24,536	0,662	23,381	0,581	14,737
0,675	25,329	0,681	24,871	0,693	29,157	0,685	25,581	0,605	15,994
0,682	25,531	0,714	28,059	0,719	32,274	0,717	31,809	0,641	18,200
0,714	28,875	0,756	32,754	0,762	38,318	0,764	34,119	0,740	25,488
0,743	32,218	0,873	37,551	0,810	49,353	0,846	55,107	0,759	27,869
0,750	33,130	0,908	69,985	0,880	72,872	0,890	70,916	0,789	31,614
0,870	65,071	0,913	94,540	0,894	81,450	0,908	84,200	0,883	54,210
0,911	93,456	-	-	0,909	93,600	0,919	93,669	0,929	77,076

Tem-se, na Tabela 4.46, os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da murta em pó (Formulação 1), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P), na temperatura de 25 °C, para as temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C e espessura da camada de 0,5 cm.

**Tabela 4.46** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 0,5 cm de espessura da camada de espuma

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	50	11,5019	1,3489	0,9735	0,9988	5,04	
	60	11,0016	3,0986	0,9777	0,9994	3,57	
	70	11,2483	2,7901	0,9724	0,9994	3,35	
	80	10,1058	2,5311	0,9762	0,9987	2,48	
	90	9,9041	1,5007	0,9489	0,9990	3,41	
	Temperatura (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
Oswin	50	12,9938	0,8493	0,9986	6,29		
	60	15,8581	0,7775	0,9995	3,40		
	70	15,8162	0,7695	0,9995	3,21		
	80	13,9563	0,7861	0,9988	2,32		
	90	11,6636	0,7401	0,9965	7,33		
	Temperatura (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	50	203,54	16,070	58,944	2,2123	0,9999	0,86
	60	194,12	14,355	54,082	1,7133	0,9996	2,24
	70	158,92	12,365	50,729	1,6364	0,9992	2,04
	80	51,290	1,8621	167,07	14,252	0,9982	4,90
	90	103,27	13,055	43,309	2,0018	0,9995	3,08

De acordo com os valores obtidos dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e dos desvios percentuais médios (P), pode-se observar que os modelos de GAB, Oswin e Peleg apresentam coeficientes de determinação maiores que 0,98 e desvios percentuais médios menores que 8%, podendo-se utilizar todas as estimativas das isotermas da Formulação 1. Nota-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água da amostra em pó produzida na maioria das temperaturas, foi o modelo de Peleg, apresentando os maiores valores de  $R^2$  e os menores P. FEITOSA et al. (2013b) verificaram, ao estudar as isotermas de adsorção de água da farinha da casca da manga, seca em estufa a 50 °C, ao ajustar o modelo de Peleg,  $R^2 > 0,99$  e  $P < 6,20\%$ .

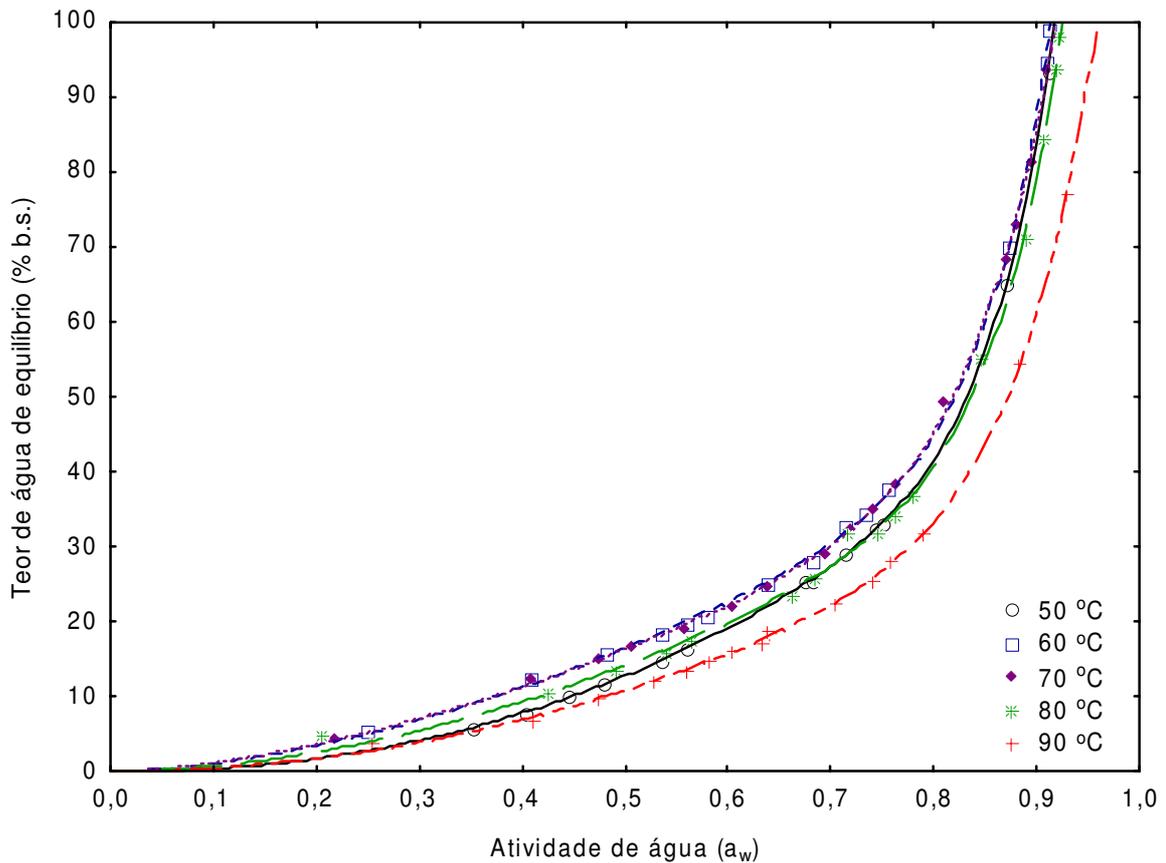
Avaliando os parâmetros dos modelos de GAB, verifica-se que os valores do teor de água de equilíbrio da monocamada ( $X_m$ ) variaram entre 9,90 a 11,50% b.s. além de uma tendência de redução do parâmetro  $X_m$  com o aumento da temperatura de secagem empregada. O valor de 9,90% b.s. encontrado na temperatura de 90 °C indica a maior estabilidade dentre as amostras. Segundo MISHIRA et al. (1996) o teor de água na monocamada determina o teor de água para uma armazenagem segura na qual o material tem estabilidade máxima.

Com referência ao parâmetro C do modelo de GAB que representa o calor total de sorção da primeira camada, constata-se que entre as temperaturas de 60 a 90 °C os valores diminuem variando entre 3,0986 e 1,5007. No parâmetro K do modelo de GAB, que é a constante relacionada ao calor de sorção na multicamada com relação ao volume do líquido, constata-se valor próximo de 1,0 apresentando valores em torno de 0,97 para todas as temperaturas, exceto a 90 °C.

De acordo com a classificação de BLAHOVEC (2004) as isotermas de adsorção de água da polpa de murta em pó (Formulação 1) são do Tipo II e III. As isotermas que apresentaram comportamento do tipo II foram as secas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ ; as do tipo III apresentaram valores entre  $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$ . MOSQUERA et al. (2012) classificaram, de acordo com os valores obtidos do parâmetro C, como do tipo II, o pó liofilizado de morango, com e sem maltodextrina e goma arábica. SILVA et al. (2008a) obtiveram, estudando o comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, curvas de comportamento do tipo III, característico de materiais ricos em carboidratos.

Na Figura H.1 (Apêndice H), tem-se as isotermas de adsorção de água da polpa da murta em pó na temperatura de 25 °C secas nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, com ajustes com os modelos de GAB e Oswin.

Na Figura 4.25, estão apresentadas as isotermas de adsorção de água para a murta em pó (Formulação 1), seca nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, na temperatura de 25 °C ajustadas pelo modelo de Peleg. Percebe-se que a amostra seca na maior temperatura (90 °C) foi menos higroscópica; observa-se, também, que as curvas referentes às temperaturas de 50 e 80 °C e 60 e 70 °C estão visualmente sobrepostas.



**Figura 4.25** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura da camada de 0,5 cm e com ajustes com o modelo de Peleg

Na Tabela 4.47 observam-se os resultados dos valores experimentais do teor de água de equilíbrio da polpa da murta em pó (Formulação 1), na temperatura de 25 °C, para as temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C e espessura da camada de espuma equivalente a 1,0 cm; o teor de água de equilíbrio apresenta tendência de redução com o aumento da temperatura de secagem.

Constata-se que a Formulação 1 em pó, com espessura de 1,0 cm, terá estabilidade microbiológica em teores de água inferiores a aproximadamente 16,23, 13,98, 22,65, 18,73 e 20,55% b.s. para as respectivas temperaturas de secagem 50, 60, 70, 80 e 90 °C.

**Tabela 4.47** – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1) desidratada na temperatura de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com a espessuras de camada de espuma de 1,0 cm

Temperatura (°C)									
50		60		70		80		90	
$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$
0,389	7,395	0,395	6,408	0,255	5,351	0,243	5,714	0,226	2,459
0,479	11,529	0,467	9,531	0,367	11,093	0,384	10,997	0,386	13,559
0,524	13,580	0,506	11,457	0,460	14,872	0,461	13,802	0,473	16,631
0,546	14,790	0,535	12,786	0,518	17,763	0,513	16,580	0,548	20,550
0,570	16,235	0,555	13,981	0,539	19,048	0,549	18,732	0,623	25,529
0,644	20,773	0,631	18,365	0,579	21,512	0,601	21,720	0,631	26,589
0,677	23,597	0,664	20,657	0,594	22,652	0,640	24,657	0,683	29,766
0,702	26,219	0,709	24,775	0,670	28,008	0,695	29,582	0,719	33,474
0,736	30,050	0,737	28,129	0,707	31,717	0,729	33,195	0,744	36,864
0,748	31,698	0,752	30,122	0,743	36,434	0,749	35,976	0,765	39,618
0,874	63,059	0,871	59,448	0,783	42,784	0,783	41,414	0,784	42,584
0,912	88,875	0,911	87,079	0,871	69,866	0,886	76,503	0,876	70,444
-	-	-	-	0,915	96,998	0,912	97,511	0,911	97,563

A Tabela 4.48 apresenta os parâmetros dos modelos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da murta em pó (Formulação 1), secas a 50, 60, 70, 80 e 90 °C com espessura da camada de espuma de 1,0 cm. Observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais na maioria das temperaturas, foi o de Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,98$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P < 3\%$ ). Este modelo foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de adsorção nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, em amostras de bioplástico à base de farinha de mandioca da variedade CM 7951-5, apresentando  $R^2 > 0,996$  e porcentagem de erro médio relativo menor ou igual a 10% (NAVIA et al., 2011).

**Tabela 4.48** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 1,0 cm de espessura da camada de espuma

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
<b>GAB</b>	50	10,1995	1,7639	0,9777	0,9994	2,26	
	60	9,5117	1,5165	0,9853	0,9994	2,98	
	70	11,8405	2,7702	0,9657	0,9991	4,17	
	80	10,6460	3,2065	0,9807	0,9994	2,81	
	90	10,3527	2,9075	0,9782	0,9985	4,98	
	Temperatura (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
<b>Oswin</b>	50	12,6764	0,8309	0,9995	2,37		
	60	11,2524	0,8775	0,9995	2,94		
	70	16,6266	0,7449	0,9991	3,97		
	80	15,5001	0,7843	0,9994	2,43		
	90	14,7091	0,7843	0,9986	4,43		
	Temperatura (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
<b>Peleg</b>	50	188,87	15,9440	54,93	2,1626	0,9998	1,28
	60	52,87	2,2716	200,41	16,281	0,9998	0,99
	70	51,41	1,5990	155,82	12,236	0,9998	1,51
	80	196,68	14,4971	53,586	1,7299	0,9994	2,91
	90	182,61	14,4472	51,914	1,7674	0,9992	1,63

Para as amostras em pó produzidas nas temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C de espessura da camada de espuma 1 cm, o modelo de GAB apresentou  $R^2 > 0,99$  e  $P < 5\%$ , podendo ser utilizado para estimar as isotermas. VIGANÓ et al. (2012) ajustaram o modelo de GAB às isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, de amostras de abacaxi em pó desidratadas em secador vibro-fluidizado, secador por atomização, liofilizador e secador a vácuo e relataram que o modelo descreveu satisfatoriamente as isotermas com valores de  $R^2$  próximos à unidade e  $P < 10\%$ .

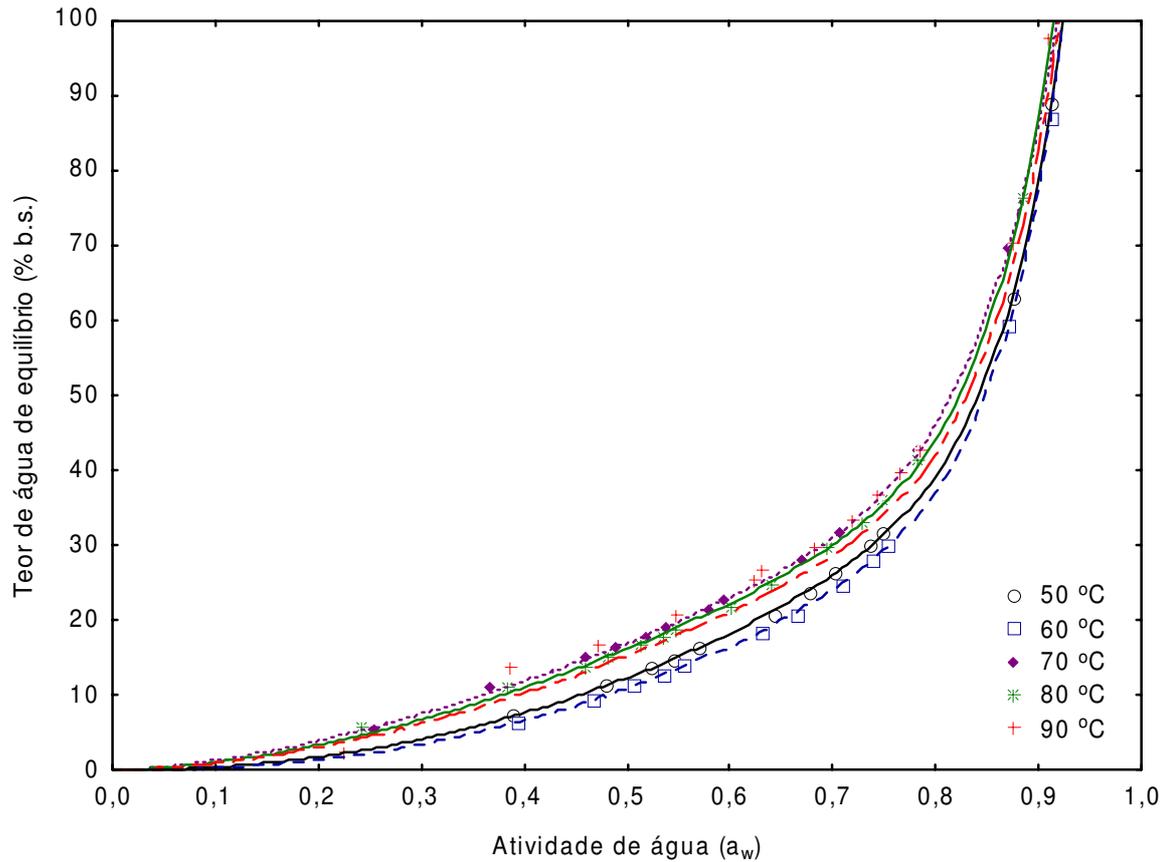
O teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) não apresentou comportamento definido mas apresentou valores abaixo de 12% b.s. Para SHRESTHA et al. (2006) o teor de água da monocamada exerce influência direta na preservação do sabor e aroma de produtos encapsulados e da estrutura das cápsulas.

Os parâmetros C e K do modelo de GAB não apresentaram comportamento padrão em relação ao aumento da temperatura. Segundo BLAHOVEC (2004) as isotermas são do tipo II para as temperaturas de 50 e 60 °C enquadrando-se dentro dos valores  $0 < K \leq 1$ , e  $0 \leq C \leq 2$  e do tipo III, que apresentaram valores de  $0 < K \leq 1$ ,  $C > 2$ , para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C. MOREIRA et al. (2013) constataram, ao determinar as isotermas de adsorção de água a 25, 35 e 45 °C do pó da polpa de manga liofilizada, formato característico do tipo III.

Verifica-se, para o modelo de Oswin, que os parâmetros A e B não apresentaram comportamento definido e o  $R^2 > 0,99$  e  $P < 5\%$ , podendo também ser usado na estimativa das isotermas.

Na Figura H.1 (Apêndice H), se encontram as isotermas de adsorção de água da polpa da murta em pó (Formulação 1) na temperatura de 25 °C, secas nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, com espessura de 1,0 cm, ajustadas aos modelos de GAB e Oswin.

Na Figura 4.26, estão as de isotermas de adsorção de água da murta em pó, secas nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C; observa-se que as curvas das isotermas se dividem em dois grupos: nas secas nas temperaturas mais baixas (50 e 60 °C) e nas temperaturas mais elevadas ficando muito próximas mas com os menores teores de água de equilíbrio da amostra seca a 50 °C.



**Figura 4.26** – Isothermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura de 1,0 cm, e ajustes ao modelo de Peleg

A Tabela 4.49 mostra o comportamento da adsorção de água do pó (Formulação 1) seco nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C e espessura da camada de 1,5 cm na temperatura de 25 °C.

Constata-se que a Formulação 1 em pó, com espessura de 1,0 cm, terá estabilidade microbiológica em teores de água inferiores a aproximadamente 24,67, 20,85, 12,32, 20,21 e 14,98% b.s. para as respectivas temperaturas de secagem 50, 60, 70, 80 e 90 °C.

**Tabela 4.49** - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) da polpa da murta em pó (Formulação 1) desidratada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C com a espessura da camada de espuma de 1,5 cm

Temperatura (°C)									
50		60		70		80		90	
$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$
0,239	11,079	0,166	6,803	0,201	5,306	0,251	6,134	0,254	4,047
0,396	15,517	0,393	10,738	0,414	8,212	0,401	10,933	0,423	6,710
0,454	18,009	0,497	14,998	0,477	10,756	0,499	15,332	0,490	9,947
0,476	19,362	0,549	17,996	0,504	12,320	0,499	15,332	0,530	11,958
0,536	22,696	0,566	19,131	0,667	22,319	0,565	19,197	0,557	13,456
0,568	24,672	0,597	20,851	0,674	22,965	0,579	20,217	0,582	14,989
0,649	30,571	0,607	21,711	0,682	23,782	0,651	24,648	0,627	17,540
0,655	31,417	0,680	27,148	0,730	28,546	0,692	28,481	0,669	20,159
0,698	35,198	0,711	30,313	0,757	32,355	0,721	31,471	0,714	23,559
0,727	38,641	0,751	35,510	0,873	62,747	0,747	34,951	0,745	26,417
0,753	42,458	0,870	65,308	0,913	89,857	0,766	37,870	0,747	26,861
0,867	73,986	0,915	92,836	-	-	0,872	67,091	0,888	57,207
0,907	98,215	-	-	-	-	0,911	92,971	0,919	78,099

Tem-se, na Tabela 4.50, os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da murta em pó (Formulação 1), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Em razão de todos os valores de  $R^2$  terem sido superiores a 0,98 e os desvios percentuais médios inferiores a 8%, para os modelos de GAB, Oswin e Peleg, todos podem ser usados para prever as isotermas de adsorção da polpa da murta em pó.

Constatou-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas em diferentes temperaturas de secagem apresentando coeficientes de determinação  $R^2 > 0,99$  e os menores percentuais médios  $P < 8\%$ . Os parâmetros do modelo de Peleg não tiveram comportamento definido com o aumento da temperatura. FEITOSA et al. (2013a) constataram, ao determinar as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, de fatias de goiabas Paluma desidratadas a 70 °C prétratadas com solução de ácido ascórbico (1%), que o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou às curvas experimentais em todas as temperaturas, apresentando os

maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P < 6,46\%$ ).

**Tabela 4.50** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 25 °C da polpa da murta em pó (Formulação 1), desidratada sob diferentes temperaturas e com 1,5 cm de espessura da camada de espuma

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
<b>GAB</b>	50	11,9961	7,7505	0,9719	0,9997	1,29	
	60	10,4095	3,7413	0,9740	0,9993	3,47	
	70	9,6627	1,9164	0,9838	0,9993	4,93	
	80	10,6169	2,9588	0,9775	0,9997	2,19	
	90	8,7086	1,9010	0,9726	0,9982	4,97	
	Temperatura (°C)	A	B	$R^2$	P (%)		
<b>Oswin</b>	50	20,0099	0,7011	0,9984	3,43		
	60	15,5560	0,7511	0,9991	3,75		
	70	12,3178	0,8450	0,9994	4,62		
	80	15,1642	0,7797	0,9998	1,55		
	90	11,0889	0,8815	0,9985	5,64		
	Temperatura (°C)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
<b>Peleg</b>	50	164,01	11,008	48,601	1,1923	0,9986	3,54
	60	52,87	2,2716	200,41	16,281	0,9998	0,99
	70	179,59	14,187	48,006	1,9286	0,9981	7,59
	80	178,45	13,784	51,608	1,7187	0,9996	2,61
	90	49,06	2,2054	184,15	18,890	0,9993	4,42

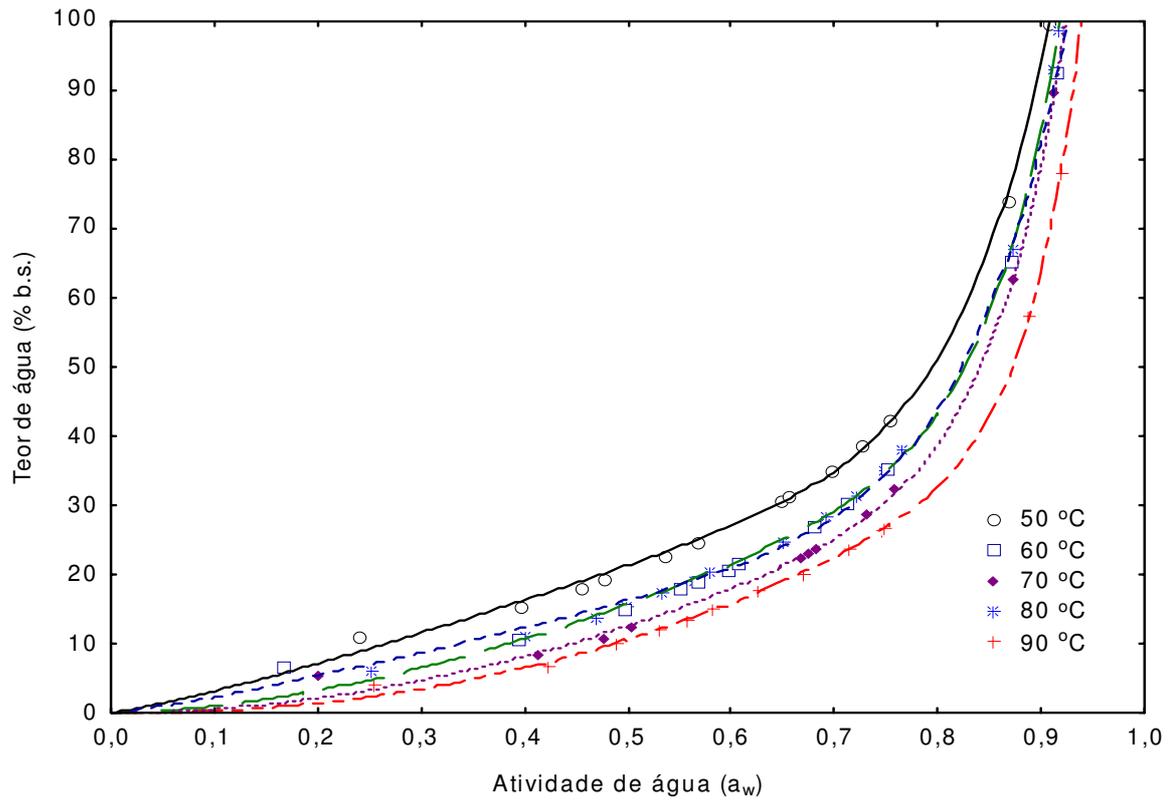
Para o modelo de GAB observa-se que, com o aumento da temperatura de secagem, os parâmetros C e  $X_m$  apresentaram tendência de diminuição. SYAMALADEVI et al. (2009) relataram, ao estudar as isotermas de adsorção do pó de framboesa (*Rubus idaeus*) liofilizada na temperatura de 23 °C, coeficiente de determinação de 0,996 para o modelo de GAB.

As curvas apresentaram comportamento dos Tipos II e III; as amostras das temperaturas que apresentaram comportamento do Tipo II foram 50, 60 e 80 °C e dos Tipos III as amostras das temperaturas de 70 e 90 °C; BLAHOVEC (2004), que classificam, de acordo com os valores, para o tipo II:  $0 < K \leq 1$ ,  $C > 2$  e o tipo III,  $0 < K \leq 1$ ,  $0 \leq C \leq 2$ . MELO et al. (2011b) avaliando o comportamento higroscópico da casca, polpa e da parte fibrosa do buriti, obtiveram isotermas de adsorção de água a 25 °C, do tipo II. CAMPOS et al. (2009) identificaram, ao estudando as isotermas de adsorção da palma forrageira enriquecida proteicamente, as isotermas como do tipo III concluindo que esta é uma forma típica de produtos com altas concentrações de açúcares e solutos que apresentam pouca adsorção por capilaridade.

VISHWAKARMA et al. (2011) obtiveram, ao verificar o comportamento das isotermas de adsorção de água de grãos de guar e goma guar splits, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, cujos dados foram ajustados ao modelo de Oswin modificado, valores para o coeficiente de determinação superiores a 0,99.

Verificam-se, na Figura H.1 (Apêndice H), as isotermas de adsorção de água da polpa da murta em pó na temperatura de 25 °C, secas nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, na espessura de 1,5 cm, com ajustes pelos modelos de GAB e Oswin.

Na Figura 4.27 tem-se as curvas de isotermas da murta em pó, seca nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg; observa-se sobreposição das curvas referentes às temperaturas de 60 e 80 °C; os maiores teores de água de equilíbrio foram da amostra seca a 50 °C e os menores da amostra seca a 90 °C.



**Figura 4.27** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1 com espessura da camada de 1,5 cm, com ajustes pelo modelo de Peleg

## **5 - CONCLUSÕES**

### **Caracterização da polpa de murta integral**

A polpa de murta pode ser classificada como muito ácida e de desenvolvimento microbiano limitado; com baixo percentual de gordura e valores relevantes de antocianinas; classificada como fluido não-newtoniano e pseudoplástico e apresentou alta energia de ativação a baixas taxas de deformação ( $s^{-1}$ ).

### **Secagem por aspersão**

### **Caracterização da formulação selecionada**

Com a adição de água destilada e maltodextrina à polpa integral (formulação) foram aumentados os teores dos sólidos solúveis totais ( $^{\circ}$ Brix), os sólidos totais, a intensidade de vermelho, a intensidade de amarelo e a atividade de água e se reduziram a acidez total titulável, cinzas, luminosidade, pH e teor de água.

### **Comportamento reológico da formulação**

A formulação também foi caracterizada como um fluido pseudoplástico e os modelos da Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson, apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ), superior a 0,99 e desvio percentual médio inferior a 1%. O modelo de Mizrahi-Berk apresentou o melhor ajuste.

### **Caracterização do pó da murta**

O aumento da temperatura de secagem, para os pós coletados na câmara de secagem e no ciclone, reduziu o teor de água, a atividade de água, as antocianinas totais e a diferença total de cor, mas aumentou o rendimento e pH.

Menor propensão à alteração nas características do pó coletado no ciclone, foi observada com o aumento da temperatura, mantendo-se estável entre as temperaturas de 150 e 170  $^{\circ}$ C para o teor de água, acidez total titulável e intensidade de amarelo; a insolubilidade e a acidez tiveram melhores valores para os pós do ciclone.

## **Morfologia**

Houve alterações na forma das partículas dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone, ao aumentar as temperaturas de secagem. Observa-se que o pó coletado na câmara de secagem apresentou formato irregular e com depressões em todas as temperaturas aplicadas. Constata-se, enfim, grande diferença nos pós da murta coletados no ciclone.

## **Isotermas de adsorção**

O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção a 25 °C dos pós coletados na câmara de secagem e no ciclone nas temperaturas de secagem de 150, 170 e 190 °C, foi o de Peleg, com os maiores coeficientes de determinação e menores desvios percentuais médios e foram classificadas como do tipo III.

## **Secagem em camada de espuma**

### **Escolha da formulação**

Redução da densidade e no aumento do over-run foi observada para todas as Formulações testadas; a incorporação de 1,5% de Emustab<sup>®</sup> e 0,5% Super liga Neutra<sup>®</sup> à polpa de murta (Formulação 1) mostrou-se eficaz com as melhores características para a secagem.

### **Caracterização da espuma**

A incorporação dos aditivos à polpa de murta influenciou o pH tornando a espuma com característica mais ácida, reduziu a acidez total titulável, a atividade de água e o teor de água.

A diferença total de cor e os parâmetros, luminosidade e intensidade de vermelho, reduziram com o aumento do tempo de exposição da espuma a luz ambiente.

### **Viscosidade da Formulação selecionada**

Os modelos de Sisko, Falguera-Ibarz e a Lei da potência apresentam bons ajustes e podem ser utilizados na predição da viscosidade da Formulação 1.

O modelo de Herschel-Bulkley apresentou o melhor ajuste ao reograma da Formulação 1.

### **Cinética de secagem**

Os modelos matemáticos de Page, Exponencial simples e Midili ajustados às curvas de secagem da Formulação 1 com diferentes espessuras da camada de espuma e temperaturas de secagem, proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais, com destaque para o modelo de Midili, que apresentou  $R^2 > 0,98$  e  $DQM < 0,015$ .

### **Caracterização do pó da murta**

A acidez e a insolubilidade dos pós apresentaram melhores valores para baixas temperaturas.

O aumento da temperatura de secagem proporcionou os menores valores do teor de água, atividade de água e diferença total de cor.

A espessura da camada de espuma não apresentou comportamento significativo para a maioria dos parâmetros avaliados.

### **Morfologia**

Os pós apresentaram estrutura porosa e irregular, em forma e tamanho, em razão do pó ser obtido através da raspagem e trituração.

### **Isotermas de adsorção**

O melhor modelo que se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó produzidas nas diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, foi o modelo de Peleg, apresentando os maiores  $R^2$  e menores desvio percentuais médios (P).

As isotermas de adsorção das amostras foram classificadas como sendo dos Tipos II e III, variando de acordo com a temperatura e a espessura da camada de espuma.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R. E.; MAIA, G. A.; SOUZA, V. A. B. Caracterização física e físico-química de frutos de diferentes genótipos de bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 423-428, 2008.

AGUILERA, A. P.; ELLENA, M. D.; SEGUEL, I. B.; MONTENEGRO, A. B.; MARTÍN, J. S. A.; TORRALBO, L. B.; REBOLLEDO, R. R. Nuevos registros de insectos fitófagos asociados a murta o murtila (*ugni molinae* TURCZ.) en Chile. **IDESIA**, v. 20, n. 2, p. 33-337, 2009.

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; HIREMATH, N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 8, p.885–895, 2005.

AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 1, p. 75–84, 2006.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 81–87, 2009.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALLAMILLA-BELTRÁN, L.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; JIMÉNEZ-APARICIO, A. R.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F. Description of morphological changes of particles along spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 67, v. 1-2, p. 179–184, 2005.

ALVARADO, L. A. C. **Comportamiento reológico de pasta de murta (*Ugni molinae Turcz*) en estado fresco y congelado.** 2005. 97f. Tesis (Licenciado en Ingeniería en Alimentos) - Universidad Austral de Chile.

ALVES, R. M.; BORDIN, M. R. Estimativa da vida útil de café solúvel por modelo matemático. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 19-24, 1998.

ANDRADE, J. S.; ARAGÃO, C. G.; FERREIRA, S. A. N. Caracterização física e química dos frutos de Araçá- Pêra (*Psidium acutangulum* D. C.). **Acta Amazônica**, v. 23, n. 2-3, p. 213-217, 1993.

ANSELMO, G. C. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ARAUJO, D. R. **Desenvolvimento, maturidade fisiológica e armazenamento dos frutos da murta.** 2013. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

ARLINDO, D. M. **Armazenabilidade de pimentão em pó. Dissertação.** 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.

AUGUSTA, I. M. **Extração e secagem da casca de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl et Perry) para obtenção de corante.** 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

AUGUSTO, P. E. D.; FALGUERA, V.; CRISTIANINI, M.; IBARZ, ALBERT. Rheological behavior of tomato juice: steady-state shear and time-dependent modeling. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 5, p. 1715–1723, 2012a.

AUGUSTO, P. E. D.; IBARZ, A.; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Time-dependent and steady-state shear. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 4, p. 570–579, 2012b.

AYDIN, C.; ÖZCAN, M. M. Determination of nutritional and physical properties of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits growing wild in Turkey. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 453–458, 2007.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S. Tendências em Conservação de Alimentos. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. cap. 6, p. 135-150.

BAE, K. E.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. 8, p. 549–560, 2008.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2010.

BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. 2011. 63 f. Dissertação (Especialização em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

BATISTA, G. B.; TELIS-ROMERO, J. Avaliação e modelamento da cinética de secagem de casca de banana nanica em um secador de leito fixo. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 21., 2009, São José do Rio Preto. **Anais...** São José do Rio Preto: UNESP, 2009. CD-ROM

BEJAR, A. K.; MIHOUBI, N. B.; KECHAOU, N. Moisture sorption isotherms – Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1728–1735, 2012.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3 ed. New York: Marcel Dekker, 1996.

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; CASTRO, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 571-578, 2008.

BERNÁRDEZ, M. M.; MIGUÉLEZ J. DE LA M.; QUEIJEIRO, J. G. HPLC determination of sugars in varieties of chestnut fruits from Galicia (Spain). **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, n. 1, p. 63–67, 2004.

BEZERRA, J. R. M. V.; RIGO, M.; DEMCZUK JUNIOR, B.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Ambiência Guarapuava**, v. 5, n. 1, p. 37-47, 2009.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671–684, 1997.

BHANDARI, B. R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, 1993.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.

BORRMANN, D.; PIERUCCI, A. P. T. R.; LEITE, S. G. F.; LEÃO, M. H. M. R. Microencapsulation of passion fruit (*Passiflora*) juice with *n*-octenylsuccinate-derivatised starch using spray-drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 1, p. 23–27, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017 p.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação *foam mat* na retenção da vitamina c da polpa de cajamanga. **Alimentos e Nutrição - Brazilian Journal of Food Nutrion**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

CALEGUER, V. F.; BENASSI, M. T. Efeito da adição de polpa, carboximetilcelulose e goma arábica nas características sensoriais e aceitação de preparados em pó para refresco sabor laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 270-277, 2007.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

CAMPOS, A. R. N. I.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 734-740, 2009.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 420–428, 2005.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.

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.

CAPITANI, C. D. **Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos**. 2004, 153f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. v. 2, 627 p.

CARVALHO, C. M. **Secagem e armazenamento do leite de cabra com polpa de umbu-  
cajá**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal  
de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CAVALCANTI, R. N.; SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. A. Non-thermal stabilization  
mechanisms of anthocyanins in model and food systems—An overview. **Food Research  
International**, v. 44, p. 499–509, 2011.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality  
parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2,  
p. 360–365, 2012.

CERON, C. S.; ZANOTTO, C. Z.; SILVEIRA, R. S.; KUNZ, V. T.; WALKER, C. I. B.;  
MANFRON, M. P. Atividade antioxidante dos extratos de *Blepharocalyx salicifolius*  
(H.B.K.) Berg. In: CONGRESSO DE FARMÁCIA DE MARINGÁ, I., 2006, **Resumos...**  
Arq Mudi.;v.11, Suplemento 1, 2007.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying condition on physical  
properties of orange juice powder. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 657–668, 2005.

CHIN, N. L.; CHAN, S. M.; YUSOF, Y. A.; CHUAH, T. G.; TALIB, R. A. Modelling of  
rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Food  
Engineering**, v. 93, n. 2, p. 134–140, 2009.

CRISÓSTOMO, R. B. B.; CORRÊA, M. P. F.; RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.;  
MOURA, C. F. H.; LUZ, J. M. Potencial de utilização de algumas frutas silvestres do  
litoral do Estado do Ceará, Brasil. **Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v.  
52, p. 221-223, 2008.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma.** 2013. 78 f. Dissertação (Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CUNHA, T. M.; CASTRO, F. P.; BARRETO, P. L. M.; BENEDET, H. D.; PRUDÊNCIO, E. S. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 103-116, 2008.

DACANAL, G. C. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado.** 2005. 115 f. Dissertação (Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

DAK, M.; VERMA, R.C.; JAAFFREY, S. N. A. Rheological properties of tomato concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 4, n. 7, p. 1556-3758, 2008.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat.** 2010, 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DARQUEA, F. S. M. **Elaboración de Láminas de Fruta (“fruit leathers”) a partir de pulpa de Murta (*Ugni molinae* Turcz) congelada.** 2002, 66 f. Tesis (Licenciado en Ingeniería en Alimentos) - Universidad Austral De Chile.

DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia do lenho de murta – *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 267-274, 2005.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água.** 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ENDO, É.; BORGES, S. V.; DAIUTO, É. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 382-386, 2007.

ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray-drier. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 805–812, 2007.

FADDA, A.; MULAS, M. Chemical changes during myrtle (*Myrtus communis* L.) fruit development and Ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 477–485, 2010.

FALADE, K. O.; OKACHA, J. O. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa* spp.). **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 4, p. 1173–1180, 2012.

FALGUERA, V.; IBARZ, A. A new model to describe flow behaviour of concentrated orange juice. **Food Biophysics**, v. 5, n. 2, p. 114–119, 2010.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 1139-1147, 2011.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; PINTO, M. R. M. R. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n.1, p. 21-28, 2013.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; LAUREANO, J. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagem e tempo de estocagem na coloração de polpa de manga “Ubá” produzida em sistema orgânico. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 504-511, 2008.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 1, p. 1556-3758, 2012a.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; 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, 2012b.

FAZAELI, M.; YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z. Investigation on the effects of microwave and conventional heating methods on the phytochemicals of pomegranate (*Punica granatum* L.) and black mulberry juices. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 568–573, 2013.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção de umidade de fatias de goiabas desidratadas pré-tratadas com solução de ácido ascórbico. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGROINGENIERIA Y CIENCIAS HORTICOLA, 7., 2013a, Madrid. **Anais...** Madrid:SEAgIng.

FEITOSA, R. M.; MELO, J. C. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, W. C.; MEDEIROS, J. Caracterização da polpa de mangaba com leite de cabra seca em camada de espuma. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. 3., 2011, Recife. **Anais**, 2011b, CD-ROM.

FEITOSA, R. M.; OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; FIGUEIRÊDO R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da farinha da casca da manga. **Higiene Alimentar**, v. 27, n. 218-219, p. 3780-3784, 2013.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e Práticas**. 2 ed. Porto Alegre:2006. 602f.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I.D.; VISSOTTO, F. Z.; AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237–1245, 2012.

FERNANDES, L. P.; CANDIDO, R. C.; OLIVEIRA, W. P. Spray drying microencapsulation of lippia sidoides extracts in carbohydrate blends. **Food & Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 425–432, 2012.

FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2011, 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu cajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.

FERNANDES, T. N.; RIBEIRO, F. C. R.; LEMOS, F. S.; PRADO, M. E. T.; RESENDE, J. V.; BELCHIOR, N. C. Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina. **Brazilian Journal of Food Technology**, VII BMCFB, 2009.

FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR, A. S. Industrial spray drying systems. In: **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker, p. 742, 1995.

FISCHER, U. A.; CARLE, R.; KAMMERER, D. R. Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) juices and model solutions. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1800–1809, 2013.

FITZPATRICK, J. J. Food powder flowability. In: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005. p. 247–260.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal Biological Chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

FORNY, L., MARABI, A., PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1-2, p. 72–78, 2011.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 413–424, 2012.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p.181-207.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. New York: John Wiley & Sons, 2000. v. 1, 2907 p.

FRANK, K.; KÖHLER, K.; SCHUCHMANN, H. P. Stability of anthocyanins in high pressure homogenization. **Food Chemistry**, v. 130, n. 3, p. 716–719, 2012.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and Arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 246–252, 2007.

GADELHA, A. J. F.; ROCHA, C. O.; VIEIRA, F. F.; RIBEIRO, G. N. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 115-118, 2009.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: Princípios e aplicações**. 2008. 511 f.

GOMES, W. C. **Secagem por aspersão da polpa de buriti**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; IHLB, M.; BIFANIB, V. A.; MONTERO, SILVAB, P. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae* Turcz). **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 7, p. 1133–1143, 2007.

GONÇALVES, C. A. A.; LIMA, L. C. O.; LOPES, P. S. N.; PRADO, M. E. T. Caracterização física, físico-química, enzimática e de parede celular em diferentes estádios de desenvolvimento da fruta de figueira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 220-229, 2006.

GONÇALVES, G. R. F.; GANDOLFI, O. R. R.; BARBOSA, M. C.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I. Influência da temperatura na cinética de secagem da banana verde. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais... Ilhéus: CBPFH. CD-ROM**

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 11, p. 64-73, 2009.

GONZALEZ-PALOMARES, S., ESTARRÓN-ESPINOSA, M., GÓMEZ-LEYVA, J.F., ANDRADE- GONZÁLEZ, I. Effect of the temperature on the spray drying of Roselle extracts (*Hibiscus sabdariffa* L.). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 64, n. 1, p. 62–67, 2009.

GORDON, A.; CRUZ, A. P. G.; CABRAL, L. M. C.; FREITAS, S. C.; TAXI, C. M. A. D.; DONANGELO, C. M.; MATTIETTO, R. A.; FRIEDRICH, M.; MATTA, V. M.; MARX, F. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, v. 133, n. 2, p. 256–263, 2012.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate Innovative. **Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 2, p. 342–351, 2010.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 25–34, 2005.

GOYAL, R. K.; KINGSLY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 1, p. 43–49, 2006.

GRANJEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CAVALCANTE MATA, M. E. R. M. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 219-224, 2007.

GRIZOTTO, R. K.; AGUIRRE, J. M.; MENEZES, H. C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 691-697, 2005.

GUIMARÃES, M. M.; SILVA, M. S. Valor nutricional e características químicas e físicas de frutos de murici-passa (*Byrsonima verbascifolia*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 817-821, 2008.

GUIMARÃES, P. V. R. **Secagem de café: uma revisão**. 2010. 45 f. Monografia (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKIB, M. R.; VIDALC, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole aracá pulp (*Psidium cattleianum* sabine). **Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 427–431, 2006.

HEVIA, F.; VENEGAS, A.; WILCKENS, R.; ARAYA, F.; TAPIA, M. Murtilla (*Ugni molinae* Turcz). III. Algunas características del fruto colectado en Chile. **Agro-Ciências**, v. 9, n. 1, p. 63-66, 1993.

HOFFMANN, F. L. Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**. n. 9, 2001.

HONORATO HONORATO G. C.; OLIVEIRA, E. L.; MAGALHÃES, M. M. A. GASPARETO, O. C. P. Importância do pré-tratamento na secagem de rejeito de camarão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBCTA, 2002. CD-Rom.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; ALDRED, P.; GHANDI, A. Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 3, p. 266–277, 2009.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservations**, v. 35, n. 4, p. 488-495, 2011.

KADAM, D.M.; RAI, D. R.; PATIL, R.T.; WILSON, R. A.; KAUR, S.; KUMAR, R. Quality of fresh and stored foam mat dried mandarin powder. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 4, p. 793-799, 2011.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 1626–1632, 2010.

KADAM, D. M.; WILSON R. A.; KAUR V.; CHADHA, S.; KAUSHIK, P.; KAUR, S.; PATIL, R. T.; RAI, D. R. Physicochemical and microbial quality evaluation of foam-mat-dried pineapple powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 8, p. 1654–1659, 2012.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência do tamanho da gota e do teor de água final no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 29-36, 2010.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 1-8, 2008.

KARA, S.; ERCELEBI, E. A. Thermal degradation kinetics of anthocyanins and visual colour of Urmu mulberry (*Morus nigra* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 541–547, 2013.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée: stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KAYA, A.; KO, S.; GUNASEKARAN, S. Viscosity and Color Change During In Situ Solidification of Grape Pekmez. **Food Bioprocess Technol**, v. 4, n. 2, p. 241–246, 2011.

KECHINSKI, C. P.; SCHUMACHER, A. B.; MARCZAK, L. D.F.; TESSARO, I. C.; CARDOZO, N. S. M. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 3, p. 299-306, 2011.

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, n. 3, p. 385–392, 2010.

KIRCA, A.; ÖZKAN, M.; CEMEROĞLU, B. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 212–218, 2007.

KIRCHHOF, S. C.; CRIZEL, G. R.; MENDONÇA, C. R. B. A Influência da água na conservação dos alimentos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO. 17., 10., 2008, Pelotas, **Anais...** Pelotas: CIC, ENPOS. CD-ROM.

KNANI, S.; KHALFAOUI, M.; HACHICHA, M. A.; BEN LAMINE, A.; MATHLOUTHI, M. Modelling of water vapour adsorption on foods products by a statistical physics treatment using the grand canonical ensemble. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1686–1692, 2012.

KNIGHT, P.C. Structuring agglomerated products for improved performance. **Powder Technology**, v. 119, n. 1, p. 14–25, 2001.

KOKINI, J.; AKEN, G. V. Discussion session on food emulsions and foams. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 438-445, 2006.

KOWALSKA, J.; LENART, A. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 155-161, 2005.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian Biosystem Engineering**, n. 48, p. 27–32, 2006.

LAGO, E. S.; GOMES, E.; SILVA, R. Produção de geléia de jambolão (*syzygium cumini* lamarck): processamento, parâmetros físico – químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 847-852, 2006.

LANCHA, J. P.; GERMER, S. P. M.; DALLA DEA, R. C.; FERRARI, C. C.; ALVIM, I. D. Desidratação de polpa de pitanga e jaboticaba em *spray dryer*: condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 6., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: CIIC.Internet

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L.; AMARAL, R. L. Formulação de “chocolate” de cupuaçu e reologia do produto líquido. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 38, n. 4, p. 463-469, 2002.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.

LEGRAND, C. D.; KLEIN, R. M. Conspecto geral das Mirtáceas. Índice. In: REITZ, P. R. **Flora ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, p. 731-876, 1978.

LEÓN-MARTÍNEZ, F. M.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 4, p. 864–870, 2010.

LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LIMA, E. E.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 17-28, 2007 .

LISBÔA, C. G. C. **Armazenamento de figo-da-índia em pó sob atmosfera controlada**. 2010, 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p. 216–221, 2012.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture isotherm equations. 1: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel–Wissenschaft und Technologie**, v, 18, n. 2, p. 111–117, 1985.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. Nova Odessa : Plantarum, 1998. 244 p.

LOUREIRO, M. N. **Desidratação da polpa de buriti e armazenamento do produto seco**. 2006, 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

MACEIRAS, R.; ÁLVAREZ, E.; CANCELA, M. A. Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 763–769, 2007.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-india. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. Especial, p. 345-354, 2011.

MARCHAL, L. M.; BEEFTINK, H. H.; TRAMPER, J. Towards a rational design of commercial maltodextrins. **Trends in Food Science and Technology**, v.10, n. 11, p. 345–355, 1999.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: myrtales**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997. 304p.

MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C. FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 451–457, 2007.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009, 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

MARTINS, C. P. C.; LIMA, E. C. S.; SABAA-SRUR, A. U. O. Caracterização da polpa de graviola (*annona muricata l.*) *in-natura* e liofilizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD-ROM

MASSOLI, M. R.; BRANCO, I. G.; ALCÂNTARA, L. M. Cinética de secagem da polpa de (*syzygium cumini*) pelo método de secagem em camada de espuma (foam-mat drying). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba**. 2007.165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. C. S. Isotermas de sorção de produtos de cacau e cupuaçu. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 4, p. 402-406, 2006.

MELO, J. C. S.; FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, W. C.; MEDEIROS, J. Caracterização da formulação em pó composta por polpa de umbu-cajá e leite de cabra seca em camada de espuma. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. 3., 2011a, Recife. **Anais...** Recife. CD.

MELO, J. C. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Moisture adsorption isotherms of spray dried mixture of goat milk with umbu-cajá pulp and maltodextrin. In. INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu - PR, 2008a. CD.

MELO, K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru**. 2008, 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MELO, K. S. **Secagem por aspersão da polpa de atemóia**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Comportamento reológico da polpa de buriti com leite. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 197-206, 2008b.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T, K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.

MELO, W. S.; PENA, R. S.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Comportamento higroscópico do buriti (*Mauritia flexuosa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 935-940, 2011b.

MIRANDA, V. A. M.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Viscosidade aparente de polpas de graviola com diferentes concentrações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. Especial, p. 363-374, 2011.

MISHIRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce Palmaria palmata powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1996.

MONTENEGRO, G. *Ugni molinae* Turcz - Chile nuestra flora útil - Guía de uso apícola, medicinal folclórica, artesanal y ornamental. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile. 2 ed. p. 241–242, 2002.

MORAES, J. O.; PERTUZATTI, P. B.; CORRÊA, F. V.; SALAS-MELLADO, M. L. M. Estudo do mirtilo (*vaccinium ashei* reade) no processamento de produtos alimentícios. **Ciência Tecnologia Alimentar**, v. 27, n. sup., p. 18-22, 2007.

MOREIRA, G. E. G.; COSTA, M. G. M.; SOUZA, A. C. R.; BRITO, E. S.; MEDEIROS, M. F. D.; AZEREDO, H. M. C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 641–645, 2009.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, É. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, 2013.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 201–206, 2012.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 1, p. 72–78, 2010.

MRAD, N. D.; BONAZZI, C.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOU, N.; COURTOIS, F. Influence of sugar composition on water sorption isotherms and on glass transition in apricots. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 403-411, 2012.

MUÑOZ VERA, J. C. **Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (*Ugni molinae Turcz*), en función de la temperatura.** 2002. 90 f. Tesis (Licenciado en Ingeniería en Alimentos) - Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2002.

MUÑOZ, J.; RINCÓN, F.; ALFARO, M. C.; ZAPATA, I.; FUENTE, J. L.; BELTRÁN, O.; PINTO, G. L. Rheological properties and surface tension of Acacia tortuosa gum exudate aqueous dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 70, n. 2, p. 198–205, 2007.

NADEEM, H. S.; TORUN, M.; OZDEMIR, F. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1626-1635, 2011.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2112–2119, 2011.

NAVIA, D. P.; AYALA, A. A.; VILLADA, H. S. Isotermas de adsorción de bioplásticos de harina de yuca moldeados por compresión. **Biotecnología en El sector Agropecuario y agroindustrial**, v. 9, n. 1, p. 77-87, 2011.

NINDO, C. I.; TANGA, J.; POWERSB, J. R.; TAKHARC, P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 292–299, 2007.

NOSHAD, M.; MOHEBBI, M.; SHAHIDI, F.; MORTAZAV, S. A. Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 266–274, 2012.

NREL - National Renewable Energy laboratory Chemical Analysis and Testing Task Laboratory Analytical Procedure HPLC LAP-014 Dilute Acid Hydrolysis Procedure for Determination of Total Sugars in the Liquid Fraction of Process Samples, 2008.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 471–479, 2009.

OI, R. K.; TAMBOURGI, E. B.; MORAES, R. D. Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em spray dryer rotativo. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2010.

OLIVEIRA, A. R. G.; BORGES, S. V.; FARIA, R. K.; ENDO, E.; GREGORIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis* ) e abacaxi (*ananas comosus* ) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 251-256, 2007.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA FILHO, U. C. **Desenvolvimento de um secador “spray” para obtenção de pós finos de precursores de nióbio**. 2007, 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OLIVEIRA, M. A. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. 2008, 63 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D.; ROSSI, R. M. Aplicação da metodologia bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2009.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 342-348, 2011.

OSORIO, C.; FORERO, D.P.; CARRIAZO, J.G. Characterization and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray drying. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1174–1181, 2011.

OHATA, S. M.; VIOTTO, L. A. Comportamento reológico de constituintes do ovo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 1, p. 10-18, 2011.

OUCHEMOUKH, S.; SCHWEITZER, P.; BEY, M. B.; DJOUDAD-KADJI, H.; LOUAILECHE, H. HPLC sugar profiles of Algerian honeys. **Food Chemistry**, v. 121, v. 2, p. 561–568, 2010.

PAGLARINI, C. S.; PINTO, E. G.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; LEITE, A. L. M. P. Análise físico-química e comportamento reológico da polpa de bacupari (*Rheedia gardneriana* Tr. & Planch.). **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14; p. 1821-1829, 2012.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; O'DONNELL, C.; TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 1, p. 3-11, 2010.

PAVAN, M.A., SCHMIDT, S.J., FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius). juice. **Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

PENA, R.; RIBEIRO, C.; GRANDI, J. G. Calor de adsorção de umidade do pó de guaraná (*Paullinia cupana*) obtido em “spray dryer”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 16, n. 2, p. 111-115, 1996.

PENG, Z., LI, J.; GUAN, Y.; ZHAO, G. Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. **Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 348-355, 2013.

PEREIRA, J. M. A. T. K.; OLIVEIRA, K. A. M.; SOARES, N. F. F.; GONÇALVES, M. P. J. C.; PINTO, C. L. O.; FONTES, E. A. F. Avaliação da qualidade físico-química, microbiológica e microscópica de polpas de frutas congeladas comercializadas na cidade de Viçosa-MG. **Alimentos e Nutrição - Brazilian Journal of Food Nutrition**, v. 17, n. 4, p. 437-442, 2006.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PERUSSELO, C. A. **Estudos dos parâmetros de processo e modelagem numérica da secagem do resíduo sólido da produção do extrato hidrossolúvel de soja (okara)**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

PIERUCCI, A. P.; ANDRADE, L. R.; FARINA, M.; PEDROSA, C.; ROCHA-LEHAO, M. H. M. Comparison of a-tocopherol microparticles produced with different wall materials: pea protein a new interesting alternative. **Journal of Microencapsulation**, v. 24, n. 3, p. 201–213, 2007.

PINELA, J.; BARROS, L.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 3-4, p. 829–834, 2012.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leite de espuma**. 2009, 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spraydried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

RAHARITSIFA, N.; RATTI, C. **FOAM-MAT** Freeze-drying of apple juice part 1: experimental data and ann simulations. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, n. s1, p. 268–283, 2010

RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, Boca Raton FL. 1995.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007.

RÉ, M. I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v. 16, n. 6, p. 1195–1236, 1998.

REGO, S. S. **Germinação, morfologia e sanidade de sementes de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg e *Myrceugenia gertii* Landrum – Myrtaceae**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

RHA, C. Theories and principles of viscosity. In: RHA, C. **Theory: determination and control of physical properties of food materials**. Dordrecht, The Netherlands: Reidel, 1975. p. 7–249.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **Journal of Food Properties**, v. 8, n. 2, p. 337–346, 2005.

RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*). **Ambiência Guarapuava**, v. 6, n. 1 p. 25-36, 2010.

RINCÓN, F.; MUÑOZ, J.; PINTO, G. L.; ALFARO, M. C.; CALERO, N. Rheological properties of Cedrela odorata gum exudate aqueous dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 3, p. 1031–1037, 2009.

ROCHA, F. I. G. **Avaliação da cor e da atividade antioxidante da polpa e extrato de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) em pó.** 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado Tecnologia de alimentos)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RONCHETI, E. F. S.; JUNQUEIRA, M. S.; SARAIVA, S. H.; PIZZANI, L. A.; RUSCIOLELLI, L. B. Cinética e modelagem da secagem de cenoura (*Daucuscarota*) em leite espuma em secador de bandejas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD-ROM

RONCHETI, E. F. S.; KOBI, H. B.; PAULA, R. R.; MARTINS, M. C.; JUNQUEIRA, M. S. Descrição por modelos matemáticos da cinética de secagem de morangos desidratados em leite de espuma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD-ROM

ROSSO, V. V.; HILLEBRAND, S.; MONTILLA, E. C.; BOBBIO, F. O.; WINTERHALTER, P.; MERCADANTE, A. Z. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC–PDA–MS/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 4, p. 291–299, 2008.

ROUSTAPOUR, O. R.; HOSSEINALIPOUR, M.; GHOBADIAN, B.; MOHAGHEGH, F.; AZAD, N. M. A proposed numerical–experimental method for drying kinetics in a spray dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 1, p. 20–26, 2009.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S.; FILHO, J. M. Bioactive compounds and oxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**. v. 121. n. 4, p. 996-1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SILVEIRA, M. R. S.; MOURA, C. F. H. Quality for fresh consumption and processing of some non-traditional tropical fruits from Brazil. **Fruits**, v. 64, n. 6, p. 361–370, 2009.

SABLANI, S. S.; KASAPIS, S.; RAHMAN, M. S. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 266-271, 2007.

SADEGHI, A.; SHAHIDI, F.; MORTAZAVI, S. A.; MAHALATI, M. N. Evaluation of different parameters effect on maltodextrin production by – amylase Termamyl 2-x. **World Appliance Sciences Journal**, v. 3, n. 1, p. 34–39, 2008.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SAHIN-NADEEM, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A.; ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SANCHO, S. O.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RODRIGUES, S.; SOUSA, P. H. M. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 878-882, 2007.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, n. 5, p. 517–525, 2004.

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.

SANTIAGO, V. M. S.; MOURA, R. L.; SOUSA, S. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação da qualidade do mix de polpa de mamão com cenoura em pó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD.

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; ZHU, P.; BLANCHARD, E.; JEANTET, R. Drying by desorption: a tool to determine spray drying parameters. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 199–204, 2009.

SHAHIDI, F.; HAN, X.-Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501–547, 1993.

SENGÜL, M.; ERTUGAY, M. F.; SENGÜL, M. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. **Food Control**, v. 16, n. 1, p. 73–76, 2005.

SHAMSUDIN, R.; LING, C. S.; ADZAHAN, N. M.; DAUD, W. R. W. Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 548–553, 2013.

SHRESTHA, A.; HOWES, T.; ADHIKARI, B.; BHANDARI, B. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. **Food Science and Technology**, v.40, n. 9, p. 1-8, 2006.

SHRESTHA, A. K.; UA-ARAK, T.; ADHIKARI, B. P.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). **Journal of Food Properties**, v.10, n. 3, p. 661–673, 2007.

SILVA, A. E.; SILVA, L. H. M.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 895-901, 2008a.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899–1905, 2008b.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.

SILVA FILHO, E. D. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga CV. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma.** 2012. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina grande, 2012.

SILVA JÚNIOR, M. C. **100 árvores do cerrado: guia de campo.** Brasília, DF: Rede de sementes do Cerrado. 2005. 278 p.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; HOLANDA, D. K. R.; VIEIRA, N. M. Ajuste dos parâmetros reológicos de polpas de acerola, caju e manga em função da temperatura: modelos de ostwald-de-waelle, herschel-bulkley e casson. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 37-49, 2012.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

SILVA, P. T.; FIALHO, E.; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Sucos de laranja industrializados e preparados sólidos para refrescos: estabilidade química e físico-química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 597-602, 2005a.

SILVA-WEISS, A.; BIFANI, V.; IHL, M.; SOBRAL, P. J. A.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Structural properties of films and rheology of film-forming solutions based on chitosan and chitosan-starch blend enriched with murta leaf extract. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 458-466, 2013.

SINGH, R.P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to Food Engineering.** 2 ed. San Diego: Academic Press, 1993. p. 139–141.

SINIJA, V. R.; MISHRA, H. N. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 494–500, 2008.

SKREDE, G. et al. Color stability of strawberry and blackcurrant syrups. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 172-177, 1992.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JUNIOR, A.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOARES, E. C.; PINTO, E. G; CHAVES, M. A. Secagem da polpa de araçá-boi em leito de espuma (*foam-mat*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD-ROM

SOLVAL, K. M.; SUNDARARAJAN, S.; ALFARO, L.; SATHIVEL, S. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. **Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 287-293, 2012.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.

SOUSA, J. R.; ARÉVALO-PINEDO, A.; SANTANA, A. A.; REGO, G. A., MACIEL, V, B. V; CARVALHO, K. M. Avaliação da cinética de secagem da farinha babaçu in natura e adoçada. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTA DE ALIMENTOS, 15., Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: ENAAL, 2007. CD-ROM

SOUSA, P. H. M; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.

SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 291-294, 2009.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Ciência Agrotécnica**, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, 2005.

SOUZA, V. C.; BARRETO, I. M. A.; SOUZA, B. S.; CHAVES, M. A. Utilização do emustab<sup>®</sup> na obtenção de espuma de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) visando a desidratação por foam-mat drying. **Higiene Alimentar**, v. 25, n. 194-195, p. 1403-1404, 2011.

STEFANELLO, M. E. A.; PASCOAL, A. C. R. F.; SALVADOR, M. J. Essential Oils from Neotropical Myrtaceae: Chemical Diversity and Biological Properties. **Chemistry & Biodiversity**, v. 8, n. 1, p. 73-94, 2011.

STENCL, J. Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 65, n. 1-2, p. 157-164, 2004.

SUN, J.; YAO, J.; HUANG, S.; LONG, X.; WANG, J.; GARCIA-GARCIA, E. Antioxidant activity of polyphenol and anthocyanin extracts from fruits of *Kadsura coccinea* (Lem.) A.C. Smith. **Food Chemistry**, v. 117, n. 2, p. 276-281, 2009.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 3, p. 460-467, 2009.

SZULC, K.; LENART, A. Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 135-141, 2012.

TABOADA, E.; FISHER, P.; JARA, R.; ZUNIGA, E.; GIDEKEL, M.; CABRERA, J. C.; PEREIRA, EDUARDO.; GUTIERREZ-MORAGA, A.; VILLALONGA, R.; CABRERA, G. Isolation and characterisation of pectic substances from murta (*Ugni molinae* Turcz). Fruits. **Food Chemistry**, v. 123, n. 3, p. 669–678, 2010.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 573–583, 2008.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 348-357, 2012.

TONELI, J. T. C. L. **Processos de separação física e secagem de inulina obtida a partir de raízes de chicória (*Cichorium intybus* L.)**. 2006, 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

TONON, R.V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TONON, R. V.; ALEXANDRE, D.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. Steady and dynamic shear rheological properties of açaí pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 425–431, 2009.

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009.

TURCHIULI, C.; ELOUALIA, Z.; MANSOURI, N. E.; DUMOULIN, E. Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. **Powder Technology**, v. 157, n. 1-3, p. 168–175, 2005.

UCHOA, A. M. A.; COSTA, J. M. C.; MAIA, G. A.; SILVA, E. M. C.; CARVALHO, A. F. F. U.; MEIRA, T. R. Parâmetros Físico-Químicos, Teor de Fibra Bruta e Alimentar de Pós Alimentícios Obtidos de Resíduos de Frutas Tropicais. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2008.

URIBE, E.; VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; OYANADEL, R.; TORRICO, J.S.; MIRANDA, M. Characteristics of Convective Drying of Pepino Fruit (*Solanum muricatum* Ait.): Application of Weibull Distribution. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 8, p. 1349-1356, 2011.

VERNON-CARTER, E. J.; ESPINOSA-PAREDESA, G.; BERISTAIN, C. I.; ROMERO-TEHUITZIL, H. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. **Food Research International**, v. 34, n. 7, p. 587–598, 2001.

VANDRESEN, S.; QUADRI, M. G.N.; SOUZA, J. A. R.; HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 269–274, 2009.

VENEGAS, A.; WILCKENS, R.; HEVIA, F.; TAPIA, M.; LANUZA, P. ARRAYA, F. Murta (*Ugni molinae* Turcz). II. Algunas características físicas y químicas del fruto. **Agro Ciencia**, v. 9, n. 1, p. 11-15, 1993.

VENEGAS, A.; WILCKENS, R.; HEVIA, F.; TAPIA, M.; LANUZA, P. ARRAYA, F. Murta (*Ugni molinae* Turcz). IV. Estados fenológicos. **Agro Ciencia**, v.11, n. 1, p. 5-8, 1995.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; MASSON, M. L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciências Agrotecnicas**, v. 30, n. 5, p. 955-960, 2006.

VIGANÓ, J.; AZUARA, E.; TELIS, V. R. N.; BERISTAIN, C. I.; JIMÉNEZ, M.; TELIS-ROMERO, J. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. **Thermochimica Acta**, v. 528, p. 63–71, 2012.

VISHWAKARMA, R. K.; SHIVHARE, U. S.; NANDA, S. K. Moisture adsorption isotherms of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) grain and guar gum splits. **Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 969-975, 2011.

VRIESMANN, L. C.; SILVEIRA, J. L. M.; PETKOWICZ, C. L. O. Chemical and rheological properties of a starch-rich fraction from the pulp of the fruit cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). **Materials Science and Engineering: C**, v. 29, n. 2, p. 651–656, 2009.

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. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 283–291, 2010.

WANG, Y.; ZHAOXIN, L.; FENGXIA, L.; XIAOMEI, B. Study on microencapsulation of curcumin pigments by spray drying. **European Food Research and Technology**, v. 229, n. 3, p. 391–396, 2009.

WANG, W.; XU, S. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 3, p. 271–275, 2007.

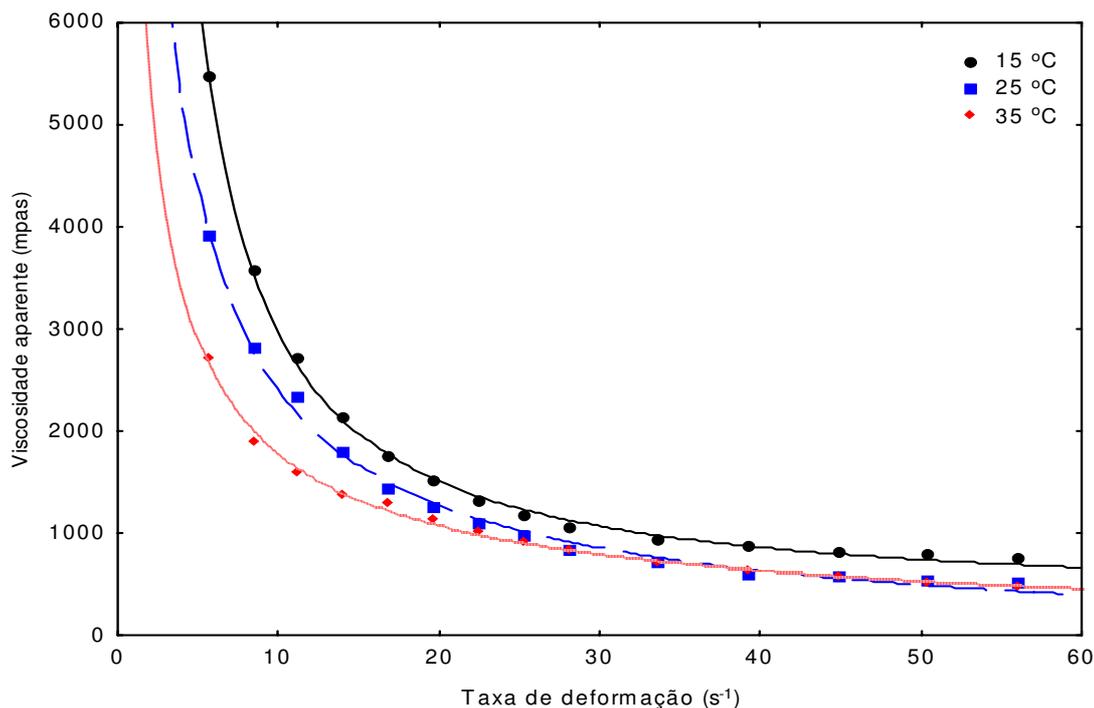
WOO, M. W.; DAUD, W. R. W.; TASIRIN, S. M.; TALIB, M. Z. M. Amorphous particle deposition and product quality under different conditions in a spray dryer. **Particuology**, v. 6, n. 4, p. 265–270, 2008.

**APÊNDICE A**

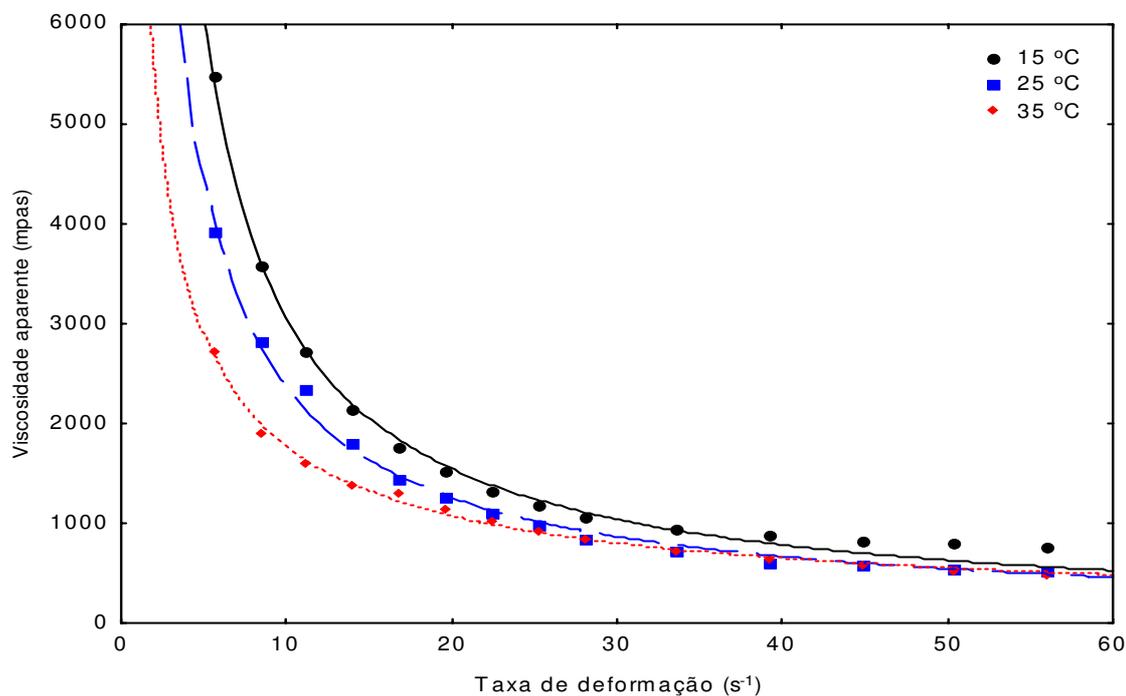
**Tabela A.1** - Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa integral da murta em função da velocidade de rotação (rpm) para diferentes temperaturas

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Velocidade de rotação (F1)</b>	8	924105,61	115513,20	157,0694 **
<b>Temperaturas (F2)</b>	1	7407481,48	7407481,48	10072,34 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	778114,0466	97264,25	132,25 **
<b>Tratamentos</b>	17	9109701,13	535864,77	728,64 **
<b>Resíduos</b>	36	26475,40	735,42	
<b>Total</b>	53	9136176,53		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.



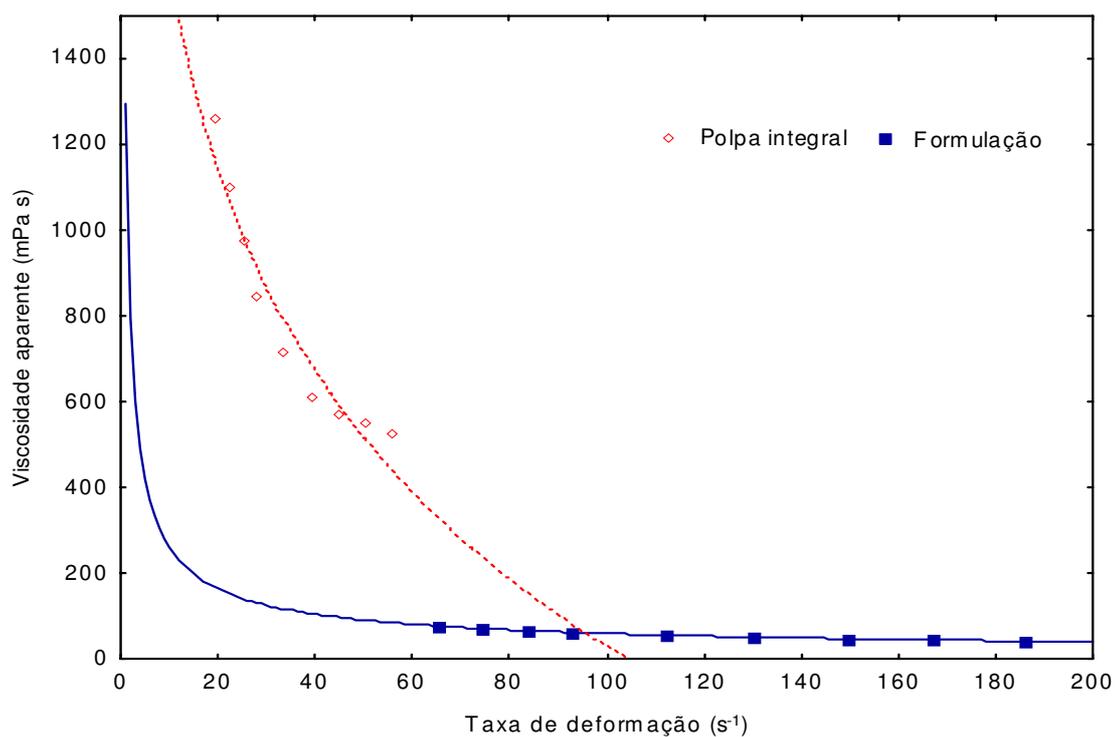
(a) Sisko



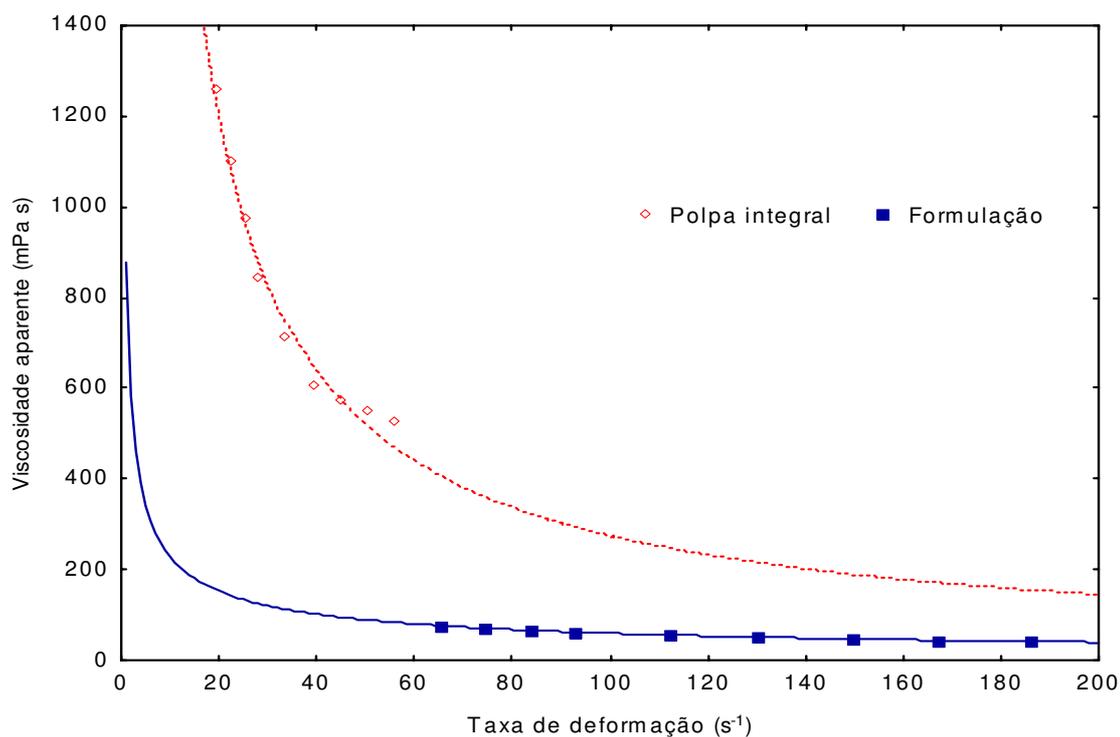
(b) Lei da potência

**Figura A.1**– Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da murta, com ajustes pelo modelos

**APÊNDICE B**

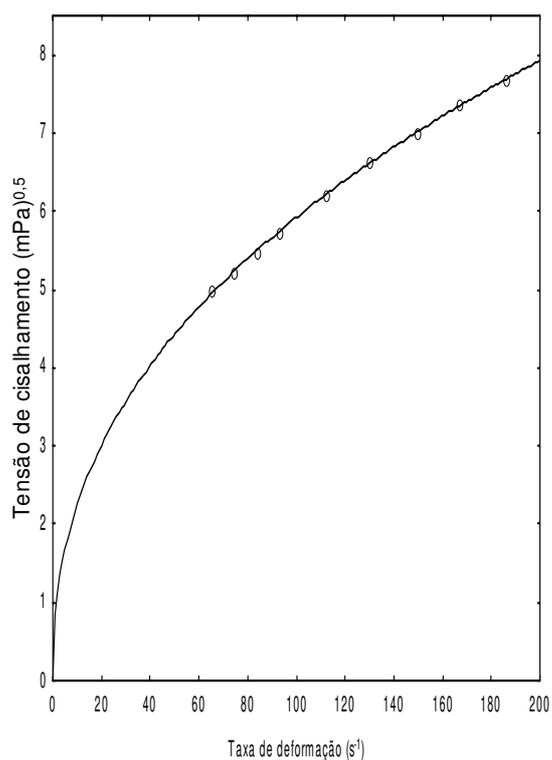


(a) Modelo de Sisko

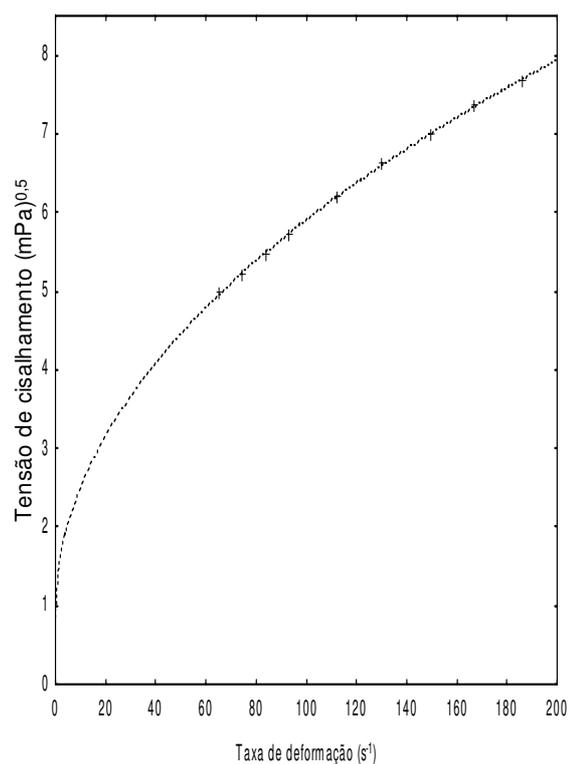


(b) Modelo da Lei da potência

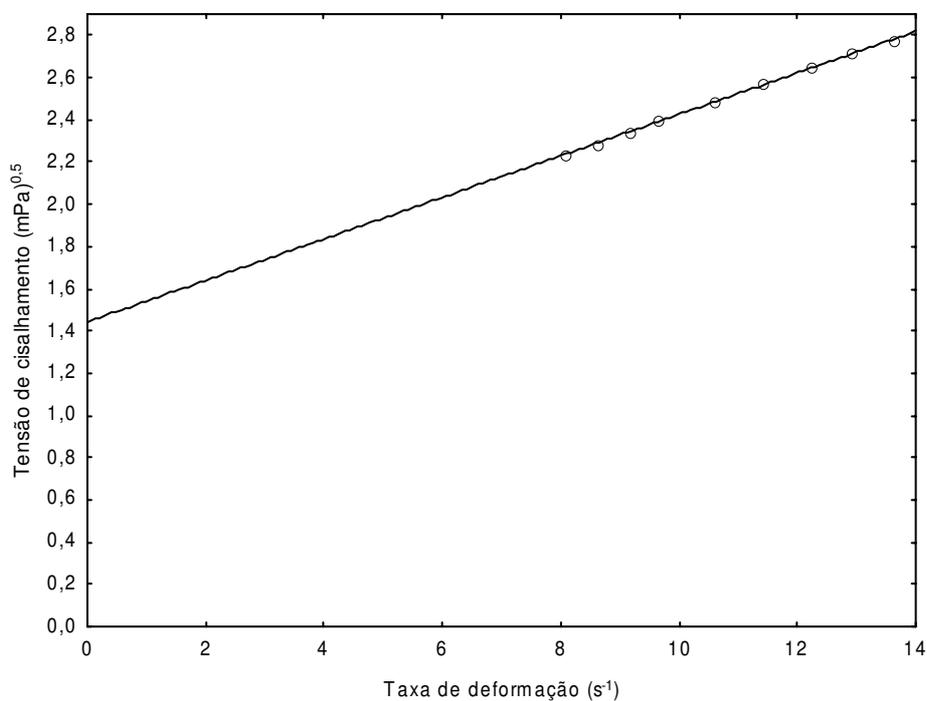
**Figura B.1** – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa integral da murta e a formulação, com ajustes por diferentes modelos



(a) Modelo da Lei da Potência



(b) Modelo de Herschel-Bulkley



(c) Modelo de Casson

**Figura B.2** - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação, na temperatura de 25 °C, com ajustes por diferentes modelos

**APÊNDICE C**

**Tabela C.1** – Análise de variância dos valores médios do teor de água das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	8,54836	4,27418	55,2710 **
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	1,74709	1,74709	22,5923 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	0,91873	0,45936	5,9402 *
<b>Tratamentos</b>	5	11,21418	2,24284	29,0030 **
<b>Resíduos</b>	12	0,92798	0,07733	
<b>Total</b>	17	12,14215		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela C.2** – Análise de variância dos valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	0,01263	0,00632	13,0738**
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	0,00598	0,00598	12,3731**
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	0,00080	0,00040	0,8268ns
<b>Tratamentos</b>	5	0,01941	0,00388	8,0349**
<b>Resíduos</b>	12	0,00580	0,00048	
<b>Total</b>	17	0,02520		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns – não significativo.

**Tabela C.3** – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L\*) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Temperatura (F1)</b>	2	40,19081	20,09541	32883,3909 **
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	86,32980	86,32980	141266,95 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	0,89863	0,44932	735,2455 **
<b>Tratamentos</b>	5	127,41924	25,48385	41700,8436 **
<b>Resíduos</b>	12	0,00733	0,00061	
<b>Total</b>	17	127,42658		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.4** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Temperatura (F1)</b>	2	96,59068	48,29534	124188,01 **
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	490,68002	490,68002	1261748,63 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	5,79648	2,89824	7452,6143 **
<b>Tratamentos</b>	5	593,06718	118,61344	305005,98 **
<b>Resíduos</b>	12	0,00467	0,00039	
<b>Total</b>	17	593,07184		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.5** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	29,73090	14,86545	6193,9375 **
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	54,56642	54,56642	22736,0093 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	12,57888	6,28944	2620,5995 **
<b>Tratamentos</b>	5	96,87620	19,37524	8073,0167 **
<b>Resíduos</b>	12	0,02880	0,00240	
<b>Total</b>	17	96,90500		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.6** – Análise de variância dos valores médios da diferença total de cor das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	74,38503	37,19251	4156,5695 **
<b>Local de coleta (F2)</b>	1	441,12024	441,12024	49298,8188 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	5,02451	2,51225	280,7651 **
<b>Tratamentos</b>	5	520,52978	104,10596	11634,6976 **
<b>Resíduos</b>	12	0,10737	0,00895	
<b>Total</b>	17	520,63715		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.7** – Análise de variância dos valores médios da acidez total das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	0,91323	0,45661	642,3591 **
CicloneXCâmara(F2)	1	0,68892	0,68892	969,1603 **
Interação (F1xF2)	2	0,17312	0,08656	121,7702 **
<b>Tratamentos</b>	5	1,77527	0,35505	499,4838 **
<b>Resíduos</b>	12	0,00853	0,00071	
<b>Total</b>	17	1,78380		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.8** – Análise de variância dos valores médios do rendimento das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	6,31750	3,15875	166707953003400 **
Local de coleta (F2)	1	93,57120	93,57120	4,93836587639779E+15**
Interação (F1xF2)	2	1,67490	0,83745	44197728608682 **
<b>Tratamentos</b>	5	101,56360	20,31272	1,07203544792439E+15**
<b>Resíduos</b>	12	0,00000	0,00000	
<b>Total</b>	17	101,56360		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.9** – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	0,26948	0,13474	50,7268 **
<b>Coleta (F2)</b>	1	0,00057	0,00057	0,2145 ns
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	0,01043	0,00522	1,9643 ns
<b>Tratamentos</b>	5	0,28048	0,05610	21,1193 **
<b>Resíduos</b>	12	0,03187	0,00266	
<b>Total</b>	17	0,31236		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns – não significativo.

**Tabela C.10** – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	123,63826	61,81913	34,7973 **
<b>Local de coleta(F2)</b>	1	170,19387	170,19387	95,8003 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	49,52456	24,76228	13,9384 **
<b>Tratamentos</b>	5	343,35670	68,67134	38,6544 **
<b>Resíduos</b>	12	21,31858	1,77655	
<b>Total</b>	17	364,67528		

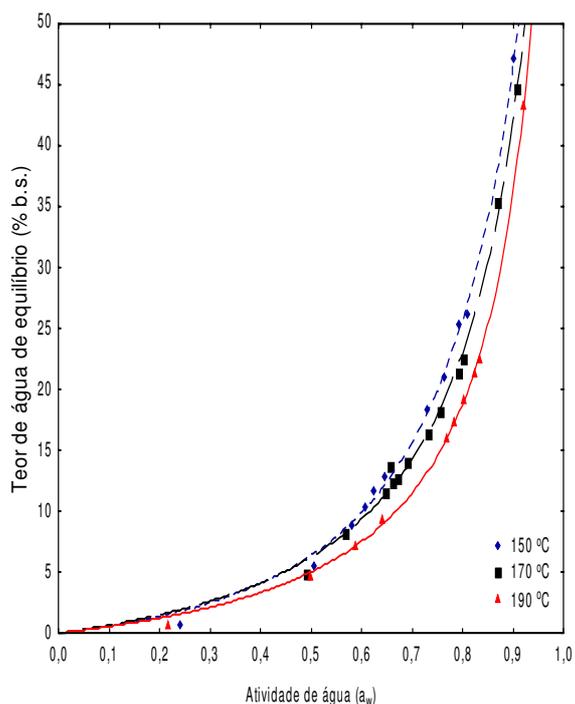
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela C.11** – Análise de variância dos valores médios das antocianinas totais das amostras em pó, em função das diferentes temperaturas e local de coleta

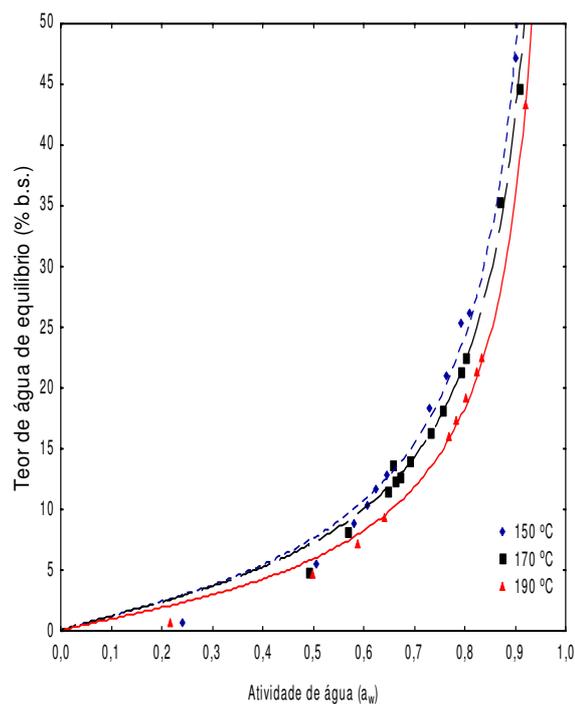
<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	2	23393,09848	11696,54924	64962,7839 **
<b>CicloneXCâmara(F2)</b>	1	17401,69494	17401,69494	96649,2360 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	2	32,36208	16,18104	89,8697 **
<b>Tratamentos</b>	5	40827,15549	8165,43110	45350,9086 **
<b>Resíduos</b>	12	2,16060	0,18005	
<b>Total</b>	17	40829,31609		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

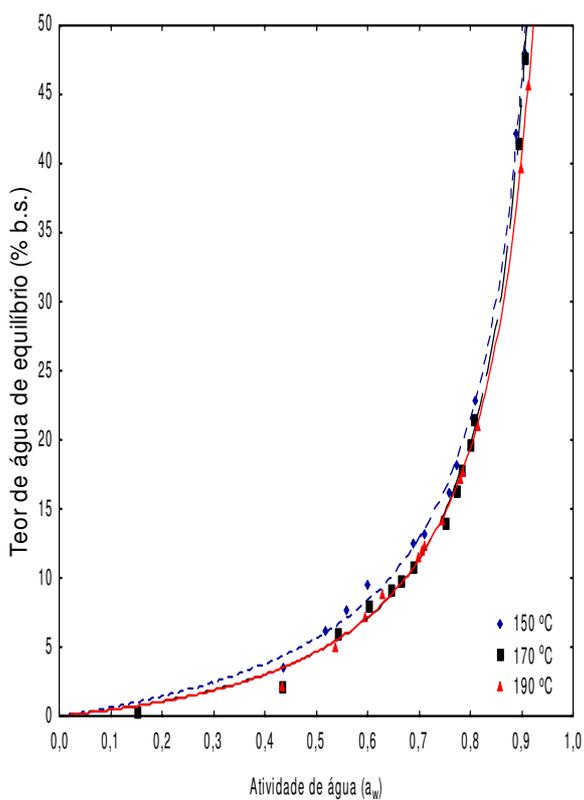
**APÊNDICE D**



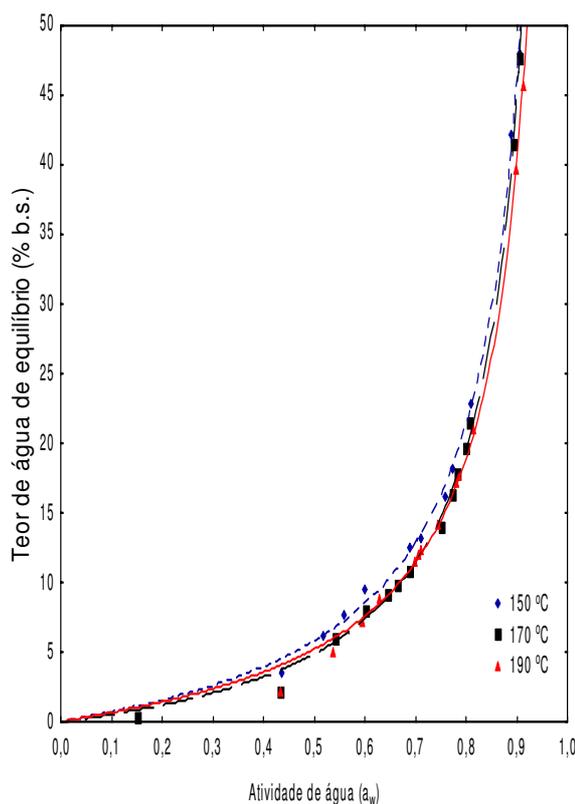
(a) Câmara de secagem – GAB



(b) Câmara de secagem – Oswin



(c) Ciclone – GAB



(d) Ciclone – Oswin

**Figura D.1** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas por secagem por aspersão a partir de diferentes temperaturas de secagem e coletadas na câmara de secagem e no ciclone, com ajustes pelos modelos de GAB e Oswin

**APÊNDICE E**

**Tabela E.1**– Análise de variância dos valores médios da densidade das espumas em função das diferentes formulações e diferentes tempos de batimento

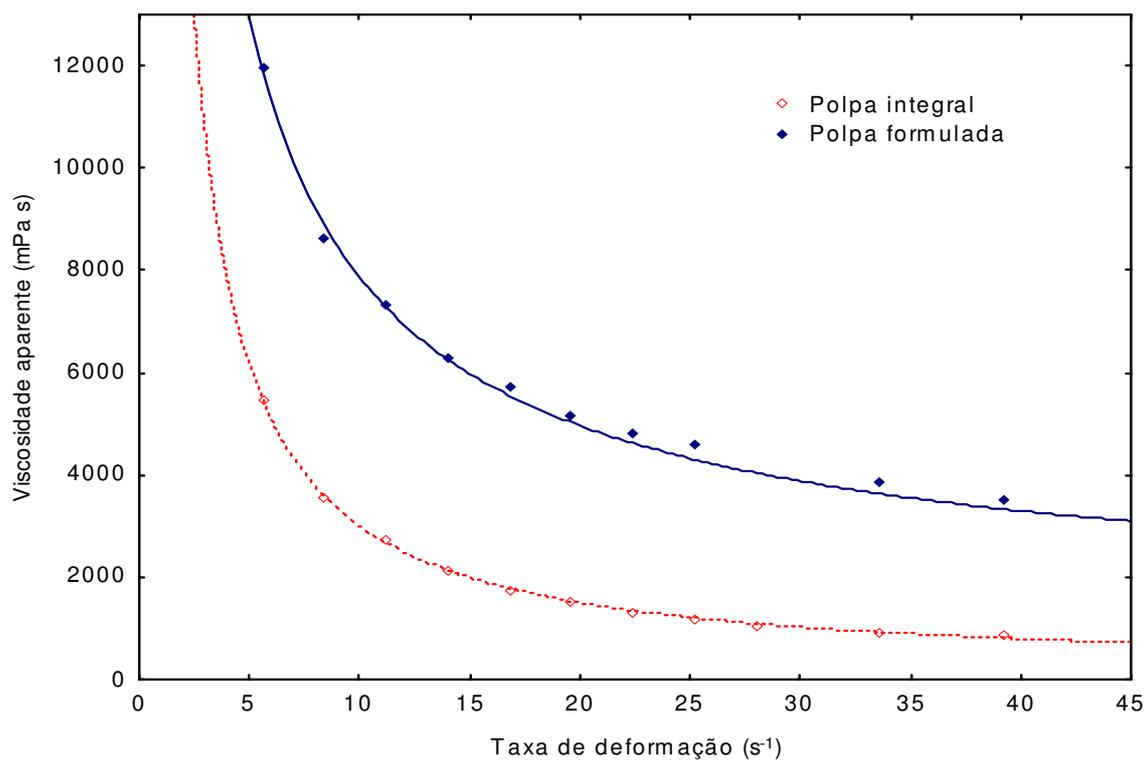
Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Tempo (F1)</b>	3	0,15400	0,05133	1500,8084 **
<b>Formulação (F2)</b>	2	0,07786	0,03893	1138,1084 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	6	0,01164	0,00194	56,7069 **
<b>Tratamentos</b>	11	0,24350	0,02214	647,1712 **
<b>Resíduos</b>	24	0,00082	0,00003	
<b>Total</b>	35	0,24432		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

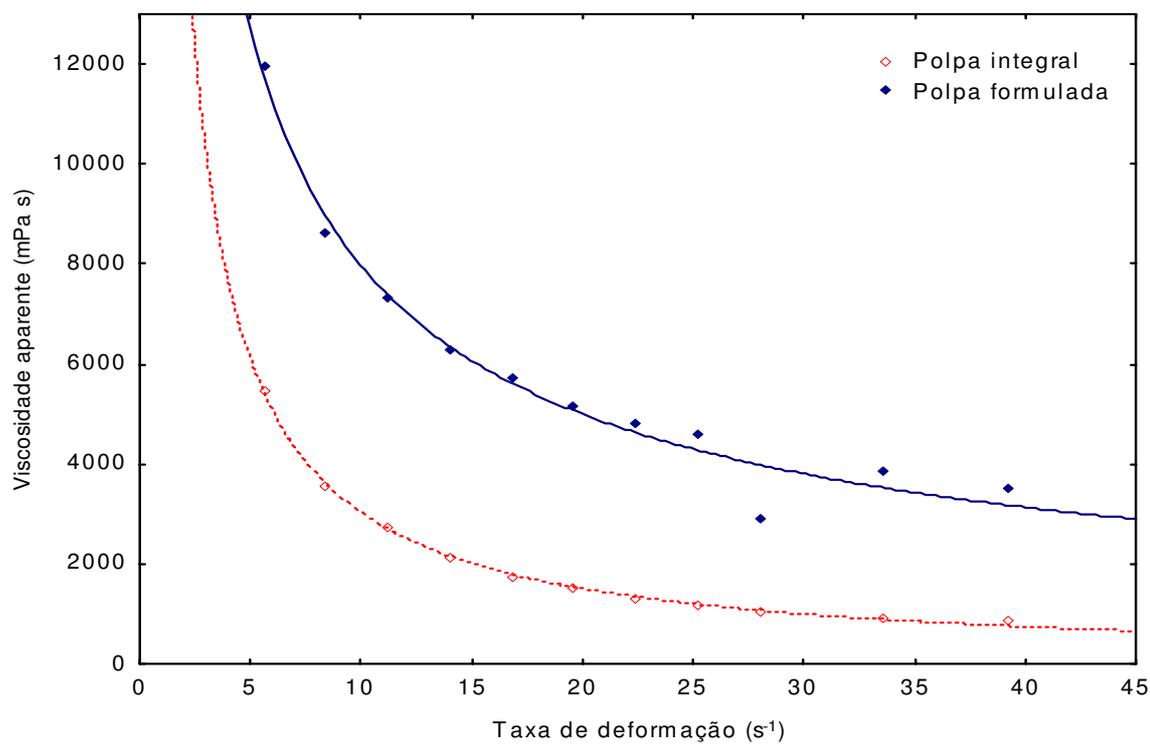
**Tabela E.2** – Análise de variância dos valores de *over-run* em função das diferentes formulações e diferentes tempos de batimento

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Tempo (F1)</b>	3	215081,15228	71693,71742	70389,3634 **
<b>Formulação (F2)</b>	2	118349,42922	59174,71461	58098,1241 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	6	32536,10705	5422,68451	5324,0273 **
<b>Tratamentos</b>	11	365966,68854	33269,69896	32664,4093 **
<b>Resíduos</b>	24	24,44473	1,01853	
<b>Total</b>	35	365991,13327		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

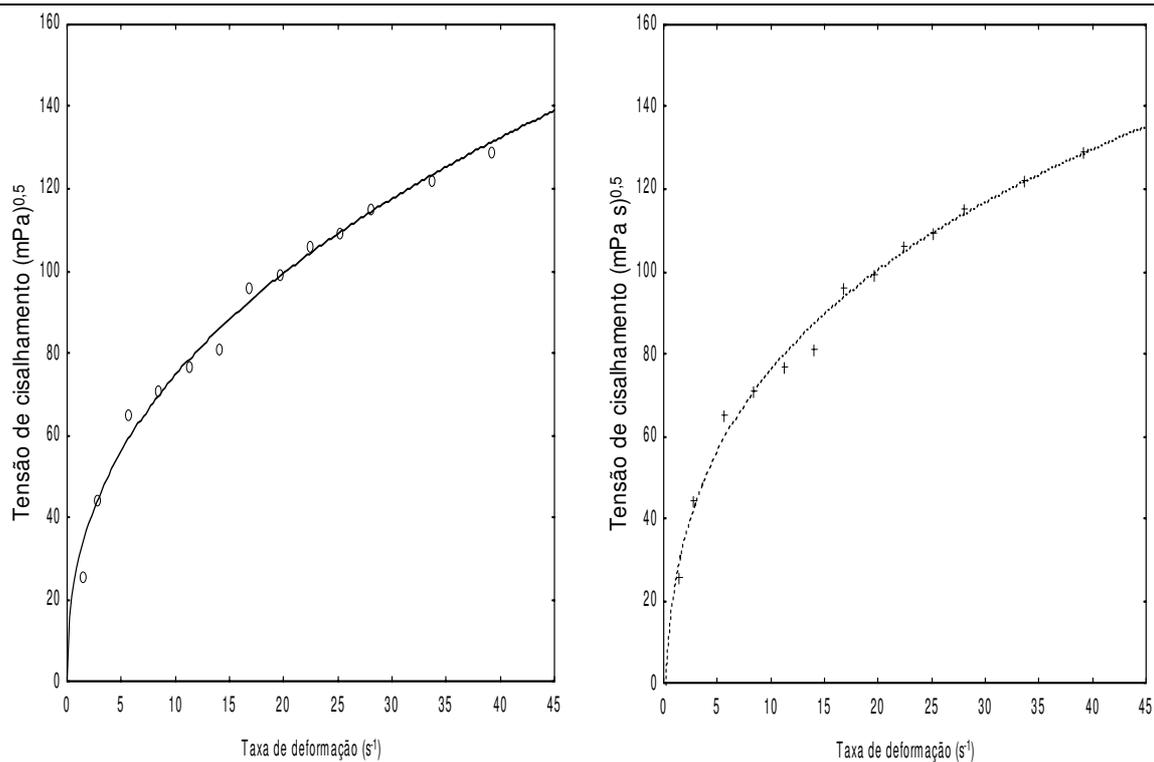


(a) Modelo de Sisko



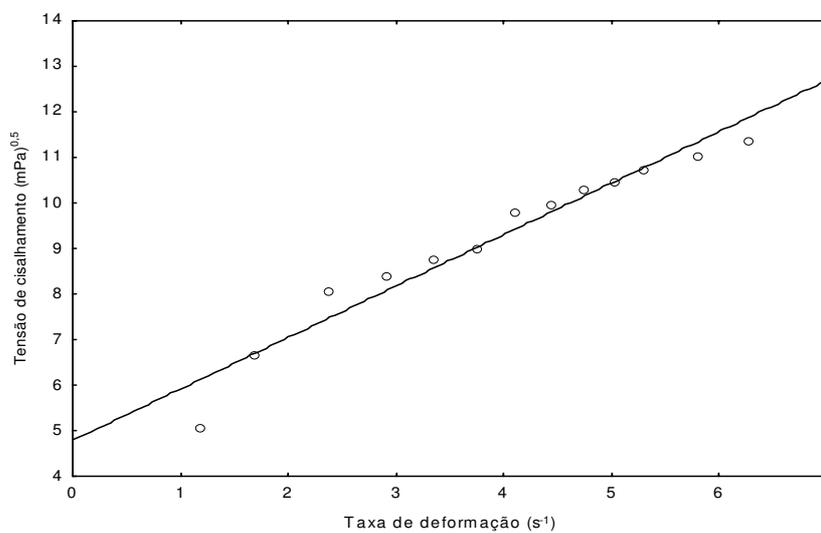
(b) Modelo da Lei da potência

**Figura E.1**– Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação da polpa da integral da murta e a Formulação 1, com ajustes por diferentes modelos



(a) Modelo da Lei da Potência

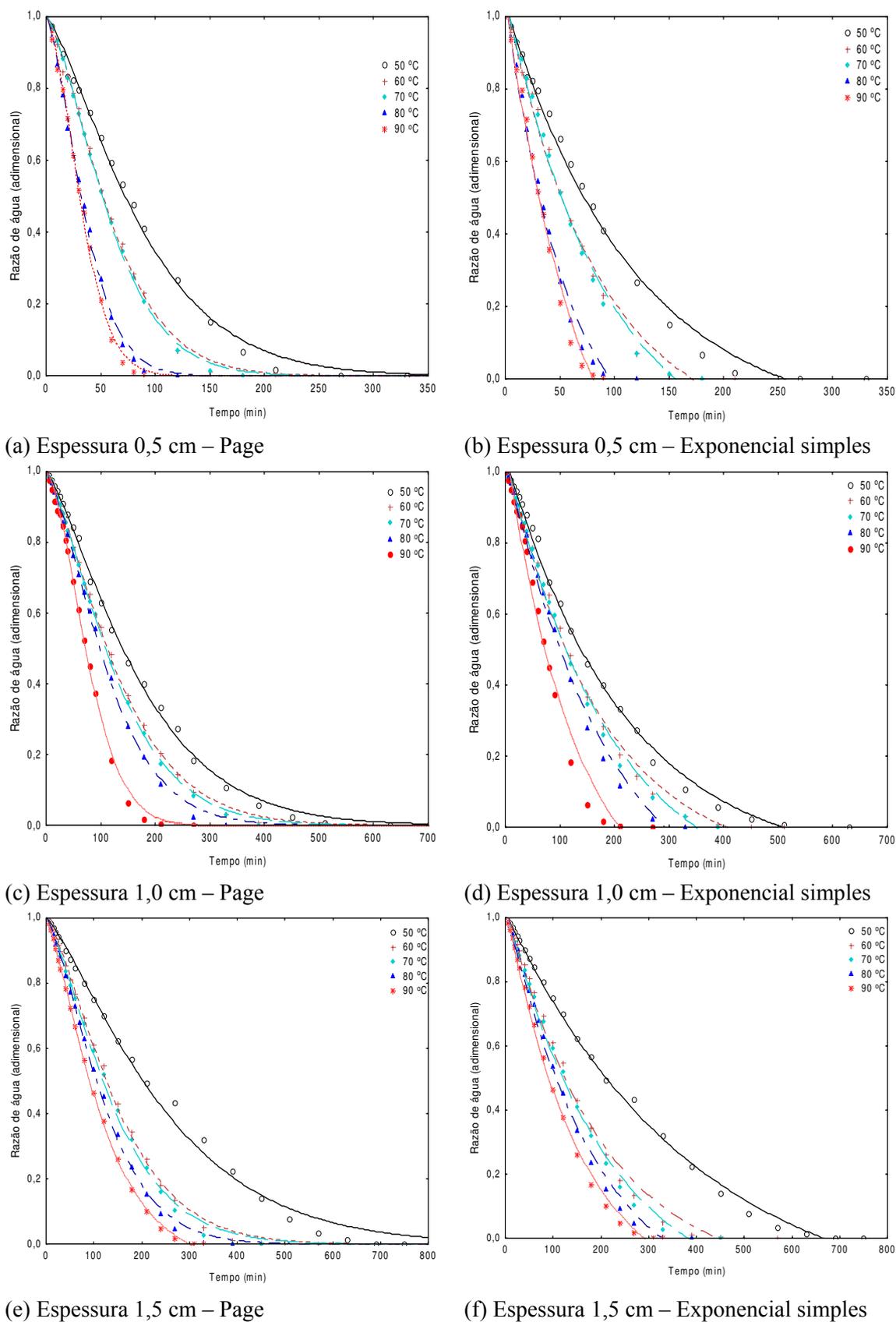
(b) Modelo de Herschel-Bulkley



(c) Modelo de Casson

**Figura E.2** - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da Formulação 1, na temperatura de 15 °C, com ajustes por diferentes modelos

**APÊNDICE F**



**Figura F.1** - Cinética de secagem da Formulação 1 com espessura da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, nas diferentes temperaturas de secagem com ajustes por diferentes modelos

**APÊNDICE G**

**Tabela G.1** – Análise de variância dos valores médios do teor de água do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	4	177,80858	44,45215	633,3031 **
Espessura (F2)	2	74,38341	37,19171	529,8647 **
Interação (F1xF2)	8	9,23601	1,15450	16,4480 **
Tratamentos	14	261,42800	18,67343	266,0375 **
Resíduos	30	2,10573	0,07019	
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>263,53373</b>		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela G.2** – Análise de variância dos valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	4	0,12962	0,03241	44,6673 **
Espessura (F2)	2	0,08071	0,04035	55,6234 **
Interação (F1xF2)	8	0,02236	0,00279	3,8522 **
Tratamentos	14	0,23269	0,01662	22,9095 **
Resíduos	30	0,02176	0,00073	
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>0,25445</b>		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela G.3** – Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L\*) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	4	0,12962	0,03241	44,6673 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	0,08071	0,04035	55,6234 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	0,02236	0,00279	3,8522 **
<b>Tratamentos</b>	14	0,23269	0,01662	22,9095 **
<b>Resíduos</b>	30	0,02176	0,00073	
<b>Total</b>	44	0,25445		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela G.4** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	4	67,29508	16,82377	4291,7781 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	26,84449	13,42225	3424,0425 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	3,60771	0,45096	115,0417 **
<b>Tratamentos</b>	14	97,74728	6,98195	1781,1093 **
<b>Resíduos</b>	30	0,11760	0,00392	
<b>Total</b>	44	97,86488		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo.

**Tabela G.5** – Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Temperatura (F1)</b>	4	10,11202	2,52801	145,0469 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	0,50185	0,25093	14,3972 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	0,28486	0,03561	2,0430 ns
<b>Tratamentos</b>	14	10,89873	0,77848	44,6661 **
<b>Resíduos</b>	30	0,52287	0,01743	
<b>Total</b>	44	11,42160		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo.

**Tabela G.6** – Análise de variância dos valores médios da diferença total de cor do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
<b>Temperatura (F1)</b>	4	36,02179	9,00545	552,4061 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	12,49961	6,24981	383,3715 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	2,63901	0,32988	20,2350 **
<b>Tratamentos</b>	14	51,16041	3,65432	224,1606 **
<b>Resíduos</b>	30	0,48907	0,01630	
<b>Total</b>	44	51,64948		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela G.7** – Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% ac. cítrico) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	4	19,94660	4,98665	886,0816 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	6,43695	3,21847	571,8930 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	0,55568	0,06946	12,3425 **
<b>Tratamentos</b>	14	26,93923	1,92423	341,9180 **
<b>Resíduos</b>	30	0,16883	0,00563	
<b>Total</b>	44	27,10806		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela G.8** – Análise de variância dos valores médios da molhabilidade (g/min) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	4	0,01632	0,00408	294,4199 **
<b>Espessuras (F2)</b>	2	0,00007	0,00003	2,5225 ns
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	0,00023	0,00003	2,0541 ns
<b>Tratamentos</b>	14	0,01662	0,00119	85,6541 **
<b>Resíduos</b>	30	0,00042	0,00001	
<b>Total</b>	44	0,01704		

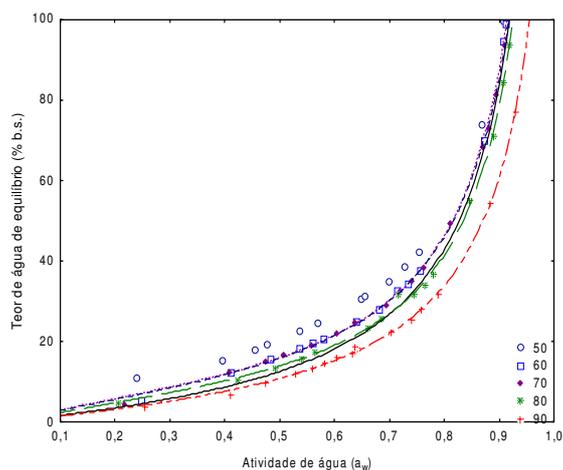
G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo.

**Tabela G.9** – Análise de variância dos valores médios da insolubilidade (%) do pó da murta, em função das temperaturas de secagem e das espessuras das camadas de espuma

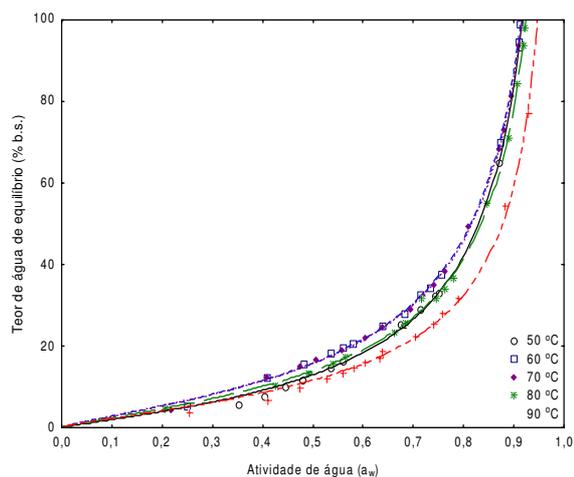
<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Temperatura (F1)</b>	4	67,55994	16,88999	30,7662 **
<b>Espessura (F2)</b>	2	8,91016	4,45508	8,1152 **
<b>Interação (F1xF2)</b>	8	43,73619	5,46702	9,9586 **
<b>Tratamentos</b>	14	120,20630	8,58616	15,6403 **
<b>Resíduos</b>	30	16,46933	0,54898	
<b>Total</b>	44	136,67563		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F – Variável do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

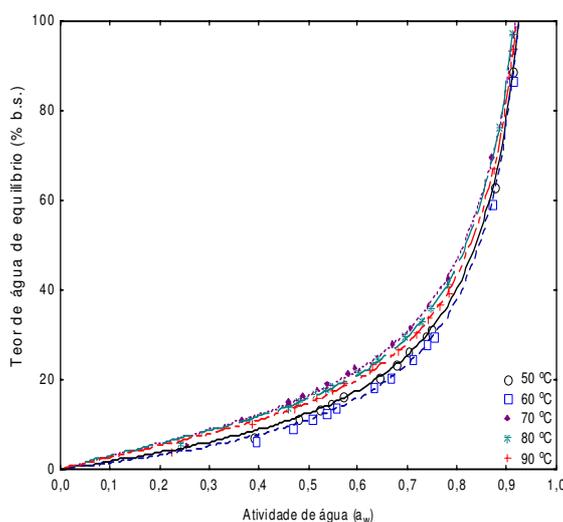
**APÊNDICE H**



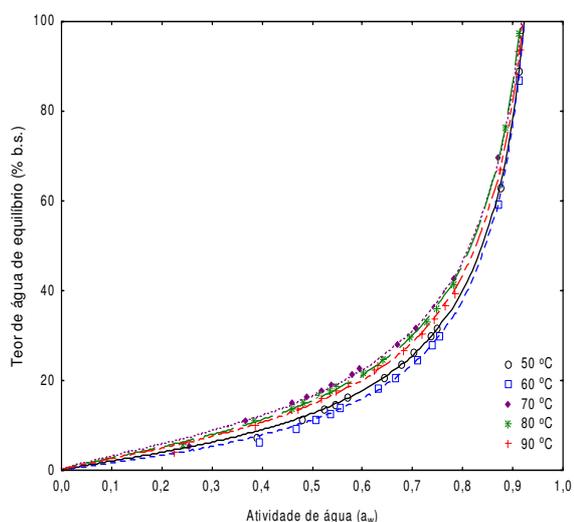
(a) Espessura de 0,5 cm - Modelo GAB



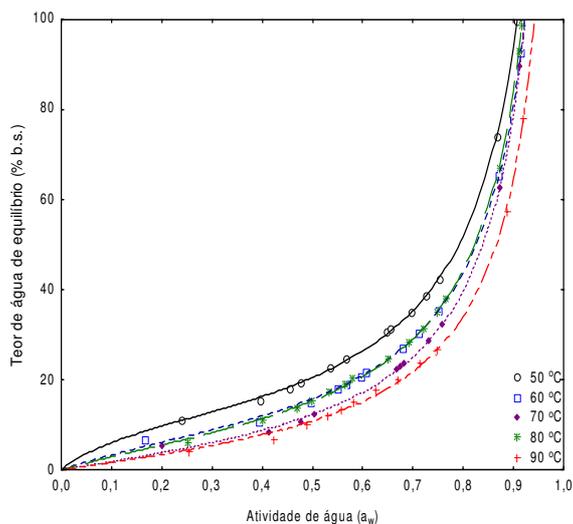
(b) Espessura de 0,5 cm - Modelo Oswin



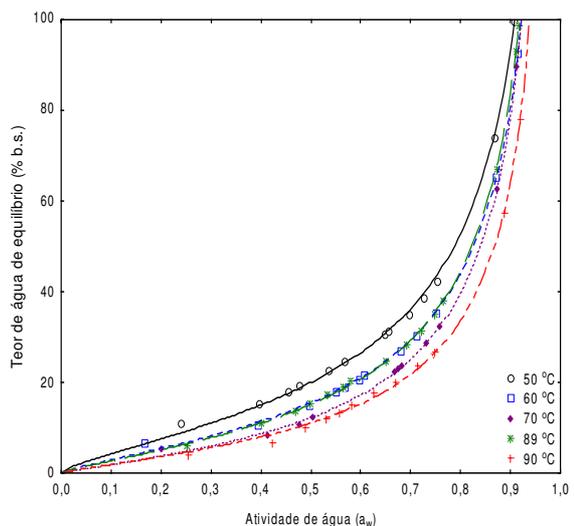
(c) Espessura de 1,0 cm - Modelo GAB



(d) Espessura de 1,0 cm - Modelo Oswin



(e) Espessura 1,5 cm - Modelo GAB



(f) Espessura de 1,5 cm - Modelo Oswin

**Figura H.1**– Isotermas de adsorção de água a 25 °C, das amostras em pó produzidas a partir da Formulação 1, espessura de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, nas temperaturas com ajustes