

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

JULIANNE VIANA FREIRE PORTELA

**ESTUDO DOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS E DE QUALIDADE ENVOLVIDOS  
NO APROVEITAMENTO DA CASCA E DA POLPA DA MELANCIA (*Citrullus  
lanatus* Schrad)**

João Pessoa - PB

2009

JULIANNE VIANA FREIRE PORTELA

**ESTUDO DOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS E DE QUALIDADE ENVOLVIDOS  
NO APROVEITAMENTO DA CASCA E DA POLPA DA MELANCIA (*Citrullus  
lanatus* Schrad)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr Ânoar Abbas El-Aouar

João Pessoa - PB

2009

P843e *Portela, Julianne Viana Freire.*

Estudo dos aspectos tecnológicos e de qualidade envolvidos no aproveitamento da casca e da polpa da melancia (*Citrullus lanatus* Schrad) / Julianne Viana Freire Portela. - - João Pessoa: [s.n], 2009.

130 f.: il.

*Orientador: Ânoar Abbas El-Aouar.*

*Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT.*

*1.Tecnologia de Alimentos. 2. Melancia. 3.Secagem convectiva. 4.Desidratação Osmótica. 5. Difusividade efetiva. 6. Resíduos de frutas.*

UFPB/BC

CDU: 664(043)

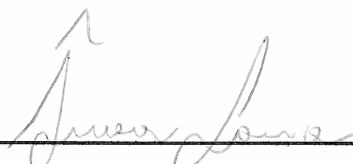
**JULIANNE VIANA FREIRE PORTELA**

**ESTUDO DOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS E DE QUALIDADE ENVOLVIDOS  
NO APROVEITAMENTO DA CASCA E DA POLPA DA MELANCIA (*Citrullus  
lanatus* Schrad)**

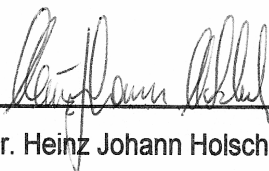
Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia  
de Alimentos do Centro de Tecnologia da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Mestre em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos.

Aprovada pela Banca Examinadora em 22 / 09 / 2009

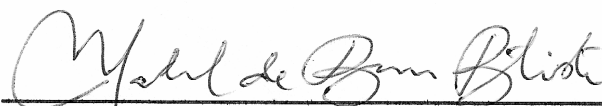
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar (Orientador - UFPB)



Prof. Dr. Heinz Johann Holschuh (Membro Interno - UFPB)



Prof.ª Dr.ª Mabel de Barros Batista (Membro Externo - UFPB)

*À Deus e à minha família os quais me deram força e segurança necessárias para fortalecer a idealização desta etapa.*

*Dedico com todo amor e carinho.*

## AGRADECIMENTOS

Obrigada, Senhor Deus, por ter me concedido uma família iluminada e por Sua presença e proteção em todas as escolhas da minha vida.

Agradeço à minha família: meu pai Francisco, minha mãe Lucilene, minhas irmãs Francilene e Danielle pelo amor e apoio sem medidas, meus avós maternos Paulo e Morena (*in memorian*) exemplos de vida cristã, meus avós paternos Alzair e Firmino (*in memorian*), minha tia e madrinha Lucilda, ao meu tio Jorge e minhas “prlrmãs” Eduarda e Rita de Cássia pelo carinho e amor. Esta família que foi grandiosa em me deixar sonhar sozinha e sonhar junto comigo, devotando em mim confiança para realizar todos os meus sonhos e ideais. Agradeço-lhes as palavras, os abraços, os sorrisos, os choros, as saudades e as certezas de sermos sempre um para o outro.

Obrigada, MEUS AMORES!!!

Aos meus familiares (tios, tias, primos e primas) e amigos que tanto torceram por mim e deram seu apoio das mais diversas formas.

À Adriana por seu incentivo desde o início e suas palavras de credibilidade.

À família da Adriana pelo seu apoio e por também fazer parte da minha família.

À família Soares, em especial a Dona Maria, Senhor Zé e Ângela por terem me acolhido no momento da seleção, pelas orações e por serem uma referência para mim em João Pessoa.

À Manoela, que ao abrir sua casa para me receber, permitiu, com o tempo, que o coração e alma nos transformassem em irmãs. Convivência fraterna.

À Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos desta instituição, pela oportunidade de desenvolver meu mestrado na área sempre por mim pretendida, oferecendo-me uma estrutura física e intelectual competente para tanto.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa concedida, um subsídio imprescindível para a execução deste projeto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar pela dedicação e credibilidade depositada em cada etapa deste trabalho. E a quem fico grata por sua paciência, compreensão e palavras em todos os momentos. Por ser um grande exemplo profissional a seguir. Um orientador para a vida!

Aos professores Dr<sup>a</sup> Mabel de Barros Batista e Dr. Heinz Holschuh, componentes da banca, que me auxiliaram com suas sugestões e questionamentos.

Aos professores Janeeyre, Ricardo, Martha, Helenice, Vital, Artur e Jayme fonte de conhecimento e orientação.

Aos técnicos: Chico, Gilvandro, Machado, Cândido, Diógenes e Maria José pelo empréstimo de equipamentos e utensílios e, mais ainda, pelo apoio, ensinamentos, compreensão e palavras... de crescimento.

Aos professores Adaílson e Roberto Wagner e aos técnicos José do Patrocínio e Ednaldo do Laboratório de Solos da UFPB/Areia por efetuarem as análises de minerais muito atenciosamente e em tempo hábil.

Às minhas amigas do mestrado: Adriana, quem trago desde a graduação sua companhia, amizade e irmandade; Gabriele, quem à primeira vista pude reconhecer uma amizade; Thayze, quem me conquistou com sua amizade e palavras; Josilene, uma pessoa maravilhosa e de muita garra. Amizade fundamentada em conselhos, incentivo e apoio. Obrigada pelos momentos de estudos, de “futilidade”, de amizade, de risos, de choros... por nossos momentos inesquecíveis.

Que Deus as abençoe sempre!

Aos colegas de mestrado e doutorado: June, Elieidy, Ronaldo, Cybelle, Poliana, Thiago, Zilmara, Tatiana, Christine, Christiane, Bernadete, Fátima, Kátia, Rita, todos com suas palavras, ações certas ou incertas me proporcionaram o crescimento!

Aos colegas da graduação de Engenharia de Alimentos: Larissa, Jacinete, Antônio e Guilhardo por seu incentivo e apoio.

Aos funcionários da UFPB/CT, em especial à Juliana, Cristina, Vanderlei, José Daniel e Floriano pelo auxílio em vários momentos. Vocês foram fundamentais para a realização deste trabalho.

E à cidade de João Pessoa, sua gente e seus encantos.

Meus sinceros agradecimentos a todos vocês por ajudarem a me moldar durante esta etapa.

TUDO É UM PROPÓSITO DE DEUS!!!



*Meu avô um dia me disse: “Fé, Força de vontade, Coragem e Determinação”. Seguí. E seguirei por toda a minha vida.  
Amém!*

*“Discernimento e sabedoria”*

*“De um lado a poesia, o verbo, a saudade.  
do outro a luta, a força e a coragem pra chegar no fim”  
(Fernando Anitelli)*

*“Knowing is not enough; we must apply.  
Willing is not enough; we must do”  
(Goeth)*

## RESUMO

PORTELA, J.V.F. **Estudo dos aspectos tecnológicos e de qualidade envolvidos no aproveitamento da casca e da polpa da melancia (*Citrullus lanatus* Schrad).** João Pessoa, 2009. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba.

O presente trabalho teve a finalidade de estudar o processo de secagem da polpa de melancia (*Citrullus lanatus* S.) fresca e pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose, bem como da casca *in natura*. O processo de desidratação osmótica foi estudado através de um delineamento experimental, tendo como variáveis independentes a temperatura (30 - 50°C) e concentração (40 - 60% p/p) da solução osmótica e o tempo de imersão (90 - 240min), onde o objetivo foi obter uma máxima perda de água com uma mínima incorporação de sólidos. A secagem convectiva foi realizada a várias temperaturas (40 - 60°C) do ar de secagem. A melhor combinação de variáveis obtida para a desidratação osmótica da polpa de melancia foi: 30°C, 60% p/p e 90 minutos. As maiores taxas de secagem foram obtidas para a polpa pré-tratada osmoticamente quando comparada com a fresca, na maior temperatura de processo. As difusividades efetivas das amostras foram da ordem de  $10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ , concordando com a difusividade de líquidos. O modelo empírico exponencial de dois parâmetros foi o que melhor predisse os dados obtidos a partir das secagens realizadas para a polpa de melancia fresca e pré-tratada osmoticamente, ao serem considerados os valores de difusividade efetiva, coeficiente de determinação e o desvio relativo médio. Enquanto que o modelo fundamental de Fick se ajustou melhor às cinéticas de secagem da casca de melancia. As melhores condições de secagem para os produtos finais foram de 50°C para a polpa pré-tratada osmoticamente e 60°C para a polpa e casca frescas. Tais produtos são considerados alimentos fonte de proteínas e de baixo teor de lipídeos, destacando um valor expressivo de carotenóides em licopeno para os produtos oriundos da polpa de melancia.

**Palavras-chave:** Melancia. Desidratação osmótica. Secagem convectiva. Difusividade efetiva. Resíduos de frutas. Licopeno. Proteínas.

## ABSTRACT

PORTELA, J.V.F. **Quality and technological aspects involved in watermelon (*Citrullus lanatus* s.) peels and pulp improvement.** João Pessoa, 2009. 130f. Dissertation (Máster Degree in Food Science and Technology), Universidade Federal da Paraíba.

This study aimed to study and to model the drying process fresh and osmotically pre-treated in sucrose solution watermelon (*Citrullus lanatus* S.). The osmotic dehydration process was studied through an experimental design, with independent variables as osmotic solution temperature (30 - 50°C) and concentration (40 - 60% w / w) and immersion time (90 - 240min), where the objective was to obtain a maximum water loss with a minimum solid gain. The convective drying was performed at various air drying temperatures (40 - 60°C). The best combination of variables obtained for the osmotic dehydration of watermelon pulp was: 30°C, 60% w/w and 90 minutes. The highest drying rates were obtained for the pulp pre-treated osmotically when compared with the fresh one. The water effective diffusivities were in the order of  $10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ , agreeing with the diffusivity of liquids. The empirical exponential model of two parameters fitted very well to the experimental data of both process. The Diffusional model fitted satisfactorily to the experimental data watermelon peels drying. The best drying conditions for the final products were 50°C for the pulp pre-treated osmotically and 60°C for the fresh pulp and peels. Such products are considered source of protein and low lipid content foods, highlighting a significant amount of carotenoid (lycopene) to watermelon fresh pulp.

**Keywords:** Watermelon. Osmotic dehydration. Convective drying. Effective diffusivity. Fruit waste. Lycopene. Proteins.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Figura 3.1</b> Melancia.....                                                                                                                                                                                                       | 26          |
| <b>Figura 3.2</b> Estrutura química do licopeno.....                                                                                                                                                                                  | 33          |
| <b>Figura 3.3</b> Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), para ar com propriedades constantes.....                                                                | 38          |
| <b>Figura 3.4</b> Representação da sobreposição das três dimensões de geometria de placa plana infinita.....                                                                                                                          | 42          |
| <b>Figura 3.5</b> Representação esquemática dos fluxos do processo de desidratação osmótica.....                                                                                                                                      | 45          |
| <b>Figura 4.1</b> Visualização da melancia, estando em destaque a casca e a polpa.....                                                                                                                                                | 50          |
| <b>Figura 4.2</b> Fluxograma geral de obtenção da casca e da polpa de melancia...                                                                                                                                                     | 56          |
| <b>Figura 4.3</b> Etapas de obtenção da casca e da polpa de melancia.....                                                                                                                                                             | 57          |
| <b>Figura 4.4</b> Etapas de corte da casca de melancia.....                                                                                                                                                                           | 57          |
| <b>Figura 4.5</b> Etapas de corte da polpa de melancia.....                                                                                                                                                                           | 58          |
| <b>Figura 4.6</b> Fluxograma de obtenção da passa da polpa de melancia.....                                                                                                                                                           | 58          |
| <b>Figura 4.7</b> Visão geral do secador de bandejas.....                                                                                                                                                                             | 62          |
| <b>Figura 4.8</b> Esquema do secador de bandejas.....                                                                                                                                                                                 | 63          |
| <b>Figura 4.9</b> Fluxograma de obtenção da farinha da casca de melancia.....                                                                                                                                                         | 65          |
| <b>Figura 5.1</b> Influência da concentração, temperatura da solução osmótica e do tempo de imersão, codificados, na (a) PA, (b) PP, (c) GS, (d) GS/PA e (e) PP/PA da melancia desidratada osmoticamente em soluções de sacarose..... | 74          |
| <b>Figura 5.2</b> Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem da polpa de melancia fresca a várias temperaturas de processo.....                                                                            | 78          |
| <b>Figura 5.3</b> Adimensional de umidade em função do tempo para o processo                                                                                                                                                          | 78          |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                    | de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo.....                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
| <b>Figura 5.4</b>  | Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente em sacarose a várias temperaturas de processo...                                                                                                                                                                   | 80 |
| <b>Figura 5.5</b>  | Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca das amostras para o processo de secagem da polpa fresca de melancia a várias temperaturas de processo. (a) todos os pontos da taxa de secagem e do conteúdo de umidade; (b) conteúdo de umidade inferior a $1,00\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{ms}}$ .....                    | 81 |
| <b>Figura 5.6</b>  | Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca das amostras para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo. (a) todos os pontos da taxa de secagem e do conteúdo de umidade; (b) conteúdo de umidade inferior a $1,00\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{ms}}$ ..... | 81 |
| <b>Figura 5.7</b>  | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa fresca de melancia a temperatura de $40^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                                                  | 83 |
| <b>Figura 5.8</b>  | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa fresca de melancia a temperatura de $50^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                                                  | 83 |
| <b>Figura 5.9</b>  | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa fresca de melancia a temperatura de $60^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                                                  | 84 |
| <b>Figura 5.10</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de $40^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                               | 84 |
| <b>Figura 5.11</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de $50^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                               | 85 |
| <b>Figura 5.12</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de $60^{\circ}\text{C}$ de processo.....                                                                                                                                                                                               | 85 |
| <b>Figura 5.13</b> | Polpa de melancia fresca (a) e pré-tratada osmoticamente (b) submetida a melhor condição de secagem, $50^{\circ}\text{C}$ e $60^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.....                                                                                                                                                                             | 90 |

|                    |                                                                                                                                                      |    |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 5.14</b> | Adimensional de umidade em função do tempo para a secagem da casca de melancia a várias temperaturas de processo de secagem.....                     | 91 |
| <b>Figura 5.15</b> | Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras para o processo de secagem da casca de melancia a várias temperaturas de processo..... | 92 |
| <b>Figura 5.16</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 40 <sup>0</sup> C de processo.....                             | 94 |
| <b>Figura 5.17</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 50 <sup>0</sup> C de processo.....                             | 94 |
| <b>Figura 5.18</b> | Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 60 <sup>0</sup> C de processo.....                             | 95 |
| <b>Figura 5.19</b> | Representação do cálculo da área superficial da amostra da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente da melancia.....                                 | 96 |
| <b>Figura 5.20</b> | Representação do cálculo da área superficial da amostra da casca de melancia.....                                                                    | 96 |
| <b>Figura 5.21</b> | Farinha da casca de melancia obtida a partir da melhor condição de secagem.....                                                                      | 98 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                        | Pág |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Quadro 3.1</b> Dados de produção de melancia referentes ao ano de 2007.....                                                                         | 27  |
| <b>Quadro 3.2</b> Principais produtores mundiais de melancia em 2007.....                                                                              | 27  |
| <b>Quadro 3.3</b> Valores dos componentes disponíveis em 100 gramas de polpa de melancia ( <i>Citrullus lanatus</i> ) <i>in natura</i> .....           | 30  |
| <b>Quadro 3.4</b> Teores de fibras detergente ácido, fibras detergente neutro, lignina e hemicelulose em 100 gramas de matéria fresca de melancia..... | 30  |
| <b>Quadro 3.5</b> Valores mínimos de atividade de água necessária para o desenvolvimento de alguns microrganismos.....                                 | 32  |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Pág</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabela 4.1</b> Planejamento experimental fatorial $2^3$ com pontos centrais e axiais realizado para avaliar a desidratação osmótica de melancia em solução de sacarose.....                                                            | 59         |
| <b>Tabela 5.1</b> Caracterização físico-química da casca e da polpa da melancia <i>in natura</i> .....                                                                                                                                    | 68         |
| <b>Tabela 5.2</b> Valores experimentais das variáveis dependentes para as diferentes condições de desidratação osmótica da polpa de melancia em soluções de sacarose.....                                                                 | 70         |
| <b>Tabela 5.3</b> Valores dos coeficientes de regressão polinomial de segunda ordem do modelo estatístico para as variáveis dependentes do processo de desidratação osmótica da polpa de melancia em soluções de sacarose.....            | 70         |
| <b>Tabela 5.4</b> Análises de variância para a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, ganho de sólidos/perda de água e perda de peso/perda de água no processo de desidratação osmótica de melancia em soluções de sacarose..... | 71         |
| <b>Tabela 5.5</b> Parâmetros de processo da secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose.....                                                                                     | 77         |
| <b>Tabela 5.6</b> Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Difusional, durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo....                               | 86         |
| <b>Tabela 5.7</b> Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Empírico exponencial de dois parâmetros durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo.....  | 86         |
| <b>Tabela 5.8</b> Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo de Page, durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da                                                                                                  |            |



|                    |                                                                                                                                                       |    |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                    | pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo....                                                                                       | 86 |
| <b>Tabela 5.9</b>  | Valores de umidade e atividade de água da polpa fresca e após os processos de secagem.....                                                            | 88 |
| <b>Tabela 5.10</b> | Teores de carotenóides da polpa de melancia fresca e da pré-tratada após os processos de secagem convectiva.....                                      | 89 |
| <b>Tabela 5.11</b> | Valores de umidade relativa do ar e umidade de equilíbrio para cada condição de secagem da casca de melancia fresca.....                              | 90 |
| <b>Tabela 5.12</b> | Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Difusional de Fick durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca.                          | 95 |
| <b>Tabela 5.13</b> | Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Empírico exponencial de dois parâmetros durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca..... | 95 |
| <b>Tabela 5.14</b> | Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo de Page durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca.....                                 | 95 |
| <b>Tabela 5.15</b> | Tabela dos valores de umidade e atividade de água da casca fresca e da farinha da casca a várias temperaturas de processo durante 300 minutos.....    | 98 |
| <b>Tabela 5.16</b> | Caracterização físico-química dos produtos secos obtidos a partir da secagem da polpa e da casca de melancia nas melhores condições de processo.....  | 99 |

## LISTA DE NOMENCLATURA

|          |                                                    |                          |
|----------|----------------------------------------------------|--------------------------|
| A        | Área superficial da amostra                        | mm                       |
| $a_w$    | Atividade de água                                  | -                        |
| C        | Concentração                                       | % p/p                    |
| $D_{ef}$ | Difusividade efetiva de água                       | $m^2/s$                  |
| P        | Desvio relativo médio                              | %                        |
| L        | Meia espessura do material                         | m                        |
| F        | Distribuição F                                     | -                        |
| GL       | Graus de liberdade                                 | -                        |
| GS       | Ganho de sólidos                                   | %                        |
| PP       | Perda de peso                                      | %                        |
| PA       | Perda de água                                      | %                        |
| K e b    | Constantes do modelo de Page (1949)                | -                        |
| A e B    | Constantes do modelo empírico de dois parâmetros   | -                        |
| MQ       | Média quadrática                                   | -                        |
| SQ       | Soma quadrática                                    | -                        |
| ns       | Não significativo                                  | -                        |
| p        | Significância da regressão                         | -                        |
| P        | Desvio relativo médio                              | %                        |
| $R^2$    | Coeficiente de determinação                        | -                        |
| t        | Tempo de processo                                  | s                        |
| T        | Temperatura de processo                            | $^{\circ}C$              |
| UR       | Umidade relativa                                   | %                        |
| X        | umidade da amostra em base seca                    | $g_{\text{água}}/g_{ms}$ |
| UBU      | Conteúdo de umidade em base úmida                  | $g_{\text{água}}/g$      |
| $p_w$    | pressão de vapor da água no alimento               | -                        |
| $p_o$    | pressão de vapor da água pura na mesma temperatura | -                        |
| ABS      | absorbância máxima (pico do gráfico)               | -                        |
| V        | Volume da amostra no balão                         | mL                       |
| E        | absortividade molar do licopeno                    | -                        |

|        |                                           |   |
|--------|-------------------------------------------|---|
| $m$    | Massa da amostra                          | g |
| $m_i$  | Quantidade inicial de água da amostra     | g |
| $m_t$  | Quantidade de água da amostra desidratada | g |
| $ms_i$ | Matéria seca inicial da amostra           | g |
| $ms_t$ | Matéria seca da amostra desidratada       | g |
| $ma_i$ | Massa inicial da amostra                  | g |
| $ma_t$ | Massa da amostra desidratada              | g |

#### Letras gregas

|              |                                                  |   |
|--------------|--------------------------------------------------|---|
| A e $\delta$ | Coeficientes do modelo linear                    | - |
| $\xi$        | Variável dependente do planejamento experimental | - |
| B            | Coeficiente do modelo estatístico                | - |
| $\Phi$       | Função do planejamento experimental              | - |

#### Subscritos

|     |                                   |   |
|-----|-----------------------------------|---|
| o,i | Relativo à condição inicial       | - |
| e   | Relativo à condição de equilíbrio | - |
| ef  | Relativo à efetiva                | - |
| f   | Relativo à condição final         | - |
| ms  | Relativo à massa seca             | - |
| pre | Relativo ao modelo                | - |
| exp | Relativo ao experimento           | - |
| w   | Relativo à água                   | - |
| t   | Relativo ao tempo de processo     | s |

## SUMÁRIO

|                                                                                | Pág.      |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                       | <b>21</b> |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                                                        | <b>24</b> |
| <b>2.1 Objetivo geral.....</b>                                                 | <b>24</b> |
| <b>2.2 Objetivos específicos.....</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                            | <b>26</b> |
| <b>3.1 A melancia.....</b>                                                     | <b>26</b> |
| 3.1.1 Generalidades.....                                                       | 26        |
| 3.1.2 Aplicação alimentar.....                                                 | 28        |
| 3.1.3 Aspectos nutricionais.....                                               | 28        |
| 3.1.4 Aspectos de qualidade.....                                               | 29        |
| 3.1.4.1 Atividade de água.....                                                 | 29        |
| 3.1.4.2 Licopeno.....                                                          | 31        |
| <b>3.2 Resíduos sólidos de frutas.....</b>                                     | <b>33</b> |
| <b>3.3 Aspectos tecnológicos referentes à obtenção de passas de fruta.....</b> | <b>35</b> |
| 3.3.1 O processo de secagem.....                                               | 35        |
| 3.3.1.1 Secagem convectiva.....                                                | 37        |
| 3.3.2 Desidratação osmótica.....                                               | 44        |
| <b>3.4 As farinhas.....</b>                                                    | <b>48</b> |
| <b>4 METODOLOGIA.....</b>                                                      | <b>50</b> |
| <b>4.1 Local de estudo.....</b>                                                | <b>50</b> |
| <b>4.2 Matéria-prima.....</b>                                                  | <b>50</b> |
| 4.2.1 Preparação da matéria-prima para caracterização e processamento.....     | 51        |
| 4.2.2.1 Triagem.....                                                           |           |
| 4.2.1.2 Higienização.....                                                      | 51        |
| 4.2.1.3 Seleção.....                                                           | 51        |
| <b>4.3 Análises físico-químicas.....</b>                                       | <b>52</b> |
| 4.3.1 Sólidos solúveis.....                                                    | 52        |
| 4.3.2 Atividade de água.....                                                   | 52        |
| 4.3.3 Acidez total titulável.....                                              | 53        |

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.4 pH.....                                                                                                                        | 53        |
| 4.3.5 Umidade.....                                                                                                                   | 53        |
| 4.3.6 Cinzas.....                                                                                                                    | 53        |
| 4.3.7 Proteínas.....                                                                                                                 | 54        |
| 4.3.8 Lipídios.....                                                                                                                  | 54        |
| 4.3.9 Açúcares totais, redutores e não-redutores.....                                                                                | 54        |
| 4.3.10 Amido.....                                                                                                                    | 55        |
| 4.3.11 Carotenóides totais.....                                                                                                      | 55        |
| <b>4.4 Fluxograma geral de obtenção da casca e da polpa da melancia.....</b>                                                         | <b>55</b> |
| <b>4.5 Processo de obtenção da passa da polpa de melancia.....</b>                                                                   | <b>58</b> |
| 4.5.1 Desidratação osmótica.....                                                                                                     | 59        |
| 4.5.2 Secagem convectiva.....                                                                                                        | 62        |
| 4.5.2.1 Experimentos de secagem.....                                                                                                 | 64        |
| 4.5.2.2 Acondicionamento.....                                                                                                        | 65        |
| <b>4.6 Processo de obtenção da farinha da casca de melancia.....</b>                                                                 | <b>65</b> |
| 4.6.1 Secagem convectiva.....                                                                                                        | 66        |
| 4.6.2 Trituração.....                                                                                                                | 66        |
| 4.6.3 Acondicionamento.....                                                                                                          | 66        |
| <b>4.7 Capacidade de predição dos modelos matemáticos.....</b>                                                                       | <b>66</b> |
| <b>4.8 Análise dos dados.....</b>                                                                                                    | <b>67</b> |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                                                                                 | <b>68</b> |
| <b>5.1 Caracterização físico-química das matérias-primas.....</b>                                                                    | <b>68</b> |
| <b>5.2 Desidratação osmótica da polpa de melancia.....</b>                                                                           | <b>69</b> |
| 5.2.1 Qualidade do produto desidratado.....                                                                                          | 75        |
| <b>5.3 Secagem convectiva.....</b>                                                                                                   | <b>76</b> |
| 5.3.1 Cinética de secagem para a polpa fresca e para a polpa submetida à melhor condição de pré-tratamento osmótico.....             | 76        |
| 5.3.2 Modelagem matemática da secagem para a polpa fresca e para a polpa submetida à melhor condição de pré-tratamento osmótico..... | 82        |
| 5.3.3 Qualidade dos produtos secos.....                                                                                              | 88        |
| 5.3.4 Cinética de secagem para a casca fresca de melancia.....                                                                       | 90        |
| 5.3.5 Modelagem matemática da cinética de secagem da casca fresca de melancia.....                                                   | 93        |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.6 <i>Qualidade do produto seco</i> .....                                     | 97  |
| <b>5.4 Caracterização físico-química dos produtos</b> .....                      | 99  |
| <b>6 CONCLUSÃO</b> .....                                                         | 102 |
| <b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....                                  | 104 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                                         | 105 |
| <b>APÊNDICES</b> .....                                                           | 120 |
| <b>APÊNDICE A - Planejamento experimental</b> .....                              | 120 |
| <b>APÊNDICE B - Cinética de secagem da polpa pré-tratada osmoticamente</b> ..... | 122 |
| <b>APÊNDICE C - Cinética de secagem da polpa de melancia fresca</b> .....        | 125 |
| <b>APÊNDICE D - Cinética de secagem da casca fresca de melancia</b> .....        | 128 |

## 1 INTRODUÇÃO

A melancia (*Citrullus lanatus* Schrad) pertence à família Cucurbitaceae, sendo originária de regiões tropicais da África Equatorial (TORRES, 2007).

Este fruto apresenta versatilidade na forma de consumo (*in natura*, sucos, drinks, geléias, doces, molhos e saladas), bem como uma considerável potencialidade nutricional, uma vez que a polpa se constitui por importantes teores de minerais (fósforo, potássio, cálcio, ferro e magnésio) e de licopeno, como demonstrado em estudo realizado por Edwards et al. (2003) que afirmaram superar em 40% o conteúdo encontrado em tomates. Em relação à casca, tem-se o conhecimento de uma aplicação restrita a doces e pickles. E, quanto ao seu enfoque nutricional, os estudos estão concentrados nos índices de minerais e de fibras da parte branca (mesocarpo) do fruto.

De acordo com os dados da FAO para o ano de 2007 o Brasil figura como o quarto produtor mundial de melancia com quase dois milhões de toneladas, destacando, segundo o IBGE (2007), os Estados de Goiás, Ceará, São Paulo e Minas Gerais como os maiores produtores nacionais, estando o Estado da Paraíba em décimo sexto lugar. Ressalta-se ainda, que esta grande potencialidade nutricional representa o quarto lugar entre a produção brasileira de frutas.

No entanto, esta alta produtividade, normalmente, pode gerar um expressivo aumento no volume dos resíduos agroindustriais decorrentes de inadequadas condutas na cadeia produtiva, de transporte, de comercialização e de conservação pós-colheita, bem como provenientes do descarte doméstico, principalmente das cascas, por não apresentarem um consumo expressivo, devido a questões culturais.

De modo geral, em torno de 35% da produção agrícola brasileira é desperdiçada. Destes, 10% ocorrem durante a colheita; 50% no manuseio e transporte dos alimentos; 30% nas centrais de abastecimento e os últimos 10% equivalem aos supermercados e consumidores. Destacando um valor de 30% de perdas para a melancia (DIAS, 2003). Salienta-se que este dado se refere à sua polpa, subestimando a real contribuição do fruto por não serem computados os descartes de suas cascas, podendo, neste caso, alcançar valores de até 50% de perdas.

Estes números aliados à grande potencialidade nutricional da melancia, bem como, à escassez de estudos nacionais e internacionais referentes a sua utilização, sugerem a importância em seu aproveitamento de forma mais consistente e na utilização de seus subprodutos, passíveis de inclusão em processamento, por meio de incentivo às pesquisas que assegurem uma agregação de valor aliada à redução nos gastos com alimentação, redução no impacto ambiental, geração de renda aos produtores deste fruto, além de um incremento na oferta de qualidade nutricional e um leque de opções de produtos alimentícios, tais como, sucos, doces, geléias e farinhas.

Como forma alternativa ao aproveitamento destes resíduos mediante utilização de tecnologias relativamente baratas e de fácil acesso sugere-se os processos de secagem convectiva e de desidratação osmótica.

A secagem é definida como uma operação na qual o calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se, portanto, um produto sólido seco. Trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI; MASTROCOLA; SEVERINI, 1994; LEWICKI; JAKUBCZYK, 2004). Vale ressaltar que a secagem é essencialmente um processo de concentração de nutrientes, onde pequena quantidade do produto é capaz de contribuir para o aporte nutricional do indivíduo.

No entanto, o processo de secagem pode ser drástico a materiais perecíveis, sendo, por isso, interessante a aplicação de um processo combinado, como forma de reduzir tais implicações. Para este caso, tem-se o processo de desidratação osmótica. Trata-se de uma tecnologia viável à redução no teor de água, sem mudança de fase durante o processo (LENART, 1996). Este processo se baseia na imersão de alimentos, inteiros ou em pedaços, em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, com alta pressão osmótica (RAOULT-WACK, 1994). Sendo considerado, algumas vezes como um pré-tratamento e outras, como um processo principal (MIZRAHI; EICHLER; RAMON, 2001) combinado a adequados meios de embalagem e armazenamento. Deve-se enfatizar que este processo proporciona ao produto intensificação na cor de vegetais, sendo um aspecto positivo no momento da escolha pelos consumidores.

Tais processos possibilitam um maior tempo de conservação dos materiais biológicos e redução do seu peso e volume, o que facilita o transporte e estocagem,



bem como a redução de custos de energia, uma vez que não necessitam de refrigeração para sua conservação.

Em função do aumento substancial da demanda de alimentos e produtos com apelo nutricional e funcional, bem como da tentativa de redução das perdas alimentares, o presente estudo visou aplicar e avaliar os processos de secagem como uma alternativa tecnológica ao desenvolvimento de derivados da polpa e da casca da melancia, a fim de agregar valor a tais matérias-primas, incluindo, aqui, também a análise de aspectos nutricionais e funcionais dos produtos finais obtidos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar os aspectos tecnológicos e de qualidade envolvidos no aproveitamento da casca (epicarpo e mesocarpo) e polpa (endocarpo) da melancia (*Citrullus lanatus* Schrad), a fim de gerar produtos viáveis tanto do ponto de vista tecnológico quanto nutricional.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) caracterização físico-química da casca e da polpa de melancia *in natura*;
- b) estudo do processo de desidratação osmótica da polpa de melancia a diferentes condições de temperatura do processo (30-50°C), concentração da solução osmótica (40-60°Brix) e tempo de imersão (90-240min), utilizando a metodologia de superfícies de resposta no planejamento e análise dos resultados;
- c) escolha da melhor condição de desidratação osmótica com base nos parâmetros tecnológicos (perda de água e ganho de sólidos) alcançados pelas amostras após o processamento;
- d) análise dos parâmetros de qualidade (atividade de água, carotenóides totais) para a polpa de melancia *in natura* e submetida à melhor condição de desidratação osmótica;
- e) estudo e modelagem do processo de secagem convectiva da casca *in natura*, polpa de melancia fresca e pré-tratada osmoticamente sob diferentes condições de temperatura do ar de secagem (40-60°C);
- f) escolha da melhor condição de secagem da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente com base na análise dos atributos de qualidade mencionados, bem como dos parâmetros de processo (temperatura do ar, tempo de secagem e umidade do produto final);

- g) caracterização físico-química do melhor produto seco obtido a partir da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente;
- h) escolha da melhor condição de secagem da casca de melancia com base na análise da atividade de água e nos parâmetros de processo;
- i) obtenção e caracterização físico-química da farinha da casca de melancia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A melancia

##### 3.1.1 Generalidades

A melancia (*Citrullus lanatus* Schrad) pertencente à família Cucurbitaceae é originária das regiões tropicais da África Equatorial (TORRES, 2007), com algumas evidências de que possa ser da Índia (EMATER-RONDÔNIA, 2004).

A melancieira é uma planta anual herbácea, de porte rasteiro e ramificado, com folhas ovais divididas em três lobos, apresentando estruturas em espiral presas ao caule, denominadas "gavinhas". Caracteriza-se por ter um fruto arredondado ou alongado, de casca lisa, verde ou rajada por manchas amareladas (Figura 3.1) e de grande porte que em condições normais de produção tem seu peso variando entre 10 e 25kg, conforme o cultivo (EMBRAPA HORTALIÇAS-BRASÍLIA, 2004; ALVARENGA; RESENDE, 2002).



Figura 3.1- Melancia.

De acordo com dados de 2007 da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO, 2007), o Brasil apresenta a quinta maior área plantada mundial de melancia, e o quarto lugar em produção mundial. Destaca-se por ser o único representante da América do Sul em termos continentais, na lista dos grandes produtores. Esta fonte indica, ainda, ocupar a trigésima quarta colocação em produtividade mundial (Quadros 3.1 e 3.2).

Segundo dados do IBGE (2007), a melancia ocupa o quarto lugar na produção brasileira de frutas. O Estado da Paraíba aparece como o vigésimo segundo estado produtor, apresentando 398 hectares de área plantada e uma produção de 7.448 toneladas, resultando na décima sexta produtividade entre os estados brasileiros (18,714 t/ha).

|                | Área plantada<br>(hectares) | Produtividade<br>(hectograma/hectare) | Produção (toneladas) |
|----------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Mundo          | 3.601.910                   | 258.677                               | 93.173.368           |
| América do Sul | 154.670                     | 170.654                               | 2.639.510            |
| Brasil         | 93.500                      | 208.235                               | 1.947.000            |

Quadro 3.1 - Dados da produção de melancia referentes ao ano de 2007.

Fonte: FAO (2007).

| País                      | Produção (toneladas) |
|---------------------------|----------------------|
| China                     | 63.238.000           |
| Turquia                   | 3.445.441            |
| República Islâmica do Irã | 3.300.000            |
| Brasil                    | 1.947.000            |
| Mundo                     | 93.173.368           |

Quadro 3.2 - Principais produtores mundiais de melancia em 2007.

Fonte: FAO (2007).

A cultura da melancia exige climas quentes ou temperado-quentes e é atualmente encontrada em todas as regiões tropicais do globo (EMATER-RONDÔNIA, 2004). As temperaturas ideais variam entre 18 e 25°C, necessitando de boa disponibilidade de água durante o período de crescimento da planta e de solos profundos, bem estruturados, areno-argilosos, isentos de compactação, com boa drenagem interna e não sujeitos à inundação (MORI, 1996).

No Brasil, desde o século XVI, esta cultura encontrou excelentes condições de desenvolvimento, tornando-se uma das mais importantes oleráceas produzidas e comercializadas (TORRES, 2007). Destacando-se no volume e no valor econômico, entre as dez hortaliças mais comercializadas no mercado nacional (EMBRAPA HORTALIÇAS-BRASÍLIA, 2004). Os estados de Goiás, Ceará, São Paulo e Minas Gerais, apresentam-se como os maiores produtores (IBGE, 2007). Cita-se, ainda, que os estados do Piauí e Bahia concentram a produção destinada aos mercados locais (QUEIRÓZ, 1993).

A cultura da melancia tem grande importância socio-econômica no Nordeste brasileiro, por ser cultivada principalmente por pequenos agricultores, sob condições irrigadas e de chuva, devido ao seu fácil manejo e menor custo de produção, quando comparada a outras hortaliças (COSTA; LEITE, 2002).

As cultivares mais comercializadas no Brasil são Charleston Gray, Crimson Sweet, Fairfax, Omaru Yamato e Yamato Sato (MINAMI; IMAUTI, 1993), sendo que Carvalho (1997) acrescenta, ainda, as cultivares Pérola, Jubilee e Sunshade.

Castellane e Cortez (1995) citam que a “Crimson Sweet” é a mais cultivada em todo o Brasil. Esta apresenta frutos de formato arredondado, sendo considerados de melhor qualidade os de tamanhos médio e grande. Possui casca de cor clara com estrias verde-escuras e polpa vermelho intenso muito doce, que promove uma maior atratividade; sendo consumida, principalmente, na forma *in natura*.

As principais características usadas para definir a qualidade da melancia são: conteúdo de açúcares, firmeza da polpa, sólidos solúveis, aparência externa e interna e acidez total titulável (ELMOSTROM; DAVIS, 1981; BROWN; SUMMERS, 1985).

O fruto apresenta vida útil pós-colheita, relativamente, curta, principalmente, quando não é acondicionado de forma adequada, afetando sua qualidade (ARAÚJO NETO et al., 2000).

Um dos grandes desafios no processo de conservação pós-colheita da melancia *in natura* é o transporte dos frutos para os mercados consumidores, pois são grandes e pesados e, na maioria das vezes, transportados a granel, percorrendo longas distâncias.

### 3.1.2 Aplicação alimentar

A fruta é utilizada principalmente para o consumo *in natura* e fabricação de sucos, “drinks”, geléias, doces, molhos e saladas.

Segundo Pinto (2004), a melancia minimamente processada representa uma forte área para o crescimento da indústria, por ser um produto extremamente conveniente e, sobretudo, por estar entre os mais aceitos pelos consumidores. O mercado propõe-se, ainda, à fabricação de pickles com a casca da melancia e de doce a partir da parte branca deste fruto.

Em algumas regiões, as sementes são consumidas tostadas e dessas pode-se extrair um óleo de boa qualidade, cujo conteúdo varia de 20 a 45% (MIRANDA et al.,1997).

### 3.1.3 Aspectos nutricionais

Dentre os principais parâmetros físico-químicos da melancia *Citrullus lanatus* cita-se o alto teor de umidade (93%), um aspecto positivo no sentido de que seu consumo traz uma sensação de refrescância, sendo, portanto, bastante consumida nos períodos mais quentes.

Associado a esta presença de grande quantidade de água destaca-se seu potencial diurético que auxilia na eliminação da urina, melhorando o funcionamento renal do indivíduo. Sua importância ainda recai sobre tratamento de hipertensão, e altos níveis de ácido úrico.

Apresenta, também, outras importantes propriedades nutricionais aliadas à ampla gama de oferta de nutrientes, como pode ser observado no Quadro 3.3.

Vale mencionar, que o alto teor de umidade e a presença de diversos nutrientes caracterizam a melancia como um alimento altamente perecível e, consequentemente, promotor do desenvolvimento microbiano e de alterações bioquímicas. Sendo importante a aplicação de técnicas adequadas de conservação.

| Componentes     | Almeida (2003) | Franco (2007) | NEPA (2006) | Unidade       |
|-----------------|----------------|---------------|-------------|---------------|
| Umidade         | 93             | -             | 90,70       | %             |
| Proteína        | 0,5            | 0,5           | 0,9         | %             |
| Gordura         | 0,2            | 0,2           | Tr          | %             |
| Carboidratos    | 6,4            | 6,9           | 8,1         | %             |
| Fibras          | 0,3            | -             | 0,1         | %             |
| Vitamina A      | 177            | 23            | NA          | mcg (retinol) |
| Tiamina         | 0,03           | 20,00         | Tr          | mg            |
| Riboflavina     | 0,03           | 0,03          | Tr          | mg            |
| Niacina         | 0,20           | 0,20          | *           | mg            |
| Ácido ascórbico | 7,00           | 9,00          | 6,10        | mg            |
| Cálcio          | 7,0            | 7,0           | 8,0         | mg            |
| Fósforo         | 10,0           | 12,0          | 12,0        | mg            |
| Sódio           | 1,0            | 10,6          | Tr          | mg            |
| Potássio        | 100            | 41,7          | 104         | mg            |
| Magnésio        | 10,2           | -             | 10,0        | mg            |
| Ferro           | 0,5            | 0,23          | 0,2         | mg            |
| Zinco           | 0,09           | -             | 0,10        | mg            |
| Cobre           | 0,02           | -             | 0,04        | mg            |

Quadro 3.3 - Valores dos componentes disponíveis em 100 gramas de polpa de melancia (*Citrullus lanatus*) *in natura*.

Enquanto que no Quadro 3.4 demonstram-se os teores das frações de fibras na polpa de melancia.

| Alimento          | FDA (%) | FDN (%) | Lignina (%) | Hemicelulose (%) |
|-------------------|---------|---------|-------------|------------------|
| Polpa da Melancia | 0,16    | 0,31    | 0,05        | 0,14             |

Quadro 3.4 - Teores de fibras detergente ácido, fibras detergente neutro, lignina e hemicelulose em 100 gramas de matéria fresca de melancia.

Fonte: SILVA; SILVA; OLIVEIRA (1990).



### 3.1.4 Aspectos de qualidade

#### 3.1.4.1 Atividade de água

A água está presente como um dos principais constituintes da maioria dos alimentos, conferindo, como no caso da melancia, um importante meio hidratante para os indivíduos. No entanto, seu alto teor pode vir a influenciar praticamente todos os processos deteriorativos, devendo, por esta razão, ter seu nível controlado ou reduzido.

A atividade de água ( $a_w$ ) quantifica o grau de ligação da água contida no produto. A sua escolha como parâmetro de referência no processamento, conservação e armazenamento de alimentos, ao invés do conteúdo de umidade, é baseado em efeitos que relacionam a quantidade de água disponível para agir como solvente e em reações de degradações químicas, enzimáticas e físicas, determinando o crescimento de microrganismos. Outra justificativa é a facilidade de mensuração quando comparada a determinação do conteúdo de umidade, bem como ao fato de ser uma análise não destrutiva (MALTINI et al., 2003).

Assim, dentre os fatores que condicionam o desenvolvimento microbiano nos alimentos a atividade de água é mais relevante do que a temperatura e a umidade relativa.

A atividade de água pode ser definida como a razão entre a pressão de vapor da água no alimento ( $p_w$ ) e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura ( $p_o$ ):

$$a_w = \frac{p_w}{p_o} \quad (3.1)$$

Para um valor de  $a_w$  entre 0,20 e 0,40 a água presente está fortemente ligada e, portanto, não disponível para quaisquer transformações (JARDIM, 1991).

Todos os microrganismos têm uma  $a_w$  mínima de desenvolvimento (Quadro 3.6). Em geral, as bactérias são mais exigentes do que bolores e leveduras, desenvolvendo-se apenas em meios com elevada  $a_w$ . Muitas bactérias não se

desenvolvem em  $a_w < 0,91$  e muitos bolores não se multiplicam em  $a_w < 0,80$  (UBOLDI EIROA, 2001).

| Microrganismos               | Atividade de água mínima |
|------------------------------|--------------------------|
| Bactérias                    | 0,91                     |
| Leveduras                    | 0,88                     |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 0,85                     |
| Bolores                      | 0,80                     |
| Bactérias halófitas          | 0,75                     |
| Bolores xerófilos            | 0,61                     |
| Leveduras osmotolerantes     | 0,60                     |

Quadro 3.5 - Valores mínimos de atividade de água necessária para o desenvolvimento de alguns microrganismos.

Fonte: ICMSF (2001).

O processo de dessecação deve reduzir a  $a_w$  a um nível o qual os organismos que causam deterioração não possam crescer. Devido à acidez da maioria dos frutos, somente os fungos podem causar deterioração, sendo isto possível a um valor de alta atividade de água. Nenhum organismo pode se desenvolver em frutos cuja  $a_w$  esteja entre 0,60 e 0,70 (ICMSF, 2001).

#### 3.1.4.2 Licopeno

Os carotenóides são compostos lipossolúveis, poliisoprenóides que formam um dos mais importantes grupos de pigmentos naturais encontrados na natureza, sendo sintetizados pelas plantas (SANDERS, 1994; OLIVER; PALOU; PONS, 1998).

Os carotenóides são pigmentos naturais, presentes nas frutas e vegetais, com coloração variando do amarelo ao vermelho, que têm sido largamente utilizados como corantes em alimentos, bebidas, cosméticos e rações animais (KRINSKY,

1994; VAN DEN BERG et al., 2000). Podendo ser facilmente obtidos por extração a frio com solventes orgânicos (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

O organismo humano não possui a capacidade de sintetizar estes compostos que devem, então, ser obtidos de fontes dietéticas como frutas e vegetais (SANDERS, 1994; OLIVER; PALOU; PONS, 1998).

Estas substâncias lipofílicas e insolúveis em meio aquoso apresentam uma grande distribuição e diversidade estrutural, além de inúmeras funções (SANDERS, 1994).

Os carotenóides possuem cerca de quarenta átomos de carbono, podendo ser acíclicos ou conter um anel com cinco ou seis átomos de carbono em uma ou em ambas as extremidades da cadeia. Sendo sua estrutura química composta por ligações duplas conjugadas responsáveis por sua cor e por algumas de suas funções biológicas (STAHL; SIES, 1999). Os carotenóides que possuem anéis apresentam comprovada atividade de vitamina A, além de evidências de outras propriedades biológicas, terapêuticas e preventivas de vários tipos de distúrbios e enfermidades em humanos (KRINSKY, 1994; VAN DEN BERG et al., 2000).

O licopeno é um carotenóide acíclico, portanto não possui atividade pró-vitamínica A, com 11 duplas ligações conjugadas, responsável pela cor vermelha de frutos como tomate, mamão, pitanga, goiaba e melancia (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). É o carotenóide mais simples e formado basicamente por oito unidades de isopreno. Apresenta como estrutura química  $C_{40}H_{56}$  e um peso molecular de 536,85Da, caracterizando-se, ainda por ser solúvel em solventes orgânicos (EFSA, 2008). Na Figura 3.2 tem-se a demonstração de sua estrutura química.

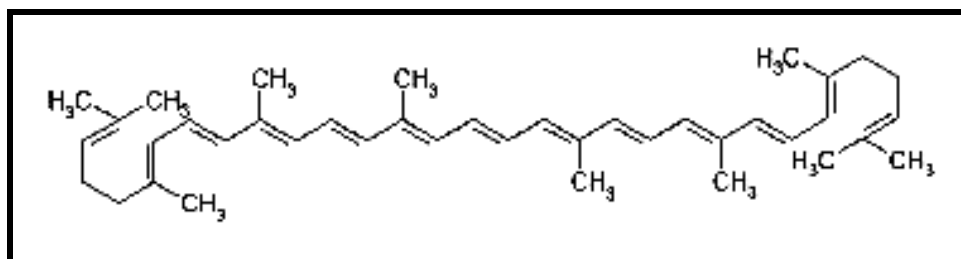


Figura 3.2 - Estrutura química do licopeno.  
Fonte: EFSA (2008).

Apesar do licopeno não ser um precursor da vitamina A houve um incremento em seu interesse, pois estudos demonstraram seu alto potencial como antioxidante natural, associando-o à redução do risco de doenças cardiovasculares e câncer (EDGE; MCGARVEY; TRUSCOOT, 1997, CLINTON, 1998; NGUYEN, SCHWARTZ, 1999; GIOVANNUCCI, 1999; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; Di MASCIO; KAISER; SIES, 1989).

Foi, também, evidenciado em estudos em que o consumo de alimentos ricos neste caroteno, como tomate e seus produtos, bem como altas concentrações de licopeno no sangue foram associados ao menor risco de desenvolvimento de cânceres de próstata (GANN et al., 1999; GIOVANNUCCI et al., 1995; GIOVANNUCCI, 1999; MILLER et al., 2002), da mama, do trato digestivo e do pulmão (PERKINS-VEAZIE; COLLINS; PAIR; ROBERTS, 2001; GIOVANNUCCI, 1999).

Pesquisas relatam um maior índice de licopeno na melancia do que em muitas frutas e verduras (PERKINS-VEAZIE; COLLINS, 2004; EDWARDS et al., 2003; HOLDEN et al., 1999). Um estudo realizado por Edwards et al (2003) relata uma concentração de 4868µg/100g de licopeno em melancia fresca, sendo, portanto 40% mais elevado que o teor encontrado em tomate (3025µg/100 g tomate).

### **3.2. Resíduos sólidos de frutas**

Desperdício ou perda pode ser conceituado como alguma mudança na viabilidade, comestibilidade, salubridade ou qualidade do alimento que o impeça de ser consumido por indivíduos, podendo ser igual à diferença entre o produto colhido e o consumido (FILHO, 1996), sendo assim, também denominados resíduos.

Os resíduos sólidos orgânicos apresentam em sua constituição química um percentual de nutrientes considerável. Esse fato os torna aptos a serem tratados através dos processos biológicos sem que sejam causadores de maiores problemas (LUNA et al., 2003).

O desperdício ocorre em todas as fases da produção de alimentos, desde seu plantio e colheita, até o consumidor final, devido às práticas inadequadas (MARTINS; FARIAS, 2002).

De acordo com Dias (2003), no Brasil, 20% de toda a sua produção agrícola se perde durante a colheita e a outra perda decorre do transporte ou de embalagens inadequadas. Do total de desperdício, 10% ocorrem durante a colheita; 50% no manuseio e transporte dos alimentos; 30% nas centrais de abastecimento e os últimos 10% equivalem aos supermercados e consumidores.

A partir da grande geração de resíduos no processamento agroindustrial de frutas e hortaliças, estima-se que o aproveitamento dessas matérias-primas não ultrapasse 80% a 85% durante o processamento agroindustrial (LARRAURI; CEREZAL, 1993). E que os resíduos gerados possam alcançar 30% (SCHAUB; LEONARD, 1996).

Segundo Martins e Farias (2002), o maior entreposto de comercialização de hortifrutigranjeiros do Estado do Rio Grande do Sul é negociado em aproximadamente 1,5 mil toneladas de alimentos diariamente, o que gera um resíduo de 30 a 40 toneladas por dia equivalente a quatro caminhões de lixo, com capacidade de 12 toneladas. Jardine (2002) afirma que as perdas em produtos agrícolas, equivalem a 7,8% do produto interno bruto brasileiro (PIB), algo próximo à quantia de R\$ 10 bilhões.

Esta grande quantidade de resíduos constitui-se de 65-70% do peso total dos frutos, com algumas variações conforme a espécie (CARVALHO, 1968; MEDINA, 1980; RUGGIERO, 1987).

As frutas são exemplos de importantes fontes de elementos essenciais (HARDISSON et al., 2001). Estes componentes de efeito benéfico na manutenção da saúde e na prevenção de doenças (ARUOMA, 1994; LUXIMONRAMMA; BAHORUN; CROZIER, 2003) como fibras, vitaminas, minerais, substâncias fenólicas e flavonóides, estão também, comumente presentes em seus resíduos (VETTER, 2000). Ressalta-se que, talos, folhas e cascas apresentam, muitas vezes, um maior valor nutricional do que a parte dos alimentos habitualmente consumida. O que é comprovado por um estudo da composição química de resíduos fibrosos de algumas plantas brasileiras, realizado por Silvestre-Marinho e Jokl (1983), onde concluíram que alguns dos resíduos fibrosos contêm a celulose como principal componente da fibra, além de proteínas e minerais. Assim, os resíduos de várias frutas, leguminosas e hortaliças que são, na maioria das vezes, desprezados pelas indústrias e uso doméstico, poderiam ser utilizados como fonte alternativa de nutrientes e de fibras alimentares (BOTELHO; CONCEIÇÃO; CARVALHO, 2002).

A falta do hábito de consumo de alimentos na forma integral, o processamento e o desconhecimento do valor nutritivo de suas diversas partes acabam por gerar desperdícios e resíduos (DARIS; JACQUES; VALDUGA, 2000). Além de representar um desperdício, torna-se poluente cujo tratamento e/ou aproveitamento contribuem para a preservação ambiental (SCHAUB; LEONARD, 1996; THASSITOU; ARVANITOYANNIS, 2001).

Não se pode mais sustentar o uso irracional dos recursos naturais, é preciso diminuir os impactos negativos causados pela forma de vida da atual população mundial.

A fim de garantir uma alimentação de qualidade podem-se utilizar as partes de alimentos que normalmente são desperdiçadas durante as operações de cultivo, transporte, comercialização, industrialização e de uso doméstico. Neste sentido, é relevante a utilização destes recursos naturais, garantindo um aproveitamento integral dos alimentos e a utilização de subprodutos da agroindústria. Repercutindo, assim, em uma redução nos gastos com alimentação, redução no impacto ambiental, além de um incremento na oferta da qualidade nutricional, bem como no leque de opção de produtos alimentícios, tais como, sucos, doces, geléias e farinhas.

### **3.3 Aspectos tecnológicos referentes à obtenção de passas de fruta**

#### *3.3.1 O processo de secagem*

A secagem é uma operação de retirada da água de um material úmido por meio da aplicação de calor, com o propósito de vaporizar parte do conteúdo de água deste material, obtendo um produto seco (BARBANTI; MASTROCOLA; SEVERINI, 1994; LEWICKI; JAKUBCZYK, 2004).

Desta forma, ocorre uma transferência de calor do ar para o produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. No mesmo instante, a diferença de pressão parcial do vapor de água existente entre o ar e a superfície do

produto determina uma transferência de matéria (massa) para o ar, na forma de vapor de água (PARK et al., 2002).

Segundo Fioreze (2004), a remoção de umidade ocorre até que um nível desejado seja alcançado, de acordo com a destinação do produto, não implicando em sua total remoção. Esta depleção infere um aumento no tempo de conservação de produtos agropecuários, por reduzir a água disponível para os microrganismos e reações químicas, permitindo também seu transporte e armazenamento sem refrigeração; ocorrendo ainda, uma considerável diminuição nos custos de transporte e manuseio (MURR; ARÉVALO-PINEDO, 2005; FITO et al., 1996).

#### 3.3.1.1 Secagem convectiva

Dentre os métodos de secagem, cita-se a secagem convectiva, a qual pode ser realizada em secador de bandejas. Este consiste, basicamente, de uma câmara com isolamento térmico apropriado e com sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante sobre as bandejas e/ou através destas (FRUTHOTEC, 2001).

A umidade de um material biológico, ao ser submetido a um processo de secagem convectiva, é denominada umidade total. Enquanto que a umidade livre corresponde à diferença entre a umidade total e a umidade de equilíbrio. Sendo que esta última é a umidade que o material possui, a uma dada temperatura e pressão, em equilíbrio com a umidade da fase gasosa insaturada (FRUTHOTEC, 2001), ou seja, com o ar de secagem; neste momento, as pressões de vapor na superfície do produto e no ar são iguais (FIOREZE, 2004). Tem-se ainda, o chamado conteúdo de umidade higroscópico máximo, o qual é o conteúdo de umidade de equilíbrio de um sólido quando a umidade da fase gasosa está saturada (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

Ao conteúdo de umidade, presente no sólido, que exerce uma pressão parcial de vapor inferior à pressão de vapor do líquido puro na temperatura em estudo, dá-se o nome de umidade ligada. Enquanto que, a umidade que se encontra em excesso em relação à umidade de equilíbrio correspondente ao ar saturado, dá-se o nome de umidade não-ligada (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

A obtenção dos dados de umidade da amostra, ao longo do tempo de processo, fornece a cinética de secagem.

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da secagem faz com que este processo seja dividido em três períodos (Figura 3.3).

A curva (a) indica a diminuição do conteúdo de umidade ( $X$ ) do produto em base seca em relação à evolução do tempo ( $t$ ) de secagem, isto é, a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de processo (PARK; YADO; BROD, 2001). A curva (b) representa a velocidade de secagem do produto (variação do conteúdo de umidade do produto por tempo,  $dX/dt$ ) em relação à evolução do tempo ( $t$ ). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto ( $T$ ) durante a secagem em relação à evolução do tempo ( $t$ ), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK et al., 2002).

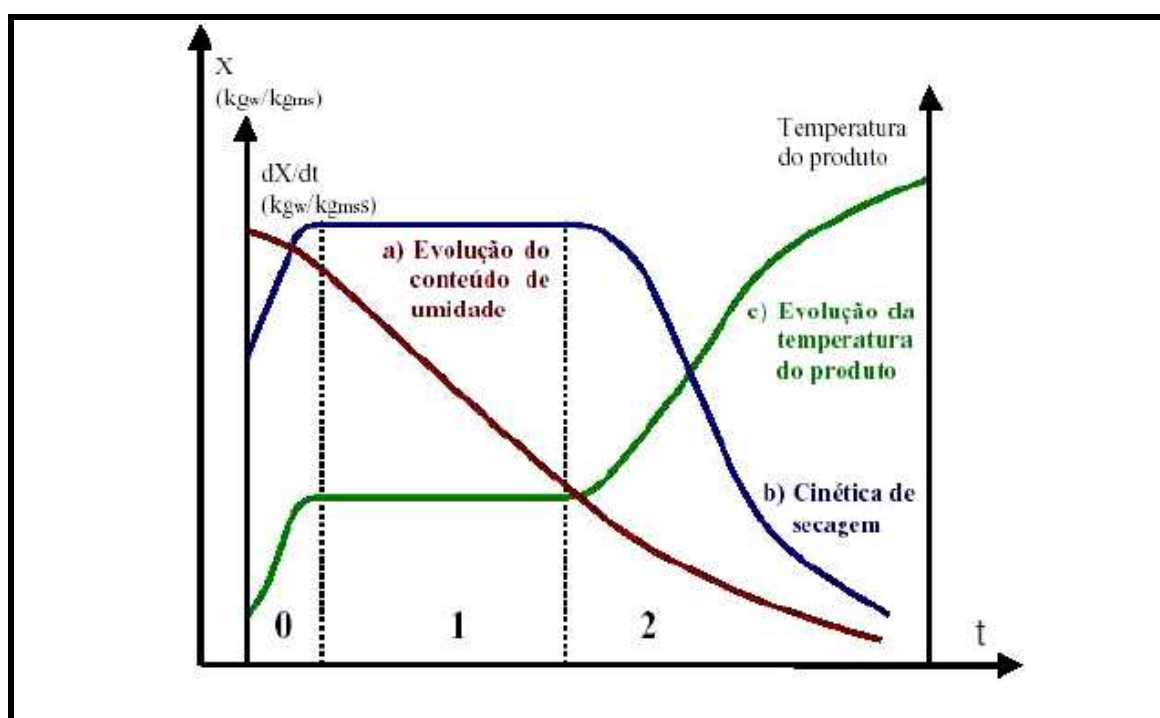


Figura 3.3 - Evolução do tempo ( $t$ ), do teor de água do produto ( $X$ ), de sua temperatura ( $T$ ) e da taxa de secagem ( $dX/dt$ ), para ar com propriedades constantes.

Fonte: PARK; YADO; BROD (2001).

Park apresentou também uma divisão em três períodos de secagem. O primeiro é denominado Período de indução, correspondendo à região 0, na qual ocorre a adequação do produto às condições de secagem. O produto, no início, é



geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor de água na superfície do produto é baixa e consequentemente, a transferência de massa e a velocidade de secagem também o são. Quando o calor chega em excesso provoca um incremento na temperatura do produto, ocasionando aumento de pressão e da velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a transferência de calor compense a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior àquela do produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. Ressalta-se, que a duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem (PARK et al., 2002).

O segundo período, período de taxa constante, apresenta a velocidade de secagem constante e correspondente à região 1 na Figura 3.3. Igualmente ao anterior, tem-se abundante disponibilidade de quantidade de água dentro do produto. A pressão de vapor de água na superfície é constante e igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. A temperatura do produto, também é constante e igual à temperatura de bulbo úmido, característica do fato de que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente (KEEY, 1972).

Para este período constante, a velocidade de secagem depende de três fatores: coeficientes de transferência de calor e massa, da área de troca térmica e mássica e diferença de temperatura (ou pressões de vapor) do ar e da superfície exposta do material. O mecanismo interno de migração de água não influencia a velocidade de secagem durante este período (FORTES; OKOS, 1980).

O terceiro período, região 2, corresponde à taxa decrescente do processo. Tem início quando a quantidade de água começa a ser deficiente na superfície do sólido e a velocidade de secagem diminui. A troca de calor não é mais compensada e, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende a se igualar à temperatura do ar. Durante todo este período, o fator limitante é a migração interna de água. A redução da taxa de secagem é devido ao abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície do sólido. Ao final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar de secagem e a velocidade de secagem é nula (KEEY, 1972).

Este último período pode ser subdividido em dois: no primeiro, a água livre (fase líquida) presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar, e ocupa todos os poros do produto e, o movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de

secagem; enquanto que no segundo, a remoção de água da superfície de evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, o que dá origem a bolsões de ar que ficam dispersos na fase líquida dentro dos poros. Nesta fase o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos isolados (STRUMILLO; KUDRA, 1986; PARK et al., 2002).

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente dependendo do período de secagem considerado. No período de taxa constante de secagem (segundo período do processo de secagem) as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam a velocidade do processo. Enquanto que, no terceiro período, são as transferências internas que são limitantes (DAUDIN, 1983).

Segundo Antonio (2006), na análise do processo de secagem de alimentos, muitas vezes observa-se somente o período decrescente, principalmente devido às dificuldades que a água líquida dentro do produto encontra para alcançar a superfície. O mesmo autor afirma que o estudo desta cinética é realizado, dentre outros parâmetros, pelo coeficiente de difusividade. Este coeficiente ( $D_{ef}$ ) é uma difusividade efetiva, que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais. A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples, podendo ser a principal razão de seu emprego. Entende-se a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material, sendo variada conforme são alteradas as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar).

Ressalta-se, a afirmação de Murr e Arévalo-Pinedo (2005), onde consideram a difusividade efetiva como uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem. No entanto, a complexa composição e estrutura física dos alimentos minimizam a precisão de sua estimativa, desta forma, faz-se necessário a utilização de medidas experimentais.

Com o fato de que a difusão interna de água é um fator limitante no processo de secagem de alimentos, diversos autores criaram modelos matemáticos que buscam descrever este processo de perda de água. Relata-se, ainda a existência de modelos empíricos empregados com o mesmo propósito.

Uma referência para o cálculo da difusividade e os ajustes das curvas experimentais é a segunda lei de Fick. Neste caso, admite-se que a umidade inicial

esteja distribuída uniformemente no interior do produto, e que o material sob análise seja um sólido infinito. Essa lei expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK; SANDRINI; BROD, 2000).

Ao assumir a forma geométrica de uma placa plana infinita, onde a transferência interna de umidade durante a secagem ocorre apenas em uma direção, tem-se a Equação 3.2:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial \gamma} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial \gamma} \right) \quad (3.2)$$

Com as seguintes condições inicial e de contorno:

Inicial:  $X = X_0$ , em  $t = 0$ ,  $0 \leq \gamma \leq L$

Contorno:  $X = X_e$ , em  $t \geq 0$ ,  $\gamma = L$

$\partial X / \partial t = 0$ , em  $t \geq 0$ ,  $\gamma = 0$

Essa fórmula de Fick é simplificada, já que despreza a interdifusão, mas essa hipótese é justificada, uma vez que a água migra dentro de uma matriz fixa (PARK; SANDRINI; BROD, 2000).

Considerando uma distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica, a solução analítica da lei de Fick para uma placa plana infinita é dada na forma de séries infinitas (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1974; CRANK, 1975) está representada na equação 3.3, a seguir:

$$\frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right] \quad (3.3)$$

Em que:  $X(t)$  = umidade média da amostra em um dado tempo  $t$  de processo (g/g);  $X_e$  = umidade de equilíbrio (g/g);  $X_0$  = umidade inicial (g/g);  $(X(t) - X_e) / (X_0 - X_e)$  = razão de umidade decimal, base seca, adimensional;  $D_{ef}$  = difusividade efetiva ( $m^2/s$ );  $t$  = tempo (s) e  $L$  = meia espessura (m).

A equação 3.3 pode ser combinada em três dimensões, conforme representado na Figura 3.4, rendendo a seguinte equação 3.4 (WELTY; WICKS; WILSON, 1984):

$$\frac{X(t) - X_e}{X_o - X_e} = \left[ \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right] \right]^3 \quad (3.4)$$

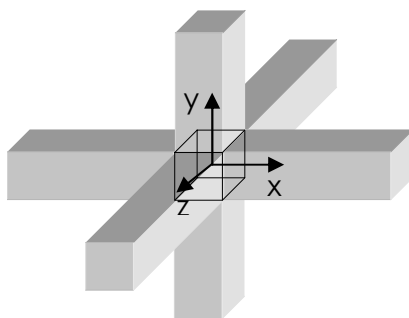


Figura 3.4 - Representação da sobreposição das três dimensões de geometria de placa plana infinita.

Esse modelo tem sido aplicado para ajustar dados de secagem de vários materiais biológicos (SARAVACOS; CHARM, 1962; LABUZA; SIMON, 1970; KARATHANOS; VILLALOBOS; SARAVACOS, 1990; PARK; BROD; SILVA, 1996; BROD et al., 1998).

Algumas hipóteses têm de ser observadas para a sua aplicação:

- A difusividade da água é considerada constante;
- O produto é considerado homogêneo;
- As dimensões do produto permanecem constantes ao longo do tempo;
- O movimento da água resulta do gradiente de umidade na partícula;
- A umidade limite é a umidade de equilíbrio do produto.

Para situações, nas quais o coeficiente de difusão é dependente da concentração, desenvolveu-se um método de regime regular para cálculo da taxa de secagem. O período de regime regular foi definido como o tempo durante o processo de difusão transiente, no qual as mudanças de concentração com o tempo são levadas em conta e o efeito da condição inicial sobre o processo é desprezado. Para

aplicação desse método torna-se necessário o conhecimento da curva de regime regular para concentração da superfície constante e para a temperatura desejada (RIZVI, 1986).

Segundo este mesmo autor, esse método fornece uma razoável precisão para as curvas de secagem de diversos alimentos líquidos e sólidos. Esse método é baseado na suposição de que a transferência de calor possa ser desprezada e a secagem possa ser tratada como uma difusão puramente controlada pelo fenômeno de transferência de massa. Isso foi baseado em vários estudos experimentais que indicaram a existência de pequenos gradientes de temperaturas dentro dos alimentos durante o processo de secagem (CHIRIFE, 1981; SARAVACOS; CHARM, 1962; VACCAREZZA; LOMBARDI; CHIRIFE, 1974).

Para caracterizar o comportamento do período de secagem com taxa decrescente, segundo a teoria difusional de Fick, tem-se de avaliar a difusividade efetiva que rege o comportamento da curva de taxa decrescente (PARK; SANDRINI; BROD, 2000).

Para expressar o comportamento das curvas de secagem em camada fina de produtos agrícolas, Page, propôs um modelo com base na equação de Fick, tomando-se, apenas o primeiro termo da série, Este é um modelo semi-empírico baseado na seguinte fórmula (PAGE, 1949).

$$\frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} = \text{Exp}[-K.t^b] \quad (3.5)$$

Onde:

b = parâmetro de ajuste

K = constante de secagem

Tem-se ainda o modelo empírico exponencial de dois parâmetros expresso pela fórmula:

$$\frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} = A.\text{Exp}[t.B] \quad (3.6)$$

Onde:

A e B = parâmetros de ajuste

t = tempo

A capacidade de predição dos modelos matemáticos (Fick, Empírico de dois parâmetros e Page) utilizados para a modelagem da cinética de secagem deve ser avaliada através do cálculo do desvio relativo médio (P) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|ue_{exp} - ue_{pre}|}{ue_{exp}} \quad (3.7)$$

Sendo P o desvio relativo médio (%),  $ue_{exp}$  os valores obtidos experimentalmente,  $ue_{pre}$  os valores preditos pelo modelo e n o número de observações realizadas.

O parâmetro P é usado na literatura para avaliar o melhor ajuste de diferentes expressões matemáticas aplicadas em dados experimentais. De acordo com Lomauro, Bakish e Labusa (1985), considera-se, geralmente, que os valores de P abaixo de 10%, indicam um ajuste razoável para o propósito prático.

Deve-se salientar que o processo de secagem convectiva pode ser agressivo para produtos perecíveis, como é o caso das frutas, repercutindo em alterações no aroma, cor, sabor e textura. Desta forma, tem-se como pré-tratamento a desidratação osmótica, a qual além de permitir redução da atividade de água, também propicia melhores resultados em relação aos aspectos sensoriais, promovendo uma maior aceitação do produto por parte dos consumidores.

### 3.3.2 Desidratação osmótica

Raoult-Wack (1994) afirma que a desidratação osmótica é um processo de remoção parcial da água dos alimentos, se baseando na imersão de alimentos, estejam inteiros ou em pedaços, em soluções hipertônicas de um ou mais solutos,

com alta pressão osmótica. Esta técnica pode ser considerada, algumas vezes um pré-tratamento e outras, como um processo completo por meio da remoção de água do produto e da modificação de suas propriedades físico-químicas pela impregnação de solutos desejados (MIZRAHI; EICHLER; RAMON, 2001) combinado a adequados meios de acondicionamento e armazenamento.

A fase líquida do alimento está separada da solução osmótica pelas estruturas celulares, as quais atuam como membrana semipermeável, promovendo o equilíbrio osmótico por meio do intercâmbio de água e sólidos (SABLANI, RAHMAN, 2003). E, admitindo-se que a membrana responsável pelo transporte osmótico não é perfeitamente seletiva, outros solutos presentes nas células do tecido vegetal do alimento podem também ser lixiviados para a solução osmótica (CORZO; GOMEZ, 2004; DIXON; JEN, 1977; GIANGIACOMO; TORREGGIANI; ABBO, 1987; LERICI et al., 1985).

Assim, têm-se a desidratação osmótica como um processo de três fluxos simultâneos de transferência de massa (Figura 3.5). Destes, dois ocorrem simultaneamente e um em contracorrente.

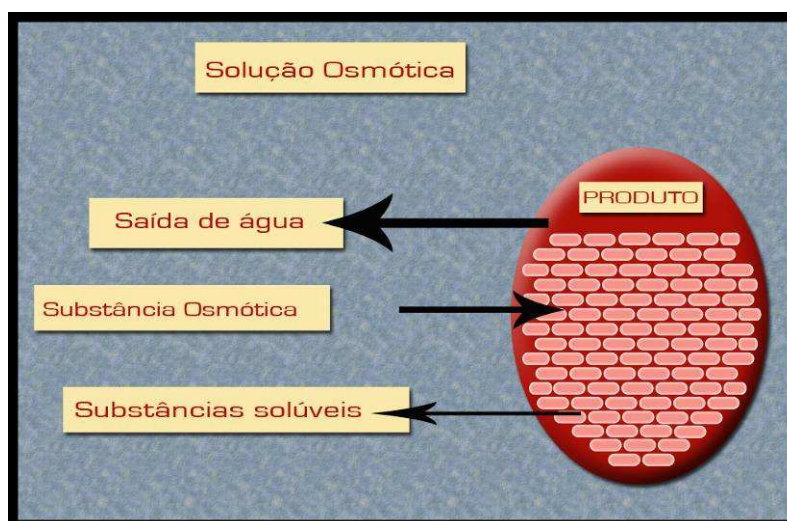


Figura 3.5 – Representação esquemática dos fluxos do processo de desidratação osmótica.

Um fluxo principal caracteriza-se pela saída de água de dentro para fora das células, por meio da membrana celular, para os espaços intercelulares e, daí para a solução osmótica; o outro fluxo, menos intenso, é uma migração de solutos (sólidos

solúveis) da solução para o produto, esta transferência permite introduzir uma quantidade desejada de princípio ativo, agente conservante, soluto de interesse nutricional ou que confira ao produto uma melhor qualidade sensorial; e o terceiro fluxo envolvido no processo, com intensidade reduzida, consiste na perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais e vitaminas para a solução. Embora seja insignificante em relação aos outros dois fluxos principais, este último torna-se relevante para as propriedades organolépticas e nutricionais do produto (TONON; BARONI; HUBINGER, 2006; FIOREZE, 2004; RAOULT-WACK; LENART; GUILBERT, 1994).

De acordo com Rastogi e Raghavarao (2004), a força motriz responsável pela saída de água é a diferença de pressão osmótica entre o produto e a solução, enquanto no caso da penetração de solutos, a força motriz é a diferença de concentração entre eles.

A taxa da perda de água, durante o processo osmótico, sofre a influência de fatores como: características do tecido vegetal, tipo e concentração do agente desidratante, temperatura e tempo de imersão e agitação (LERICI et al., 1985).

Mavroudis, Gekas e Sjöholm (1998) demonstraram que na desidratação osmótica o coeficiente de encolhimento das amostras, por meio do progresso do colapso das células, é linear, ocorrendo em menor grau que no processo de secagem convectiva. E, quanto maior o conteúdo inicial de sólidos de uma fruta, menor o colapso do seu tecido celular (LOZANO; ROTSTEIN; URBICAIN, 1983).

Para a escolha do agente desidratante existem considerações a serem feitas, como as mudanças no valor nutritivo e nas propriedades sensoriais do produto final, a eficiência na desidratação e o custo do processo.

Atualmente, os solutos mais utilizados no processo de desidratação osmótica de frutas e vegetais são açúcares e sais, principalmente sacarose e cloreto de sódio (GIRALDO et al., 2003; MAYOR et al., 2005; TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004).

A sacarose proporciona maior eficiência, conveniência, custo e aroma desejáveis ao produto. Este açúcar é considerado o melhor agente desidratante, principalmente quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem. Sua presença na superfície do material representa um obstáculo ao contato com o oxigênio, resultando em uma redução do escurecimento enzimático (LENART, 1996).



O gradiente de pressão osmótica é responsável pela difusão da água do alimento para a solução, sendo que maiores concentrações de solução resultam num aumento deste gradiente e, conseqüentemente, maiores taxas de perda de água são obtidas (FERRARI et al., 2005).

De acordo com Ponting et al. (1966), a taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal e a deterioração de sabor, que se iniciam a partir de 50°C, limitam o processo, sendo a temperatura máxima do processo uma particularidade de cada produto.

Lenart (1996) afirma que a temperatura do processo de desidratação osmótica constitui um parâmetro bastante importante no tempo de desidratação. A uma temperatura de 20°C, por exemplo, a transferência de massa ocorre mais intensamente nas primeiras 2 a 4 horas do processo, dependendo do tipo de agente osmótico e das características da matéria-prima. Entretanto, considerando uma faixa de temperatura de 70 a 90°C, o tempo de desidratação não excede 15 minutos.

Assim, para determinar a temperatura ótima de processo, deve-se atentar para as características da matéria-prima, bem como para as características do produto final que se deseja obter.

Segundo Raoult-Wack, Lenart e Guilbert (1994), a transferência de massa ocorre, geralmente, de maneira mais intensa nas duas primeiras horas para a perda de água, e nos trinta primeiros minutos para o ganho de sólidos. Após este período, tal transferência torna-se cada vez mais lenta. Para um processo muito longo, a uma temperatura baixa, haverá um maior ganho de sólidos pelo produto, deixando-o mais doce ao final do processo. Sendo assim, segundo Lenart (1996) e Fioreze (2004), o processo de desidratação deve ser conduzido em um curto espaço de tempo a fim de alcançar um alto grau de desidratação com um ganho de sólido relativamente pequeno e evitar a desintegração do produto.

Raoult-Wack et al. (1989) observaram que a necessidade de agitação depende da importância do fluxo de água que deixa a partícula e da viscosidade externa, determinada pela concentração e temperatura da solução.

O efeito favorável da agitação sobre a perda de água pode ser interpretado pela formação de uma camada superficial menos concentrada, isto é, a agitação assegura uma renovação da solução concentrada na superfície da partícula, diminuindo a resistência à transferência de massa. Deve-se tomar o cuidado com o

controle da agitação visto que uma agitação muito forte pode danificar o produto (PONTING et al., 1966; HAWKES; FLINK. 1978).

### **3.4 As farinhas**

Segundo a Anvisa (BRASIL, 2005a), farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados considerados seguros para a produção de alimentos. A designação da farinha deve ser seguida do nome comum da espécie vegetal utilizada.

A Resolução do CNNPA nº 12, de 1978 preconiza que devem ser oriundas de matérias-primas limpas e isentas de matéria terrosa e parasitos, não podendo apresentar-se úmidas, fermentadas ou rançosas (BRASIL, 1978). Assim, de um modo geral, representam uma grande variedade de produtos em pó, os quais se diferenciam segundo sua composição química e suas características (MANNHEIM; PELEG; PASSY 1973; PELEG, 1977; ILARI, 1995).

Na indústria de alimentos, as farinhas participam do processo de produção como matérias primárias, intermediárias ou como produtos finais. Durante o processo de obtenção das farinhas, assim como de outros produtos alimentícios, é importante que se preservem as suas qualidades organolépticas e nutricionais. Entretanto, sabe-se que esta operação é difícil de ser mantida no caso de pó alimentício, pois, seja qual for a sua origem, este tipo de produto se constitui de tecidos vivos susceptíveis de evoluir em função da absorção de água, amolecimento, fusão, explosão e modificação de sua granulometria (COSTA; SCHER; HARDY, 2003).

A produção de farinha tem como principais operações a secagem da matéria-prima, mencionada no item 3.3.1, com posterior trituração ou moagem, a fim de garantir aspectos característicos de farinha ao produto final.

O produto farinha pode ser classificado em farinha simples, a qual corresponde ao produto obtido da moagem ou raladura dos grãos, rizomas, frutos ou

tubérculos de uma só espécie vegetal; e farinha mista, obtida pela mistura de farinhas de diferentes espécies vegetais (BRASIL, 1978).

De acordo com a mesma referência, tais produtos devem ser caracterizados física e quimicamente em relação à umidade, acidez, amido, protídios, lipídios e resíduo mineral.

O grau de umidade da farinha deve ser controlado não só por motivos econômicos, mas também por sua importância na conservação e processamento.

A Portaria nº 354 de 18/07/96 - SVS/MS (Secretaria de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde), cita que o grau de umidade do produto deverá ser regulado pelas Boas Práticas de Fabricação, não podendo exceder 15%*m/m* (BRASIL, 1996).

A mesma literatura afirma que resultados positivos são facilmente alcançados quando o teor de água está ao redor de 13%. Isto porque, tais produtos com umidade acima de 14% apresentam tendência a formar grumos e não fluem uniformemente.

Segundo Loures et al. (1990), inúmeras vantagens sócio-econômicas surgem em decorrência da utilização de farinha, diferente da proveniente do trigo, em pão e produtos do tipo biscoito e macarrão. Dentre as vantagens referidas incluem-se: o estímulo à agricultura e a indústria nacionais e a criação de empregos em áreas rurais e industriais.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de estudo

Os estudos foram conduzidos no Departamento de Tecnologia e Química de Alimentos (DTQA) do Centro de Tecnologia (CT) do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na cidade de João Pessoa - PB.

As operações de obtenção dos produtos secos e desidratados foram realizadas no Laboratório de Operações Unitárias (LOU), enquanto que, as análises físico-químicas foram conduzidas no Laboratório de Bioquímica de Alimentos (LBA), ambos situados no CT da referida Instituição.

### 4.2 Matéria-prima

Para a realização dos vários ensaios experimentais foram utilizadas casca e polpa de melancias (*Citrullus lanatus* S.) (Figura 4.1). Salienta-se que os frutos foram adquiridos na EMPASA/João Pessoa – PB, no dia de cada experimento, durante o período de maio de 2008 a março de 2009, em quantidades suficientes para cada ensaio.

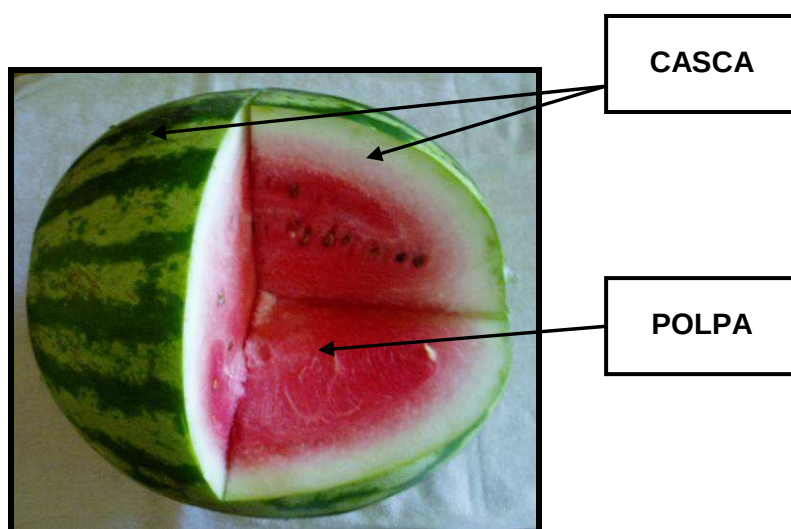


Figura 4.1 - Visualização da melancia, estando em destaque a casca e a polpa.

#### 4.2.1 *Preparação da matéria-prima para caracterização e processamento*

##### 4.2.1.1 Triagem

O processo de triagem foi realizado *in loco* de forma criteriosa, visando garantir a homogeneidade e qualidade do produto final.

Esta etapa se baseou na uniformidade do tamanho e forma dos frutos, bem como na coloração da gavinha (esverdeada), desprezando os frutos que apresentavam danos físicos.

##### 4.2.1.2 Higienização

Finalizada a triagem procedeu-se com a higienização dos frutos em água corrente com auxílio de escovas e de sabão neutro, a fim de retirar qualquer material aderido à superfície do fruto, que pudesse se constituir em risco de contaminação (restos de solo, matéria orgânica e outros). Em seguida, foram submersos por 15 minutos em uma solução de água clorada a 50ppm.

Os demais utensílios como facas, tábuas de corte, bandejas e bancadas foram sanitizados com a mesma solução clorada.

##### 4.2.1.3 Seleção

A seleção dos frutos foi realizada no próprio laboratório e consistiu no grau de maturação (4,0-6,0<sup>0</sup>Brix para a casca e 8,0-10,5<sup>0</sup>Brix para a polpa) medido com o auxílio de um refratômetro (Atago n<sup>o</sup>1). Neste momento, padronizou-se, ainda, com auxílio de paquímetro (Norfol Ivonica), a espessura da casca a 20mm.

### 4.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata tanto na matéria-prima *in natura* como nos produtos processados.

A casca da melancia, bem como a farinha foram submetidas às seguintes análises: sólidos solúveis, atividade de água, acidez total titulável, pH, umidade, cinzas, açúcares totais, redutores e não-redutores, somando-se amido, proteínas e lipídios às análises da farinha.

Enquanto a polpa e seu produto processado foram analisados quanto a sólidos solúveis, atividade de água, acidez total titulável, pH, umidade, cinzas, açúcares totais, redutores e não-redutores, e carotenóides totais.

#### 4.3.1 Sólidos solúveis

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada através de leitura direta em refratômetro de campo a 20<sup>0</sup>C, sendo o resultado estimado pela medida de seu índice de refração por comparação com tabelas de referência, de acordo com o método 315/IV adotado por Brasil (2005b).

#### 4.3.2 Atividade de água

Este método se baseia na determinação direta, em equipamento (AQUALAB CX-2), da atividade de água a 25<sup>0</sup>C de amostras acondicionadas em cápsula plástica, em equilíbrio com a atmosfera interna do equipamento. O valor de atividade de água é registrado quando há a formação da primeira gota de orvalho em função do equilíbrio alcançado entre a fase líquida, presente na amostra, e a fase gasosa (BRASIL, 2005b).

#### *4.3.3 Acidez total titulável*

A acidez total titulável foi determinada pelo método titulométrico 312/IV, com solução de hidróxido de sódio 0,1N, considerando o ácido málico como predominante (BRASIL, 2005b).

#### *4.3.4 pH*

O pH foi mensurado em potenciômetro com eletrodo de membrana de vidro calibrado com soluções de pH 4,0 e 7,0 pelo método 017/IV adotado por Brasil (2005b).

#### *4.3.5 Umidade*

A determinação do resíduo seco foi realizada em estufa a vácuo, a 70<sup>0</sup>C, por 24 horas, conforme o método 015/IV referido em Brasil (2005b).

#### *4.3.6 Cinzas*

A determinação do resíduo mineral fixo foi realizada por gravimetria e baseia-se na determinação da perda de peso do material submetido à incineração em mufla (QUIMIS) à 550<sup>0</sup>C até peso constante, de acordo com o método 018/IV adotado Brasil (2005b).

#### *4.3.7 Proteínas*

As análises foram realizadas conforme o método de Kjeldal (037/IV) adotado por Brasil (2005b), do tipo indireto, o qual determina o teor de proteínas por meio da quantificação do nitrogênio orgânico total da amostra, sendo esta porcentagem multiplicada por um fator de conversão. Para a obtenção do conteúdo de proteínas da farinha de melancia o fator utilizado foi 6,25.

#### *4.3.8 Lipídios*

O teor de lipídios foi determinado por gravimetria, estando esta análise baseada na perda de peso do material submetido à extração com hexano (P.A.) pelo método de Soxhlet, conforme a técnica 032/IV, adotada por Brasil (2005b).

#### *4.3.9 Açúcares totais, redutores e não redutores*

Os teores de açúcares foram determinados de acordo com o descrito na AOAC (1984). Este método baseia-se na redução do cobre em solução cúprica (solução de Fehling) através de açúcares invertidos. O conteúdo de açúcar presente na amostra é obtido sabendo-se o volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling de volume conhecido. Destacando que os teores de açúcares não redutores foram calculados por diferença entre açúcares totais e redutores.



#### 4.3.10 Amido

O teor de amido foi determinado de acordo com o descrito pela AOAC (1984). Esta técnica baseia-se na hidrólise do amido da amostra pela ação de base e ácido para a formação de açúcares redutores.

#### 4.3.11 Carotenóides totais

A extração e a quantificação obedeceram ao método espectrofotômetro de Rodriguez-Amaya (1999), utilizando um comprimento de onda de 450nm. Na quantificação dos carotenóides, os parâmetros em função do carotenóide predominante (licopeno) em função do solvente (éter de petróleo) foram avaliados segundo Davies (1976), que aplica a lei de Beer, utilizando a seguinte equação:

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{g}}(\text{licopeno}) = \frac{10^4 \text{ ABS.V}}{\text{E.M}} \quad (4.1)$$

Onde :

ABS = absorbância máxima (pico do gráfico);

V = Volume da amostra no balão;

E = absortividade molar do licopeno;

M = Massa da amostra em g.

### 4.4 Fluxograma geral de obtenção da casca e da polpa da melancia

A Figura 4.2 expõe, de forma geral, as etapas de obtenção das partes objetos de estudo, casca e polpa da melancia.

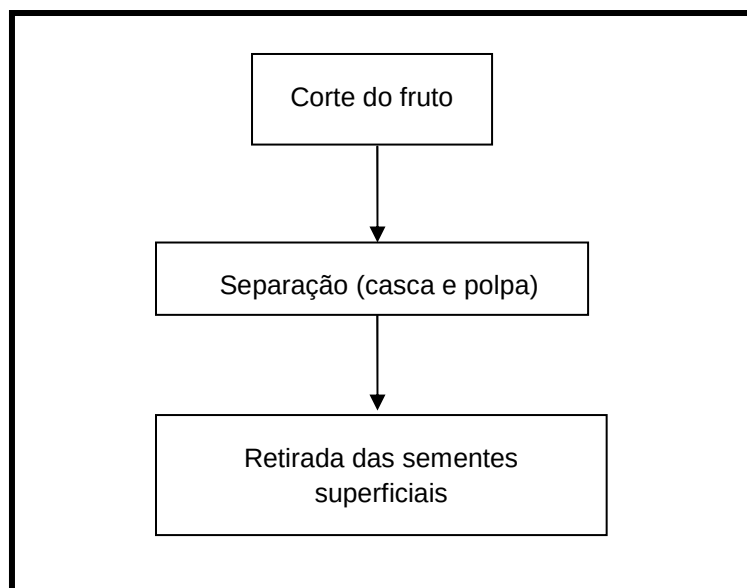


Figura 4.2 – Fluxograma geral de obtenção da casca e da polpa de melancia.

A melancia foi submetida a cortes com a finalidade de obter oito partes. Iniciou-se com um corte longitudinal, obtendo-se as duas metades da melancia (Figura 4.3a). Em seguida, cada metade da melancia foi cortada trnasversalmente, obtendo-se quatro partes (Figura 4.3b). Estas foram cortadas longitudinalmente, ao meio (Figura 4.3c). Cada uma das oito partes obtidas foi separada em polpa e casca, sendo retiradas as sementes mais superficiais (Figura 4.3d,e,f).

A casca foi fatiada longitudinalmente a uma espessura de 5mm, preservando o epicarpo e o mesocarpo (Figura 4.4 a,b,c). A espessura foi padronizada com o auxílio de um paquímetro (Norfol Ivonica) (Figura 4.4d). Enquanto que a polpa (Figura 4.5a) foi fatiada a uma espessura de 10mm (Figura 4.5b) e, em seguida, com o auxílio de um cortador de legumes (Ind. J. S. Bras), foi submetida a um segundo corte, a fim de se obter uma dimensão cúbica de 10mm de aresta (Figura 4.5c,d). Tais procedimentos foram executados com o auxílio de uma faca de aço inoxidável.

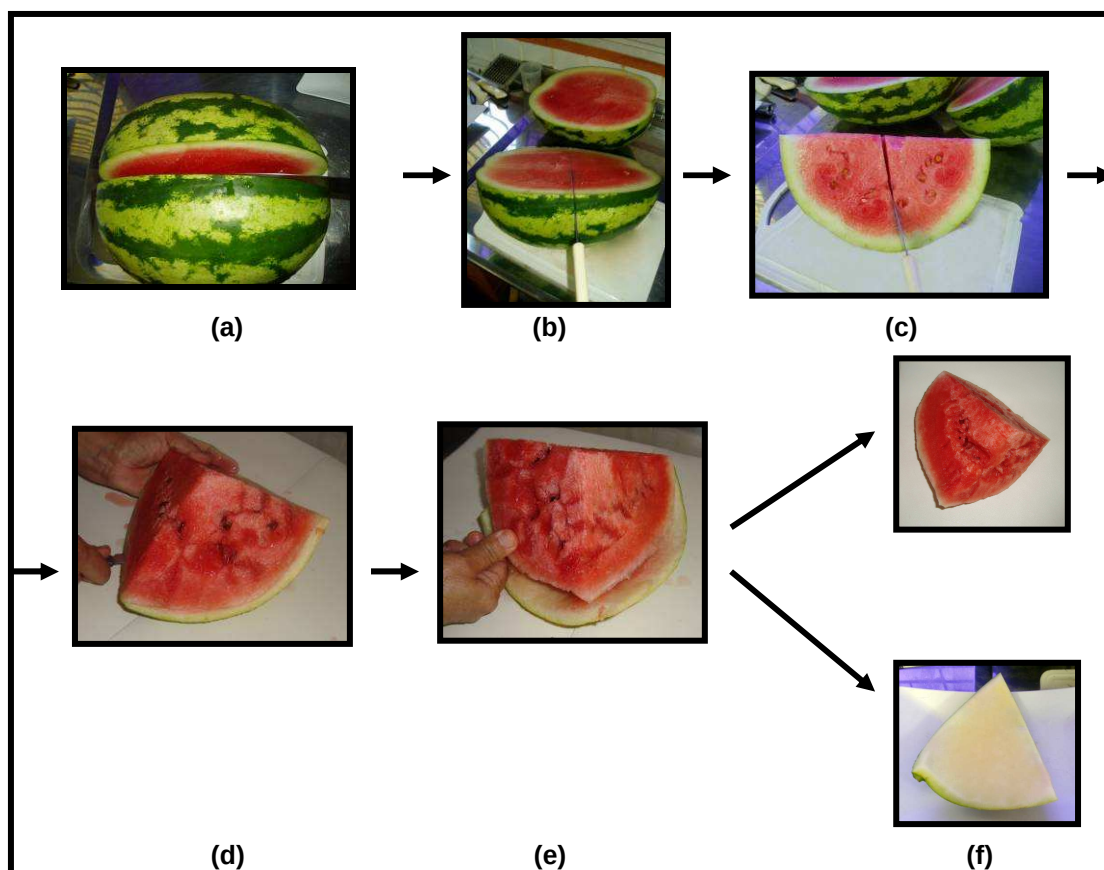


Figura 4.3 – Etapas de obtenção da casca e da polpa de melancia.

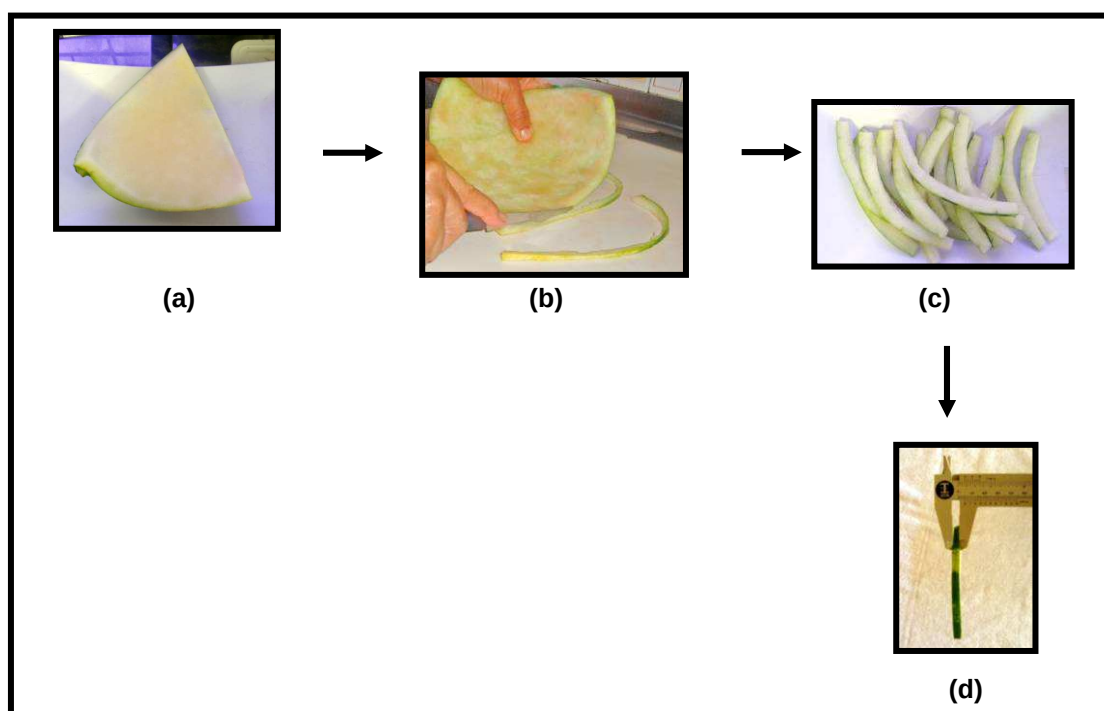


Figura 4.4 – Etapas de corte da casca de melancia.

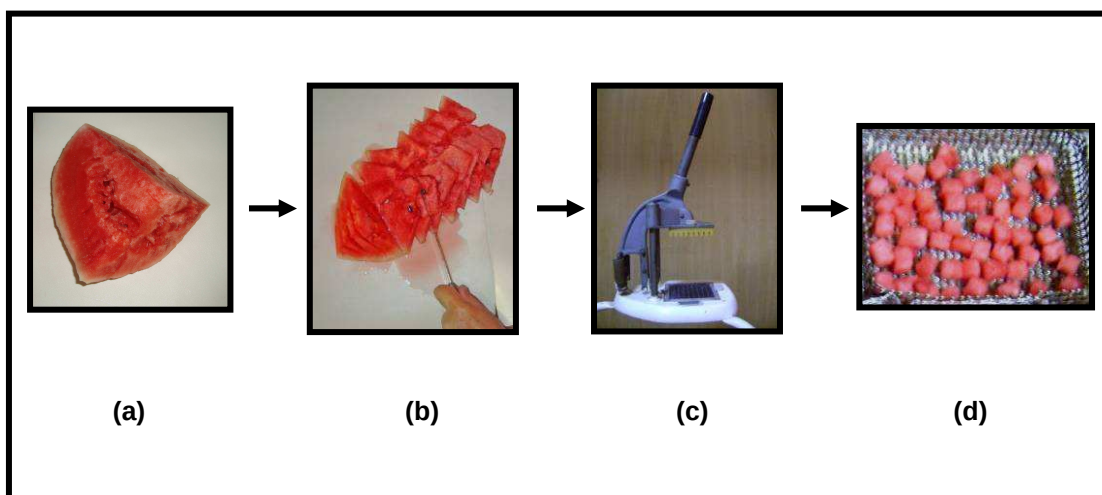


Figura 4.5 – Etapas de corte da polpa de melancia.

#### 4.5 Processo de obtenção da passa da polpa de melancia

A Figura 4.6 esquematiza as etapas de obtenção e caracterização da passa da polpa de melancia *in natura* e desidratada osmoticamente.

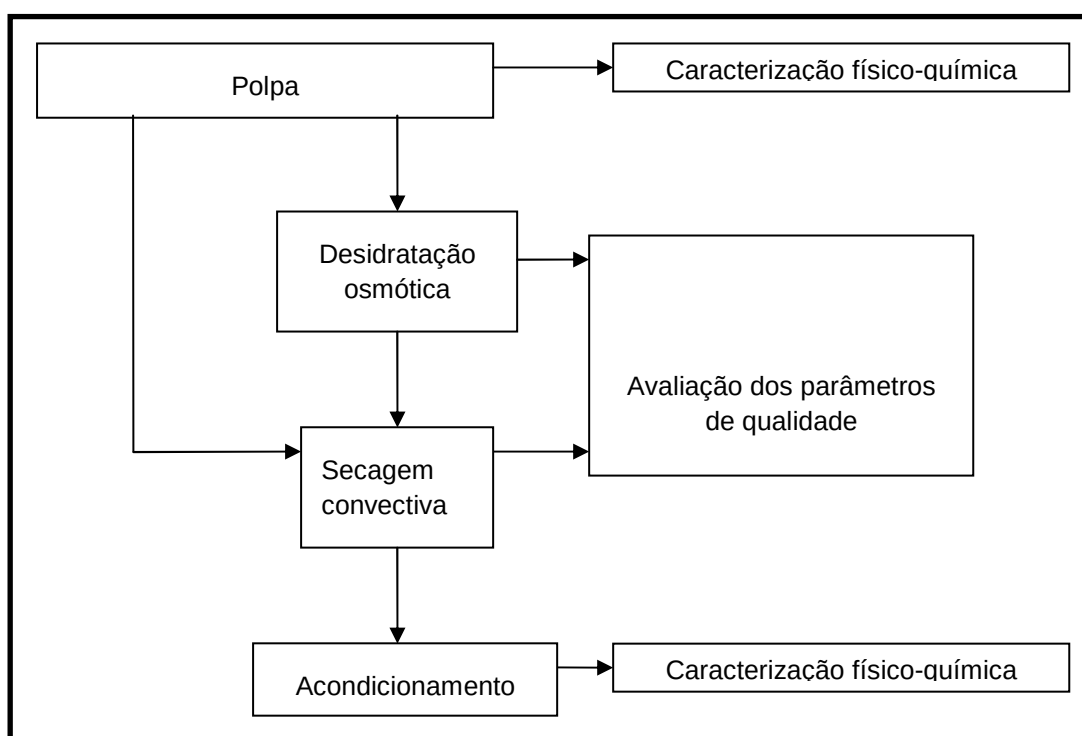


Figura 4.6 – Fluxograma de obtenção da passa da polpa de melancia.

#### 4.5.1 Desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica da polpa de melancia em solução de sacarose foi estudado mediante a metodologia da superfície de resposta (RSM) exposta no Apêndice A.

O planejamento experimental utilizado foi do tipo fatorial completo  $2^3$  com três variáveis independentes (temperatura - T, concentração da solução osmótica - C e tempo de imersão - t), avaliadas em dois níveis (-1 e +1), com pontos axiais ( $-\alpha$  e  $+\alpha$ ) e triplicata nos pontos centrais (nível 0), totalizando 17 experimentos. Assim, cada fator foi analisado em 5 níveis. As variáveis dependentes do planejamento foram representadas pela perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) e as relações entre perda de peso e perda de água (PP/PA) e entre ganho de sólidos e perda de água (GS/PA).

A Tabela 4.1, logo abaixo, mostra a planilha de planejamento utilizada para tal estudo. Ressalta-se que o experimento foi executado em triplicata.

Tabela 4.1 - Planejamento experimental fatorial completo  $2^3$  com pontos centrais e axiais realizado para avaliar a desidratação osmótica de melancia em solução de sacarose.

| ENSAIOS | Tratamentos |            |            |
|---------|-------------|------------|------------|
|         | T (°C)      | C (%p/p)   | t (min)    |
| 1       | 34 (-1)     | 44 (-1)    | 120 (-1)   |
| 2       | 34 (-1)     | 56 (+1)    | 120 (-1)   |
| 3       | 34 (-1)     | 44 (-1)    | 210 (+1)   |
| 4       | 34 (-1)     | 56 (+1)    | 210 (+1)   |
| 5       | 46 (+1)     | 44 (-1)    | 120 (-1)   |
| 6       | 46 (+1)     | 56 (+1)    | 120 (-1)   |
| 7       | 46 (+1)     | 44 (-1)    | 210 (+1)   |
| 8       | 46 (+1)     | 56 (+1)    | 210 (+1)   |
| 9       | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    |
| 10      | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    |
| 11      | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    |
| 12      | 30 (-1,68)  | 50 (0)     | 165 (0)    |
| 13      | 50 (1,68)   | 50 (0)     | 165 (0)    |
| 14      | 40 (0)      | 40 (-1,68) | 165 (0)    |
| 15      | 40 (0)      | 60 (1,68)  | 165 (0)    |
| 16      | 40 (0)      | 50 (0)     | 90 (-1,68) |
| 17      | 40 (0)      | 50 (0)     | 240 (1,68) |

Destaca-se que as variáveis dependentes supracitadas possuem suas respostas baseadas nas equações de 4.2 a 4.5.

$$PA(\%) = \left( \frac{m_i \cdot UBU_i - m_t \cdot UBU_t}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$GS(\%) = \left( \frac{ms_t \cdot UBU_t - ms_i \cdot UBU_i}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (4.3)$$

$$PP(\%) = \frac{(ma_i - ma_f)}{ma_i} \times 100 \quad \text{OU} \quad PP(\%) = PA - GS \quad (4.4)$$

E, dividindo-se a equação 4 por PA, tem-se:

$$\frac{PP}{PA} = 1 - \frac{GS}{PA} \quad (4.5)$$

Sendo que a Equação (4.5) foi utilizada para os cálculos que relacionam a perda de peso e o ganho de sólidos com a perda de água. Assim, a razão do segundo termo deve ser a menor possível e, conseqüentemente a razão do primeiro termo será a maior.

Nas equações supracitadas, tem-se os seguintes termos:  $m_i$  e  $m_f$  representam o peso das amostras no início e fim do experimento (time t), respectivamente, (g); enquanto que  $UBU_i$  e  $UBU_f$  são o conteúdo de umidade das amostras no início e fim do experimento (tempo t), respectivamente, (g de água/100 g peso inicial).

Foi assumido existir uma função matemática  $\phi$  para cada resposta  $\gamma$  (PP, PA, GS, PP/PA, GS/PA) em função das três variáveis independentes (temperatura, concentração e tempo de imersão) (KHURI; CORNELL, 1996).

$$Y = \phi(T, C, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 C + \beta_{22} C^2 + \beta_3 t + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} T \cdot C + \beta_{13} T \cdot t + \beta_{23} C \cdot t \quad (4.6)$$

Onde  $\beta$  corresponde ao coeficiente da equação e os sub-índices 0, 1, 2, 3, 11, 12, 13, 22, 23 e 33 correspondem, respectivamente, ao valor médio da função  $\phi$ ,

temperatura, concentração, tempo de imersão, interação quadrática entre a temperatura, interação entre temperatura e concentração, interação entre temperatura e tempo de imersão, interação quadrática entre a concentração, interação entre concentração e tempo de imersão e interação quadrática entre o tempo de imersão.

Como forma de obter os coeficientes de regressão realizou-se uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o pacote estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

O planejamento experimental objetivou a escolha da melhor condição, a fim de obter um produto com máxima perda de água e mínima incorporação de sólidos.

A desidratação osmótica da polpa de melancia foi realizada em soluções osmóticas de sacarose (comercial). Para tal, no dia anterior ao processo osmótico prepararam-se as soluções em água destilada para concentrações que variaram de 40 - 60% p/p, com o auxílio de um agitador mecânico (Quimis). Deixando-as em repouso até sua estabilização (solução límpida, sem partículas suspensas). Posteriormente foram acondicionadas nos frascos próprios para a desidratação e em quantidade adequada para o experimento, sendo armazenadas no ambiente de desidratação por um período de 12 horas.

No dia seguinte, a polpa foi cortada em cubos, conforme o item 4.4. Em seguida, as amostras (4 cubos) foram pesadas e colocadas em recipientes codificados, juntamente com a solução osmótica. Adotou-se a razão mássica 1:10 (amostra:solução) com o propósito de garantir que a concentração da solução permanecesse constante durante todo o processo. Em cada recipiente foram colocados 60ml de solução em sua respectiva concentração.

Os recipientes, contendo as amostras e as soluções desidratantes, foram colocados em ambiente com atmosfera controlada (temperatura e umidade) a uma dada temperatura (30 a 50<sup>0</sup>C) conforme planejamento experimental descrito. Após tempos pré-determinados (90 a 240min), as amostras foram retiradas da solução com auxílio de espátula. Em seguida, foram dispostas em peneiras, desenvolvidas para o experimento, lavadas com 20mL de água destilada a fim de remover o excesso da solução osmótica, logo após foram drenadas, colocadas em papel absorvente e pesadas. Em seguida, mensurou-se gravimetricamente o teor de umidade das amostras usando uma estufa a vácuo (25 lbf/in<sup>2</sup>) a 70<sup>0</sup>C por 24h (AOAC, 2005). Todos os experimentos foram conduzidos em triplicata.

Definida a melhor condição osmótica, esta foi submetida à determinação de carotenóides como parâmetro de qualidade para a etapa posterior (secagem convectiva).

#### 4.5.2 Secagem convectiva

O processo de secagem da polpa fresca, bem como da polpa pré-tratada na melhor condição de desidratação osmótica foram realizados em secador de bandejas em leito fixo com fluxo ascendente de ar.

O secador de bandejas, existente do LOU - UFPB é composto por uma câmara de secagem de madeira a qual está conectada a um sistema de aquecimento elétrico do ar e convecção forçada do mesmo, conforme mostrado na Figura 4.7, a seguir.



Figura 4.7 – Visão geral do secador de bandejas.

Já na Figura 4.8 a seguir, tem-se demonstradas suas partes. Um ventilador centrífugo de 1HP (1) impulsiona o ar ambiente, cujo fluxo pode ser controlado por uma válvula (2), através de um conjunto de resistências elétricas (3). Esse conjunto é formado por duas resistências de 1.000W, três de 500W e uma de 150W. Na



entrada da câmara tem-se um termômetro (5) que serve para medir a temperatura do ar quente que passa pelas bandejas.

A câmara de secagem é constituída por quatro bandejas, com dimensões 0,31 x 0,32mm, com moldura de madeira e telas de nylon, sendo que apenas uma (6) é demonstrada na Figura 4.8. O sistema utilizado permite, ainda, substituir essas bandejas por outra do mesmo tamanho, porém de altura maior, quando se deseja secar quantidades maiores de produto.

Neste equipamento, foram ainda construídas quatro bandejas de 20 x 20mm, as quais foram colocadas lado a lado no secador, conforme demonstrado, em destaque, na Figura 4.8, sendo, portanto, possível a secagem simultânea de quatro amostras diferentes, economizando tempo e também permitindo avaliar o comportamento de diferentes amostras, quando secas sob as mesmas condições de processo.

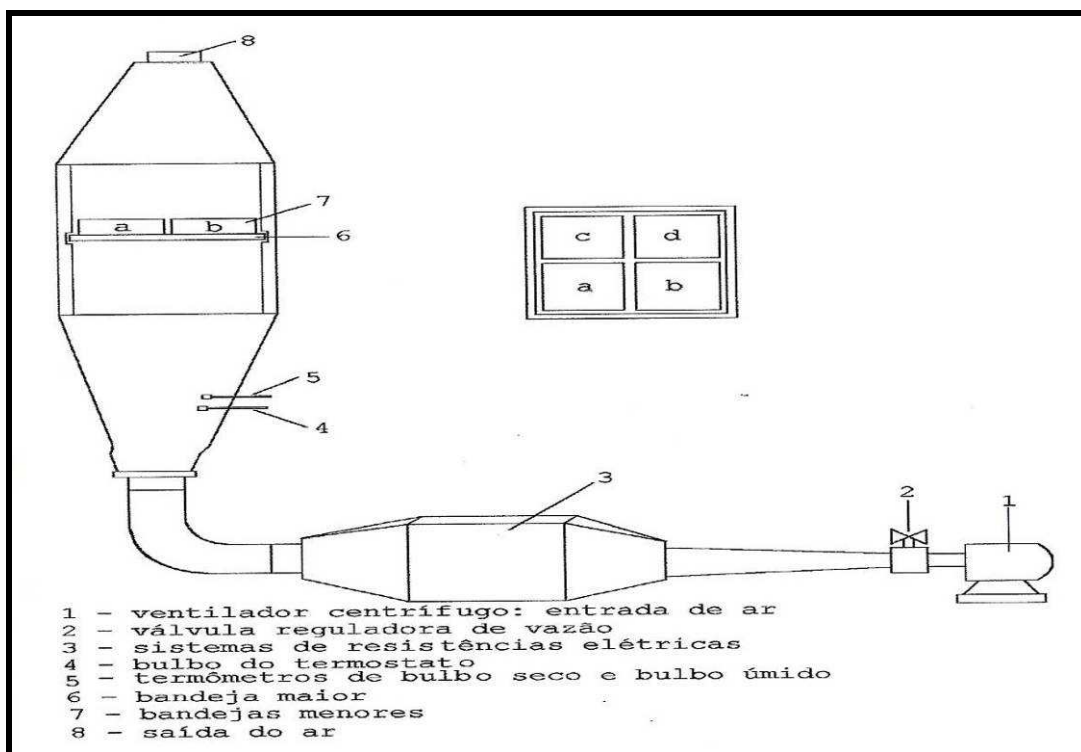


Figura 4.8 – Esquema do secador de bandejas.

Fonte: FIOREZE (2004).

#### 4.5.2.1 Experimentos de secagem

Foram realizados três experimentos a diferentes temperaturas (40, 50 e 60°C) e, a fim de manter o ar de secagem uniforme, nas diferentes condições de secagem, reservou-se a primeira bandeja (de baixo para cima) para a sílica-gel, sendo a umidade relativa do ar verificada com o auxílio de um termo-higrômetro (Alla France). Utilizando-se um anemômetro (Velocicheck - TSI), manteve-se uma média de 1,00m/s para a velocidade do ar de secagem. Mantidas essas condições, colocaram-se as amostras na segunda bandeja do secador (de baixo para cima).

As amostras foram retiradas periodicamente do secador e pesadas em balança semi-analítica (SSR-600) até que fosse alcançado o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem, atingindo um peso constante com variação máxima de 0,05g.

Ao final de cada experimento, as amostras foram submetidas à estufa a vácuo (25 lbf/in<sup>2</sup>), a 70°C, por 24 horas, para determinação do peso seco.

A cinética de secagem foi estudada mediante as curvas do adimensional de umidade em função do tempo de processo, bem como pelas curvas de taxa de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras.

Realizou-se, também, a modelagem matemática aos dados experimentais das cinéticas de secagem utilizando os modelos de Fick (Equação 3.4), semi-empírico de Page (Equação 3.5) e um modelo empírico exponencial de dois parâmetros (Equação 3.6).

A partir destes modelos calcularam-se os valores de difusividade efetiva de água para cada condição. Como a estimativa da  $D_{ef}$  é realizada a partir de uma média do comportamento global da curva de secagem e, sabendo-se que a fase inicial da secagem (primeira taxa decrescente) é o período do processo onde teríamos uma maior taxa de secagem comparada com a segunda fase (taxa decrescente), assumi-se uma padronização do tempo de secagem a fim de que fosse possível a comparação do supracitado parâmetro ( $D_{ef}$ ) para os vários tratamentos.

Os produtos finais obtidos foram submetidos a determinações de atividade de água ( $a_w$ ) e conteúdo de carotenóides totais para avaliar a influência de cada tratamento sobre a qualidade do produto final.

#### 4.5.2.2 Acondicionamento

A polpa desidratada osmoticamente e seca de forma convencional foi embalada a vácuo em sacos plásticos de Polipropileno em quantidades suficientes para cada análise a ser realizada posteriormente, não ultrapassando uma semana de estocagem, sendo ainda, envoltas com folhas de papel alumínio.

#### 4.6 Processo de obtenção da farinha da casca de melancia

A Figura 4.9, a seguir, esquematiza as etapas de obtenção da farinha da casca de melancia.

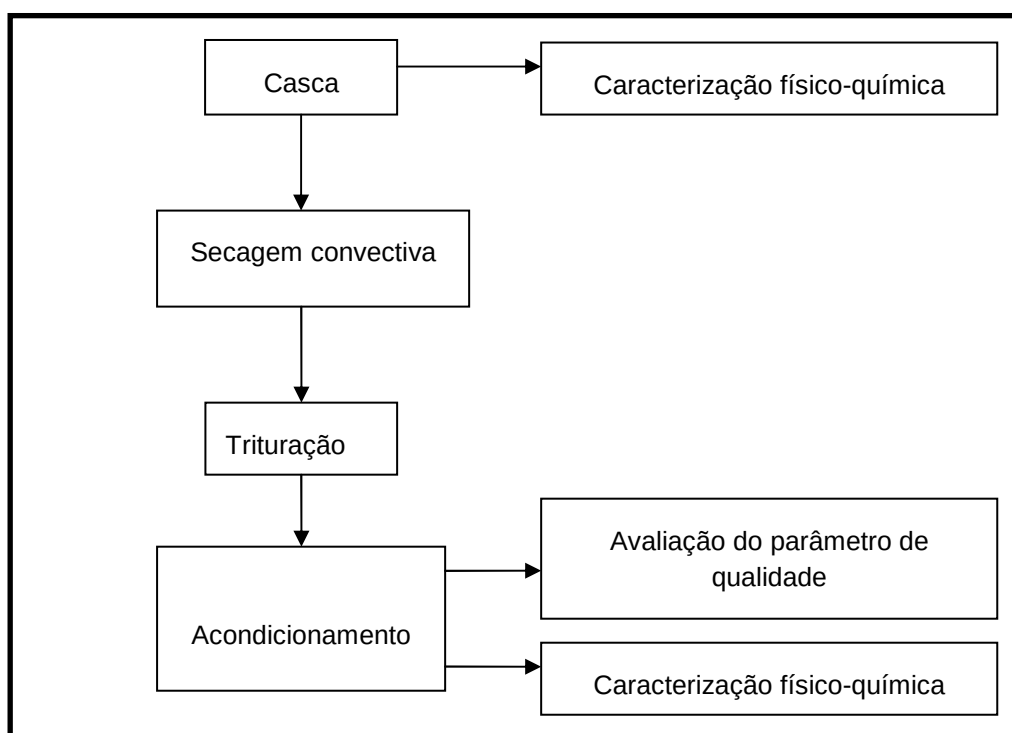


Figura 4.9 – Fluxograma de obtenção da farinha da casca de melancia.

#### *4.6.1 Secagem convectiva*

A casca da melancia foi submetida ao mesmo procedimento, já descrito anteriormente, para secagem convectiva da polpa desidratada e fresca, bem como a modelagem matemática.

#### *4.6.2 Trituração*

A casca de melancia seca foi submetida a um tritramento durante quatro minutos em multiprocessador de bancada (Mallory).

#### *4.6.3 Acondicionamento*

A farinha da casca de melancia foi acondicionada de forma idêntica ao apresentado no item 4.5.2.2 para os derivados da polpa de melancia.

### **4.7 Capacidade de predição dos modelos matemáticos**

A capacidade de predição dos modelos matemáticos (Fick, empírico de dois parâmetros e semi-empírico de Page) foi avaliada para as secagens da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente e da casca fresca.

Como critério para determinação dos modelos que melhor representaram os dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio relativo médio (P) (Equação 4.7), a seguir:

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\left| u_{e\text{exp}} - u_{e\text{pre}} \right|}{u_{e\text{exp}}} \quad (4.7)$$

Sendo,  $u_{e\text{exp}}$  os valores obtidos experimentalmente,  $u_{e\text{pre}}$  os valores preditos pelo modelo e  $n$  o número de observações realizadas.

#### 4.8 Análise dos dados

Os resultados das análises físico-químicas foram avaliados por meio do desvio-padrão entre as triplicatas. Para a análise do planejamento experimental utilizou-se o programa STATISTICA 7.0 (2004).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização físico-química das matérias-primas

A caracterização físico-química da polpa de melancia fresca e da casca foi realizada de acordo com os métodos referenciados no item 4.3 e está demonstrada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Caracterização físico-química da casca e da polpa da melancia *in natura*.

| Análise                               | Valor médio   |               |
|---------------------------------------|---------------|---------------|
|                                       | Polpa         | Casca         |
| Atividade de água                     | 0,982 ± 0,001 | 0,987 ± 0,001 |
| Conteúdo de umidade (%)               | 92,74 ± 0,54  | 93,52 ± 0,25  |
| Sólidos solúveis ( <sup>0</sup> Brix) | 8,50 ± 0,10   | 4,00 ± 0,10   |
| Acidez total titulável*               | 1,75 ± 0,01   | 1,18 ± 0,01   |
| pH                                    | 5,55 ± 0,01   | 5,01 ± 0,01   |
| Açúcares redutores (%)                | 4,11 ± 0,15   | 0,50 ± 0,00   |
| Açúcares totais (%)                   | 6,24 ± 0,00   | 0,52 ± 0,00   |
| Carotenóides totais (µg/g)            | 31,51 ± 5,59  | **            |
| Cinzas (%)                            | 0,26 ± 0,01   | 0,34 ± 0,04   |

\*expressa em ácido málico; \*\*análise não realizada

Comparando os resultados físico-químicos para a polpa de melancia demonstrados na Tabela 5.1 aos obtidos por Lima et al. (2006), Mori (1986) e NEPA (2005), se observa que o conteúdo de umidade encontra-se dentro do intervalo (90,70 - 93,00%) referido na literatura. Enquanto que o teor de açúcares totais e acidez total titulável apresentam-se abaixo dos valores encontrados em estudos. Nota-se, ainda, que o teor de cinzas está próximo ao encontrado por Lima et al. (2006). Os valores de atividade de água, pH e sólidos solúveis encontram-se superiores ao referenciado por Barroso et al. (2008). A quantidade de carotenóides

totais em licopeno está abaixo do valor de 48,68µg/g encontrado por Edwards et al. (2003).

As diferenças entre os resultados obtidos e os expostos na literatura podem estar relacionadas a fatores que afetam a composição das matérias-primas tais como variedade, época do ano, técnicas de plantio (solo, irrigação), localização geográfica, dentre outros fatores.

Em razão da ausência de estudos analisando conjuntamente o mesocarpo e endocarpo, os resultados obtidos foram comparados com o estudo do mesocarpo (parte branca da melancia) realizado por Barroso et al. (2008). Desta forma, observa-se que o valor de pH foi próximo ao referenciado na literatura, enquanto que o conteúdo de umidade e atividade de água foram ligeiramente inferiores, destacando-se um valor igual para sólidos solúveis, no entanto, bastante superior para a acidez e inferior para cinzas.

Além dos fatores anteriormente mencionados, as discordâncias entre os resultados podem ser justificadas pelo alto teor de umidade característico do mesocarpo da melancia.

Vale ainda destacar que a diferença essencial entre a casca *in natura* e polpa *in natura* analisadas nesse estudo é representada pelo elevado teor de açúcares na polpa.

## 5.2 Desidratação osmótica da polpa de melancia

Os dados experimentais para a perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e das relações entre perda de peso e ganho de sólidos com a perda de água (PP/PA e GS/PA, respectivamente) durante o processo de desidratação osmótica de cubos de melancia em soluções de sacarose, conforme o planejamento experimental proposto, encontram-se na Tabela 5.2, a seguir.

Vale ressaltar que a melhor condição definida foi aquela que promoveu maior perda de água com menor ganho de sólidos, tendo-se, portanto, uma maximização da perda de peso do material.

As respostas obtidas foram submetidas à análise estatística sendo que os efeitos foram estimados a um nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ), ou seja,

admitiu-se um intervalo de confiança de 95%. Posteriormente, somente os efeitos que apresentaram significância foram analisados através da Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para o planejamento estudado.

Tabela 5.2 – Valores experimentais das variáveis dependentes para as diferentes condições de desidratação osmótica da polpa de melancia em soluções de sacarose.

| ENSAIOS | TRATAMENTOS |            |            | RESPOSTAS |       |       |       |       |
|---------|-------------|------------|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|         | T (°C)      | C (%p/p)   | t (min)    | PP(%)     | PA(%) | GS(%) | GS/PA | PP/PA |
| 1       | 34 (-1)     | 44 (-1)    | 120 (-1)   | 47,15     | 72,63 | 25,48 | 0,35  | 0,65  |
| 2       | 34 (-1)     | 56 (+1)    | 120 (-1)   | 63,17     | 75,44 | 12,27 | 0,16  | 0,84  |
| 3       | 34 (-1)     | 44 (-1)    | 210 (+1)   | 52,83     | 72,15 | 19,32 | 0,27  | 0,73  |
| 4       | 34 (-1)     | 56 (+1)    | 210 (+1)   | 58,31     | 70,42 | 12,11 | 0,17  | 0,83  |
| 5       | 46 (+1)     | 44 (-1)    | 120 (-1)   | 45,95     | 73,50 | 27,55 | 0,37  | 0,63  |
| 6       | 46 (+1)     | 56 (+1)    | 120 (-1)   | 50,56     | 72,04 | 21,48 | 0,30  | 0,70  |
| 7       | 46 (+1)     | 44 (-1)    | 210 (+1)   | 48,37     | 71,54 | 23,17 | 0,32  | 0,68  |
| 8       | 46 (+1)     | 56 (+1)    | 210 (+1)   | 55,00     | 69,86 | 14,86 | 0,21  | 0,79  |
| 9       | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    | 46,59     | 69,66 | 23,07 | 0,33  | 0,67  |
| 10      | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    | 47,65     | 70,05 | 22,40 | 0,32  | 0,68  |
| 11      | 40 (0)      | 50 (0)     | 165 (0)    | 45,73     | 70,21 | 24,48 | 0,35  | 0,65  |
| 12      | 30 (-1,68)  | 50 (0)     | 165 (0)    | 48,20     | 71,25 | 23,05 | 0,32  | 0,68  |
| 13      | 50 (1,68)   | 50 (0)     | 165 (0)    | 54,20     | 69,33 | 15,13 | 0,22  | 0,78  |
| 14      | 40 (0)      | 40 (-1,68) | 165 (0)    | 46,43     | 70,89 | 24,46 | 0,35  | 0,65  |
| 15      | 40 (0)      | 60 (1,68)  | 165 (0)    | 62,09     | 73,20 | 11,11 | 0,15  | 0,85  |
| 16      | 40 (0)      | 50 (0)     | 90 (-1,68) | 43,88     | 71,20 | 27,32 | 0,38  | 0,62  |
| 17      | 40 (0)      | 50 (0)     | 240 (1,68) | 48,88     | 69,27 | 20,39 | 0,29  | 0,71  |

Tabela 5.3 - Valores dos coeficientes de regressão polinomial de segunda ordem do modelo estatístico para as variáveis dependentes do processo de desidratação osmótica da polpa de melancia em soluções de sacarose.

| Coeficientes | Parâmetros |          |          |           |          |
|--------------|------------|----------|----------|-----------|----------|
|              | PP         | PA       | GS       | GS/PA     | PP/PA    |
| $\beta_0$    | 46,92378   | 69,88488 | 23,44689 | 0,333060  | 0,666940 |
| $\beta_1$    | ns         | -0,50795 | ns       | ns        | ns       |
| $\beta_2$    | 4,32767    | ns       | -4,19424 | -0,058373 | 0,058373 |
| $\beta_3$    | 1,17783    | -0,94431 | -2,12214 | -0,026394 | 0,026394 |
| $\beta_{11}$ | 1,92315    | 0,39889  | -1,63640 | -0,024718 | 0,024718 |
| $\beta_{12}$ | ns         | -0,52797 | ns       | ns        | ns       |
| $\beta_{13}$ | ns         | ns       | ns       | ns        | ns       |
| $\beta_{22}$ | 3,00836    | 1,02290  | -2,09759 | -0,032668 | 0,032668 |
| $\beta_{23}$ | ns         | -0,59453 | ns       | ns        | ns       |
| $\beta_{33}$ | ns         | 0,38097  | ns       | ns        | ns       |

ns: não-significativo ( $p > 0,05$ )



A partir destas análises obtiveram-se os coeficientes de regressão para a equação polinomial de segunda ordem (Tabela 5.3), bem como os resultados da ANOVA (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Análises de variância para a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, ganho de sólidos/perda de água e perda de peso/perda de água no processo de desidratação osmótica de melancia em soluções de sacarose.

| Fonte                                          | SQ       | GL | MQ       | F <sub>c</sub> | F <sub>t</sub>          |
|------------------------------------------------|----------|----|----------|----------------|-------------------------|
| <b>Perda de peso (PP)</b>                      |          |    |          |                |                         |
| Regressão                                      | 431,4008 | 4  | 107,8502 | 11,52          | 3,22                    |
| Resíduo                                        | 112,3589 | 12 | 9,3632   | -              | -                       |
| Falta de ajuste                                | 136,1071 | 10 | -        | -              | -                       |
| Erro puro                                      | 1,8495   | 2  | -        | -              | -                       |
| Total                                          | 543,7597 | 16 | -        | -              | R <sup>2</sup> = 0,7462 |
| <b>Perda de água (PA)</b>                      |          |    |          |                |                         |
| Regressão                                      | 35,9293  | 7  | 5,1328   | 5,00           | 3,22                    |
| Resíduo                                        | 9,2418   | 9  | 1,0269   | -              | -                       |
| Falta de ajuste                                | 12,3423  | 7  | -        | -              | -                       |
| Erro puro                                      | 0,1591   | 2  | -        | -              | -                       |
| Total                                          | 45,1711  | 16 | -        | -              | R <sup>2</sup> = 0,7432 |
| <b>Ganho de sólidos (GS)</b>                   |          |    |          |                |                         |
| Regressão                                      | 388,6020 | 4  | 97,1506  | 15,13          | 3,22                    |
| Resíduo                                        | 77,0660  | 12 | 6,4222   | -              | -                       |
| Falta de ajuste                                | 90,3250  | 10 | -        | -              | -                       |
| Erro puro                                      | 2,2540   | 2  | -        | -              | -                       |
| Total                                          | 465,6690 | 16 | -        | -              | R <sup>2</sup> = 0,8011 |
| <b>Ganho de sólidos /Perda de água (GS/PA)</b> |          |    |          |                |                         |
| Regressão                                      | 0,0767   | 4  | 0,0191   | 15,17          | 3,22                    |
| Resíduo                                        | 0,0152   | 12 | 0,0013   | -              | -                       |
| Falta de ajuste                                | 0,0184   | 10 | -        | -              | -                       |
| Erro puro                                      | 0,0004   | 2  | -        | -              | -                       |
| Total                                          | 0,0918   | 16 | -        | -              | R <sup>2</sup> = 0,7952 |
| <b>Perda de peso/Perda de água (PP/PA)</b>     |          |    |          |                |                         |
| Regressão                                      | 0,0767   | 4  | 0,0191   | 15,17          | 3,22                    |
| Resíduo                                        | 0,0152   | 12 | 0,0013   | -              | -                       |
| Falta de ajuste                                | 0,0184   | 10 | -        | -              | -                       |
| Erro puro                                      | 0,0004   | 2  | -        | -              | -                       |
| Total                                          | 0,0918   | 16 | -        | -              | R <sup>2</sup> = 0,7953 |

SQ: soma quadrática; GL: grau de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>c</sub>: Fator calculado ( $p \leq 0,05$ ); F<sub>t</sub>: Fator tabelado ( $p \leq 0,05$ ).

O efeito estimado de uma variável indica o quanto esta exerce de influência sobre a resposta. Desta forma, quanto maior for o seu valor, maior será a sua influência sobre a resposta. Um efeito positivo sobre a resposta indica que, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta diminui.

Vale destacar que os valores dos coeficientes, demonstrados na Tabela 5.3, representam a metade dos valores numéricos referentes aos efeitos estudados.

Observando a Tabela 5.3 pode-se concluir que a concentração linear ( $\beta_2$ ) apresentou influência positiva próxima ao da quadrática ( $\beta_{22}$ ), sendo estas duas as maiores influências sobre o parâmetro perda de peso (PP), seguida pela temperatura quadrática ( $\beta_{11}$ ) e pelo tempo linear ( $\beta_3$ ). A perda de água sofreu influências positivas do tempo, concentração e temperatura quadráticas ( $\beta_{13}$ ,  $\beta_{22}$ ,  $\beta_{11}$ , respectivamente) e, quanto maior a temperatura e o tempo lineares ( $\beta_2$  e  $\beta_3$ ) menor será a resposta da perda de água. Enquanto que as respostas sobre o ganho de sólidos foram negativas, indicando que o aumento da concentração e do tempo lineares é significativamente importante para uma redução no ganho de sólidos, sendo este efeito decorrente também do aumento quadrático da temperatura e concentração ( $\beta_{11}$  e  $\beta_{22}$ ) de processo. As relações perda de peso/perda de água (PP/PA) e ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) apresentaram respostas inversas, conforme o esperado. Assim, quanto maiores os valores da concentração e do tempo lineares ( $\beta_2$  e  $\beta_3$ ) maiores foram as respostas para PP/PA e menor para GS/PA. Tais influências também foram encontradas para temperatura e concentração quadráticas ( $\beta_{11}$  e  $\beta_{22}$ ).

Como forma de avaliar as Análises de variância das respostas do processo de desidratação osmótica da polpa de melancia considerou-se o proposto por Box e Wetz (1993) os quais afirmam que o modelo pode ser considerado preditivo quando o fator calculado é no mínimo 4 a 5 vezes o fator tabelado. Desta forma, tem-se de acordo com a Tabela 5.4, que somente o modelo para a perda de água não obteve valor de regressão compatível com o previsto, conseqüentemente, as curvas geradas a partir deste modelo podem somente mostrar o comportamento de cada variável independente nas respostas. No entanto, este parâmetro pode ser avaliado pelas relações GS/PA e PP/PA uma vez que estas se apresentaram preditivas.

A Tabela 5.4 ainda demonstra os coeficientes de correlação  $R^2$  obtidos para os modelos ajustados, com ajuste entre 74 e 80%.

A Figura 5.1, a seguir, demonstra a interação das variáveis independentes (concentração e temperatura da solução osmótica e do tempo de imersão) sobre cada variável dependente (perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, ganho de sólidos/perda de água, perda de peso/perda de água) durante o processo de desidratação osmótica da polpa de melancia em soluções de sacarose por meio de curvas de nível e de superfície de resposta.

De acordo com a Figura 5.1(a) observa-se que uma maior perda de peso é alcançada a partir de concentração da solução superior a 60% p/p a qualquer temperatura e tempo de processo. Para a Figura 5.1 (b), tem-se bem definido um melhor resultado para a variável perda de água à baixa temperatura ( $30^{\circ}\text{C}$ ), menor tempo de processo (90 min) e maior percentual de concentração da solução de sacarose (60% p/p).

Para ganho de sólidos, ganho de sólidos/perda de água e perda de peso/perda de água o parâmetro de maior influência é a concentração da solução de sacarose, observando-se que valores próximos a 60% p/p maximizam os efeitos positivos nestes parâmetros. A estas variáveis dependentes os extremos de temperatura expressam-se positivos para maior perda de água e perda de peso e menor ganho de sólidos. Salienta-se que, visualmente, níveis maiores de 165 minutos para o tempo maiores favorecem o processo, no entanto, avaliando-se numericamente as respostas obtidas não se percebe uma variação entre tais influências (Figuras 5.1 (c), (d) e (e)). Neste experimento pode-se verificar que a maiores concentrações da solução de sacarose tem-se uma redução da atividade de água desta solução, elevando a diferença de pressão osmótica entre o material e o meio circundante, favorecendo a saída de água. Tal fato corrobora com o exposto por Sereno et al. (2001), os quais afirmaram que a transferência de massa, tanto de água quanto dos solutos, observada durante o contato entre o material e a solução osmótica é causada pela diferença de potencial químico, sendo expressa pela atividade de água, entre o material e a solução.

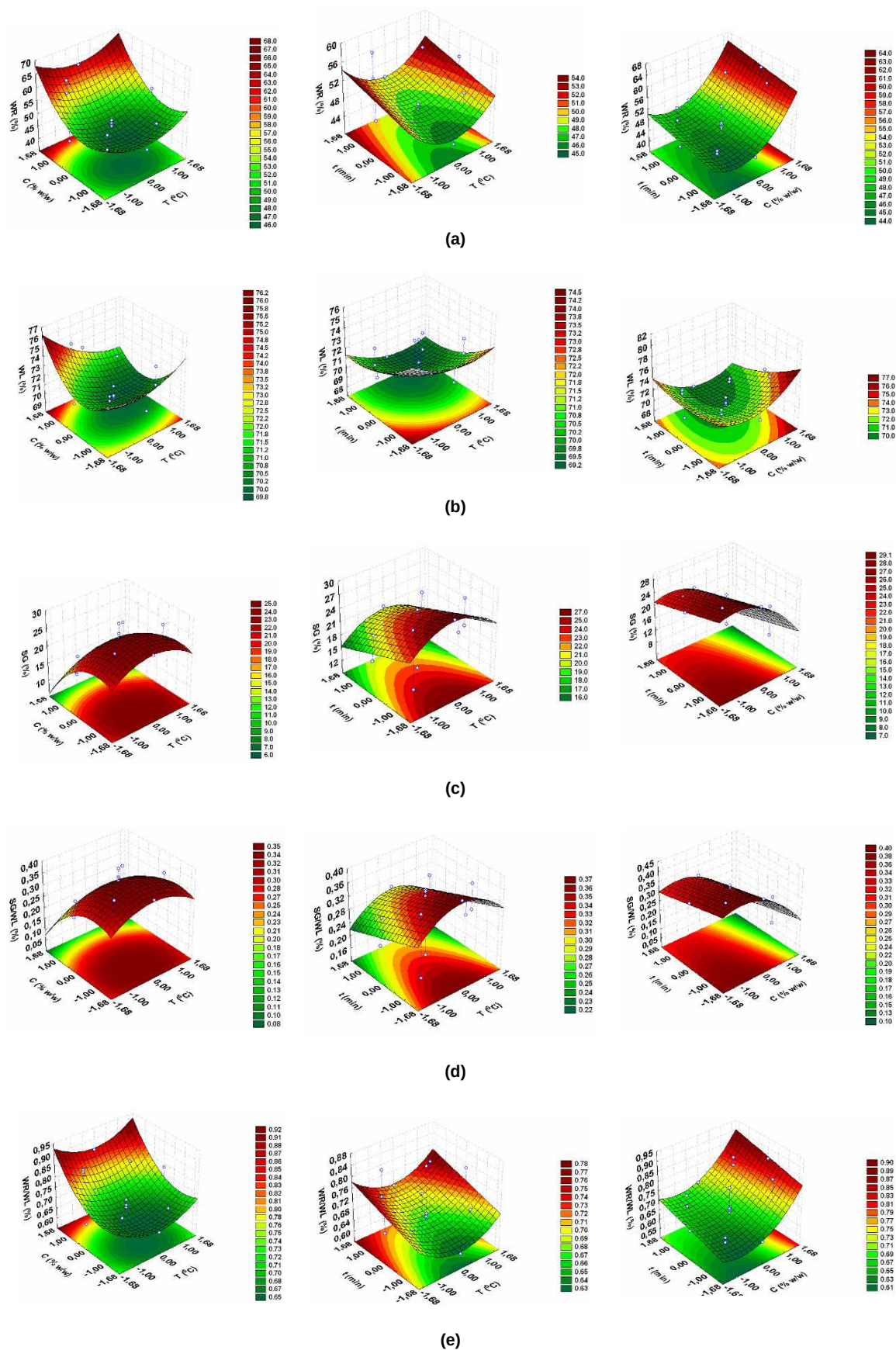


Figura 5.1 - Influência da concentração, temperatura da solução osmótica e do tempo de imersão codificados na (a) PP, (b) PA, (c) GS, (d) GS/PA e (e) PP/PA da melancia desidratada osmoticamente em soluções de sacarose.

Frente às análises das respostas obtidas por meio do planejamento estatístico, pode-se afirmar que a melhor condição se caracteriza por maior concentração (60% p/p), menor temperatura (30°C) e menor tempo de processo (90min). Isso porque, em tais condições, observa-se uma difusividade mássica máxima de água do material estudado para o meio circundante, lixiviando os solutos próximos à superfície da amostra, ocasionando uma menor incorporação de sólidos, alcançando o objetivo de tal experimento. Salienta-se que esta condição é importante no sentido de utilizar uma temperatura ambiente e curto período de processo, minimizando os gastos operacionais.

Desta forma, destaca-se que a polpa de melancia foi desidratada na melhor condição supracitada e, só depois submetida aos processos de secagem convectiva a três diferentes temperaturas.

#### *5.2.1 Qualidade do produto desidratado*

A polpa de melancia submetida à melhor condição de desidratação osmótica teve sua qualidade avaliada mediante as análises de atividade de água ( $a_w$ ), umidade e carotenóides em licopeno.

Após a desidratação a atividade de água do material passou de  $0,982 \pm 0,000$  para  $0,977 \pm 0,000$ , enquanto que a umidade reduziu de  $89,52 \pm 0,51$  para  $74,97 \pm 0,10$ . Estas reduções podem não ter sido significativas devido a esta condição propiciar menor ganho de sólidos.

O valor de atividade de água do produto osmodesidratado é, segundo, a Comissão Internacional de Microbiologia de Alimentos (ICMSF, 2001) superior aos mínimos necessários para o desenvolvimento de bactérias, bolores e leveduras. Portanto, não pode ser considerado adequado do ponto de vista de conservação.

E, devido o produto não ter alcançado o teor de umidade máximo de 25% preconizado pela Resolução nº12 da legislação brasileira de 1978 para frutas secas, classifica-se a polpa desidratada osmoticamente em sacarose como um produto de umidade intermediária (BRASIL, 1978).

A fim de adequar o produto ao valor de umidade referido, bem como reduzir custos referentes ao uso de embalagens apropriadas à aplicação de atmosfera

controlada, favorecendo um ambiente adequado de armazenamento como forma de conservar suas características de produto seco, sobretudo os seus aspectos nutricionais, bioquímicos e microbiológicos se faz necessário complementar o processo por meio do emprego da secagem convectiva como forma de reduzir a umidade do produto, proporcionando-o uma maior estabilidade por um tempo prolongado.

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível, até níveis seguros para armazenagem, conseqüentemente será reduzida a velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de microrganismos (SOUZA NETO et al., 2005).

A polpa de melancia submetida à melhor condição de desidratação osmótica apresentou  $162,36 \pm 9,28$  de carotenóides em licopeno, representando uma concentração de quase cinco vezes o valor encontrado na polpa *in natura*.

### **5.3 Secagem convectiva**

#### *5.3.1 Cinética de secagem para a polpa fresca e para a polpa submetida à melhor condição de pré-tratamento osmótico*

Estudando as duas condições de secagem (polpa fresca e pré-tratada osmoticamente) têm-se na Tabela 5.5 os valores das umidades médias relativas do ar de secagem, UR (%), assim como, as umidades de equilíbrio,  $X_e$  ( $b_s$ ). Estas últimas foram obtidas pesando-se as amostras periodicamente até que fosse alcançado o equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e do ar de secagem, atingido o peso constante (variação máxima de 0,05g). A variável analisada foi a temperatura do ar de secagem, a qual variou de 40 a 60°C.

Tabela 5.5 - Parâmetros de processo da secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose.

| Condições de processo | Polpa fresca |                         | Polpa pré-tratada osmoticamente |                         |
|-----------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
|                       | UR média (%) | $X_e$ (b <sub>s</sub> ) | UR média (%)                    | $X_e$ (b <sub>s</sub> ) |
| T = 40°C              | 47,00        | 0,23                    | 46,00                           | 0,21                    |
| T = 50°C              | 35,50        | 0,30                    | 35,00                           | 0,18                    |
| T = 60°C              | 18,00        | 0,14                    | 16,00                           | 0,16                    |

Observa-se, portanto, que as umidades relativas do ar de secagem foram satisfatórias para cada condição. No entanto, a umidade de equilíbrio não apresentou uma lógica em relação à variação da temperatura, pois a 50°C a polpa fresca apresentou uma  $X_e$  maior que à 40°C. Isto porque, são valores de um pseudo-equilíbrio já que os reais valores devem ser obtidos por meio de estudo de isoterma de sorção. Essa discordância pode, ainda, ser resultante da não utilização de amostra com as mesmas características físicas das utilizadas nos outros processos de secagem.

A obtenção dos dados de umidade da amostra, ao longo do tempo de processo, fornece a cinética de secagem. Os dados de cinética são apresentados nos Apêndices B e C. O período de taxa decrescente do processo de secagem foi utilizado como forma de avaliar a diferença entre as condições de estudo.

A Figura 5.2, a seguir, demonstra o comportamento de secagem através dos adimensionais de umidade em função do tempo de processo nas várias temperaturas do ar de secagem da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente.

Considerando o período de taxa decrescente, não houve diferença significativa entre os processos de secagem da polpa fresca às temperaturas de 50°C e 60°C, apresentando curvas de secagem mais acentuadas que a 40°C e, com tendência ao equilíbrio dinâmico após 120 minutos de processo. Percebe-se, ainda, que a secagem na menor temperatura necessitou de um maior tempo de processo, alcançando o equilíbrio dinâmico somente após 150 minutos (Figura 5.2). Estes resultados podem ser decorrentes do alto conteúdo de umidade nas amostras frescas, sendo, neste caso, o fator predominante no processo de secagem da polpa de melancia fresca, quando comparado à influência da temperatura de processo.

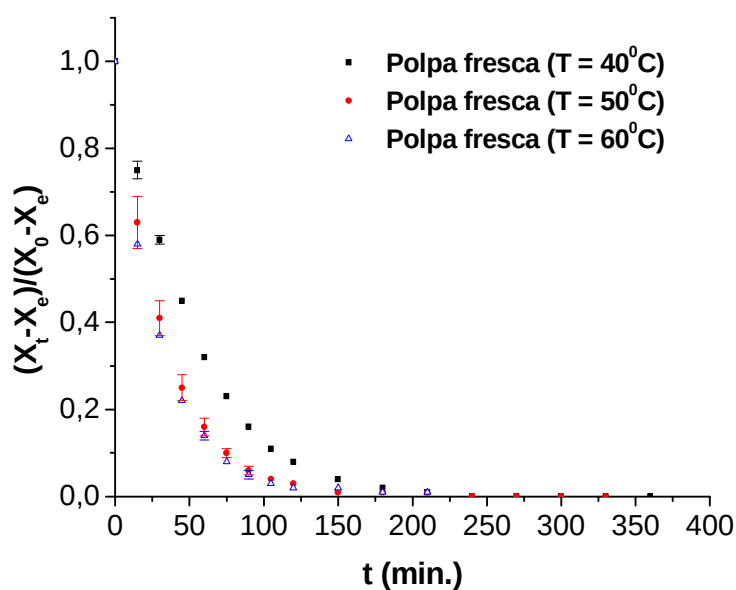


Figura 5.2 – Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem da polpa de melancia fresca a várias temperaturas de processo.

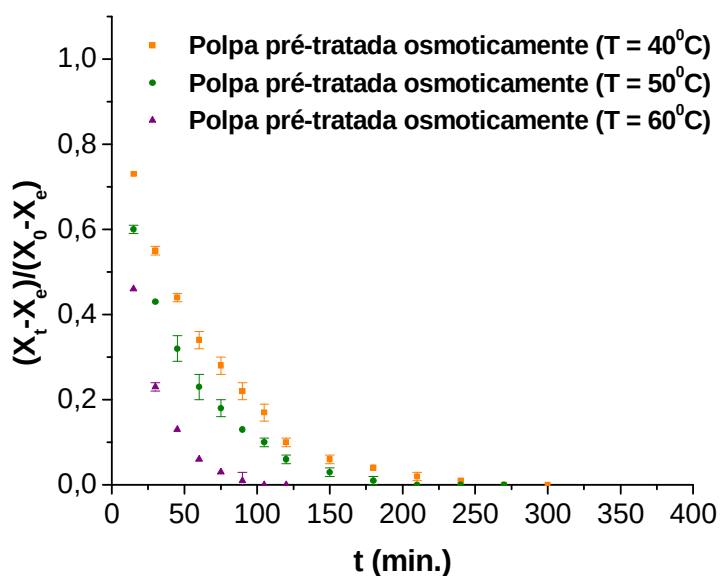


Figura 5.3 – Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente em sacarose a várias temperaturas de processo.

Para as amostras pré-tratadas osmoticamente em sacarose, observa-se que todas as curvas de secagem apresentaram diferença significativa. A maior temperatura de processo resultou em curva de secagem mais acentuada, alcançando o equilíbrio após 75 minutos. Nota-se que as amostras desidratadas



submetidas às secagens a 40<sup>0</sup>C e 50<sup>0</sup>C alcançaram o equilíbrio após 150 minutos. Assim, para que estas alcancem um mesmo conteúdo de umidade da amostra anterior faz-se necessário um maior tempo de processo (Figura 5.3).

Para estes casos a estrutura do material pré-desidratado passa a ser o fator predominante no processo quando comparado ao seu teor de umidade, resultando na maior influência da temperatura sobre as cinéticas de secagem e consequentemente sobre as taxas de secagem, como demonstradas nas Figuras 5.4 (a), (b) e (c), expostas a seguir.

As Figuras 5.4 (a), (b) e (c) demonstram uma comparação entre os adimensionais de umidade em função do tempo de processo as várias temperaturas do ar de secagem da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente.

Observa-se, nas Figuras 5.4 (a), (b) e (c), que tais processos de secagem apresentaram diferença significativa a uma mesma temperatura, refletindo em diferentes períodos de tempo para alcançar o equilíbrio dinâmico.

As amostras pré-tratadas em sacarose e submetidas a 40<sup>0</sup>C e 50<sup>0</sup>C apresentaram curva menos acentuada que a polpa fresca seca nessas temperaturas, necessitando, portanto, de um maior período de secagem (Figura 5.4 a,b).

Na Figura 5.4 (c), salienta-se que a amostra pré-tratada em sacarose quando submetida à temperatura de 60<sup>0</sup>C apresentou curva de secagem mais acentuada e, consequentemente, uma maior velocidade do processo de secagem ao comparar à polpa fresca, podendo ser devido à menor umidade relativa de processo como demonstrado na Tabela 5.5.

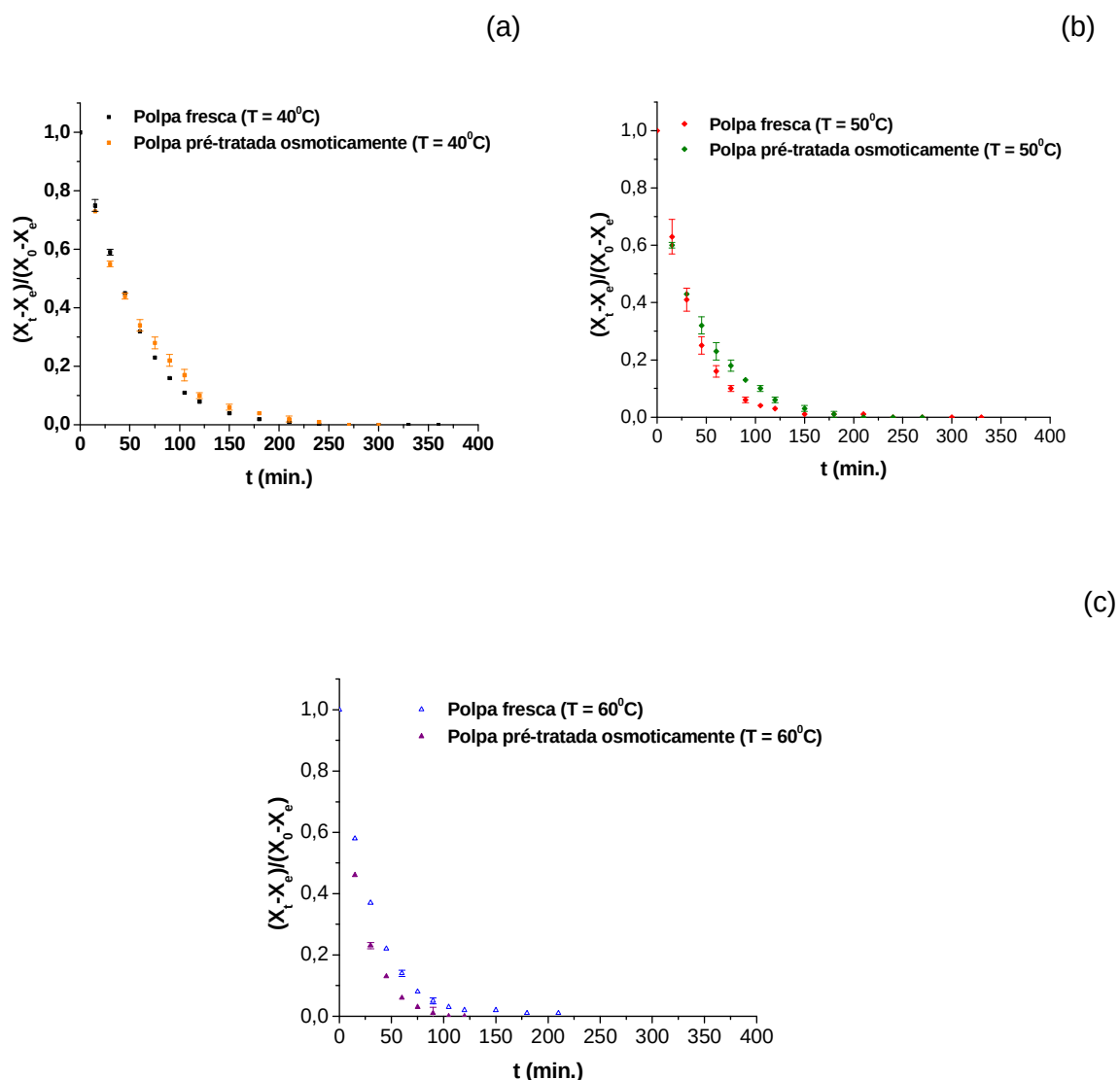


Figura 5.4 – Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente em sacarose a várias temperaturas de processo.

Tais resultados diferiram do encontrado por El-Aouar (2005) ao estudar mamão Formosa *in natura* e pré-tratado osmoticamente, o qual observou que as amostras frescas secam mais rapidamente que as pré-tratadas em solução de sacarose.

As Figuras 5.5 e 5.6 (a) e (b), a seguir, mostram a taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca das amostras (fruta fresca e pré-tratada osmoticamente em sacarose) durante o processo de secagem, detalhando o comportamento estrutural do material nos processos a diferentes temperaturas do ar de secagem.

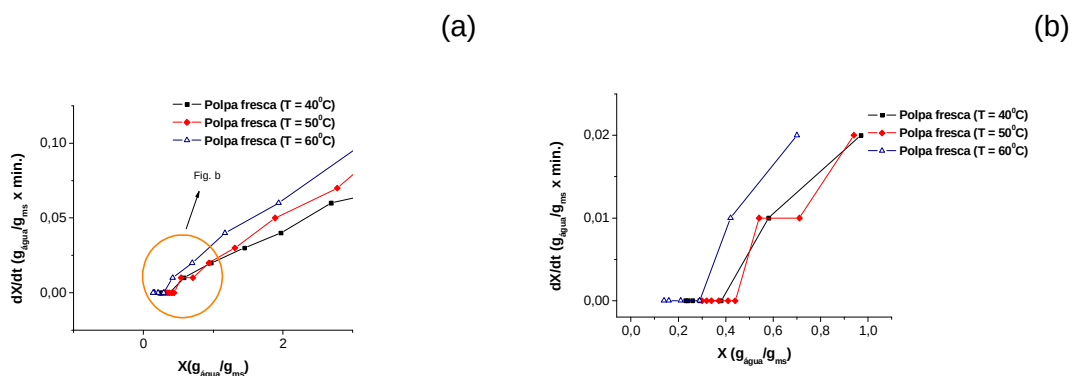


Figura 5.5 – Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca das amostras para o processo de secagem da polpa fresca de melancia a várias temperaturas de processo. (a) todos os pontos da taxa de secagem e do conteúdo de umidade; (b) conteúdo de umidade inferior a  $1,00g_{\text{água}}/g_{\text{ms}}$ .

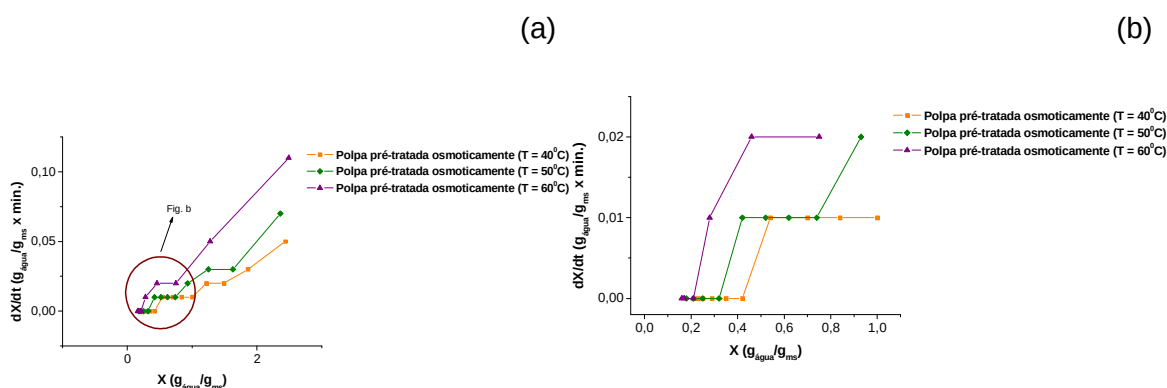


Figura 5.6 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca das amostras para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo. (a) todos os pontos da taxa de secagem e do conteúdo de umidade; (b) conteúdo de umidade inferior a  $1,00g_{\text{água}}/g_{\text{ms}}$ .

A partir das Figuras 5.5 (a) e 5.6 (a), observou-se que as taxas de secagem são mais altas no início do processo de secagem, quando o conteúdo de umidade é maior, ocorrendo um rápido declínio nas taxas de secagem para as amostras estudadas. Tem-se um comportamento de taxa de secagem exponencial em função da temperatura do ar de secagem tanto para as amostras frescas quanto para aquelas pré-tratadas osmoticamente em sacarose.

Destaca-se, nas Figuras 5.5 (a) e (b), que a taxa de secagem entre as amostras frescas a 60°C e 50°C concorda com a não diferença significativa discutida

entre estas amostras na Figura 5.2, apresentando quase que o mesmo comportamento para um mesmo conteúdo de umidade. Percebendo-se, também, que ao considerar as menores temperaturas ( $40^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$ ) as amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram menores taxas de secagem que as *in natura*, concordando com o observado por Azoubel (2002), El-Aouar, Azoubel e Murr (2003) e Sankat Castaigne, Maharaj (1996).

Nas Figuras 5.5 (b) e 5.6 (b), percebe-se que, para o trecho peculiar de secagem, conteúdo de umidade inferior a  $1,00\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{ms}}$  onde se tem maior resistência para a saída de água e é considerado o período final da secagem de produtos vegetais, as taxas de secagem continuaram a reduzir. As amostras frescas permaneceram apresentando uma secagem uniforme durante todo o processo, ou seja, o encolhimento do material foi proporcional à saída de água. Enquanto que as amostras pré-tratadas osmoticamente tendem a se estabilizar em decorrência da acomodação estrutural o que pode ser visualmente representada, em alguns pontos, por degraus de secagem. Esta resistência ao fluxo de água pode ser em função da impregnação de sólidos, durante a etapa de desidratação osmótica, resultando em conteúdo inicial de umidade reduzido favorecendo a menores taxas de secagem durante todo o processo.

O comportamento observado para as amostras frescas foi o mesmo obtido por Rodriguez et al. (2002) ao trabalharem com goiaba. Trabalhos de secagem de manga e maçã pré-tratadas osmoticamente apresentaram as mesmas respostas deste estudo (NIETO; CASTRO; ALZAMORA, 2001; NIETO et al., 1998).

### 5.3.2 Modelagem matemática da secagem para a polpa fresca e para a polpa submetida à melhor condição de pré-tratamento osmótico

Os dados experimentais foram ajustados pelo modelo Difusional ( $2^{\text{a}}$  Lei de Fick), considerando uma geometria cúbica, para o cálculo da difusividade efetiva de água ( $D_{\text{ef}}$ ) na melancia. Também foi utilizado o modelo semi-empírico de Page (PAGE, 1949) e o empírico exponencial de dois parâmetros.

As Figuras 5.7 a 5.12 mostram as modelagens mencionadas para a polpa de melancia fresca e pré-tratada osmoticamente em sacarose. Os valores de

difusividade efetiva de água se encontram nas Tabelas de 5.6 a 5.8, assim como os coeficientes de correlação ( $R^2$ ), os valores de desvio relativo médio (P) e demais parâmetros de ajuste.

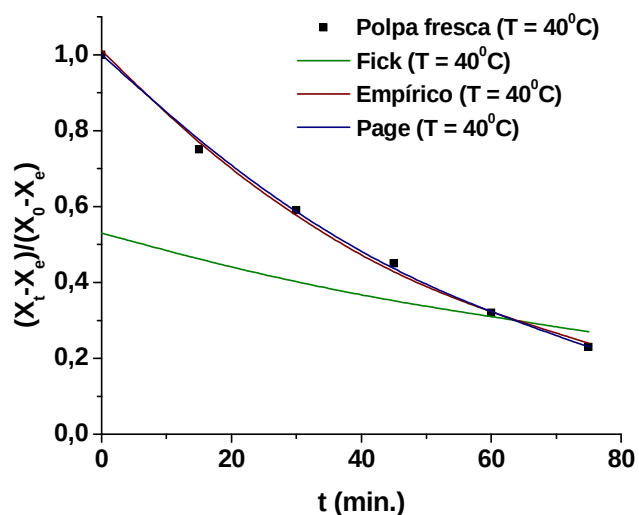


Figura 5.7 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa fresca de melancia a temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ .

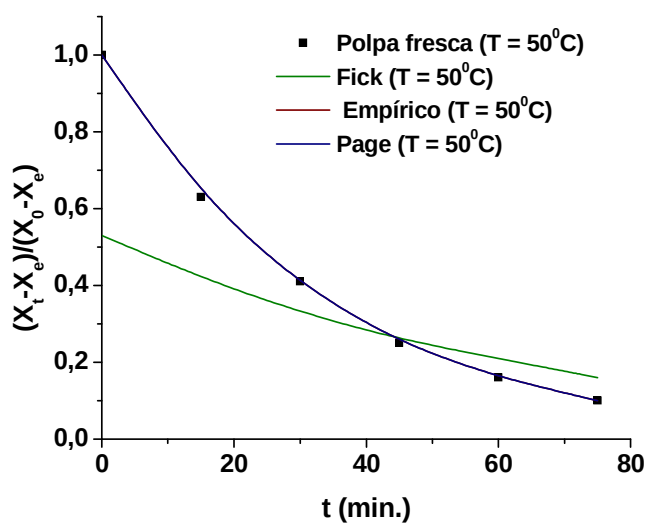


Figura 5.8 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa fresca de melancia a temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ .

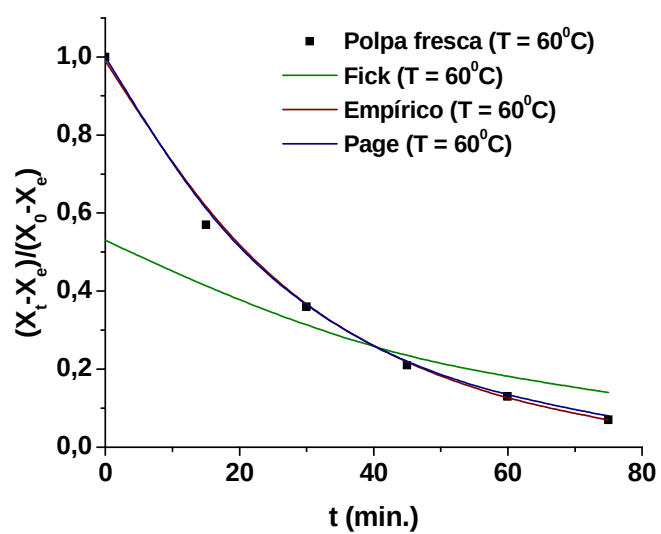


Figura 5.9 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa fresca de melancia a temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ .

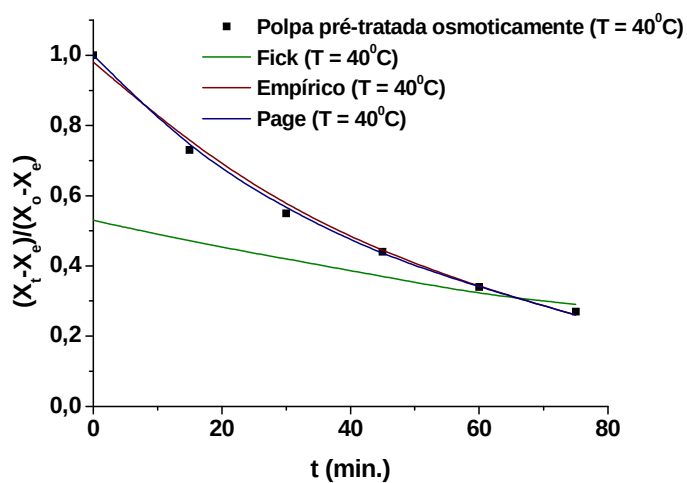


Figura 5.10 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ .

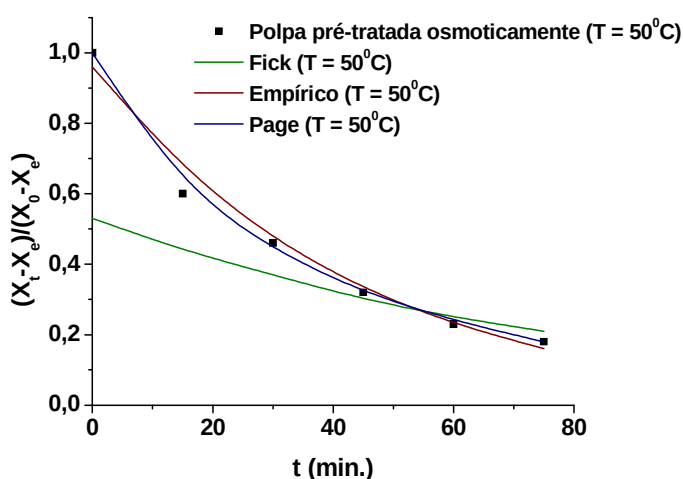


Figura 5.11 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de 50°C.

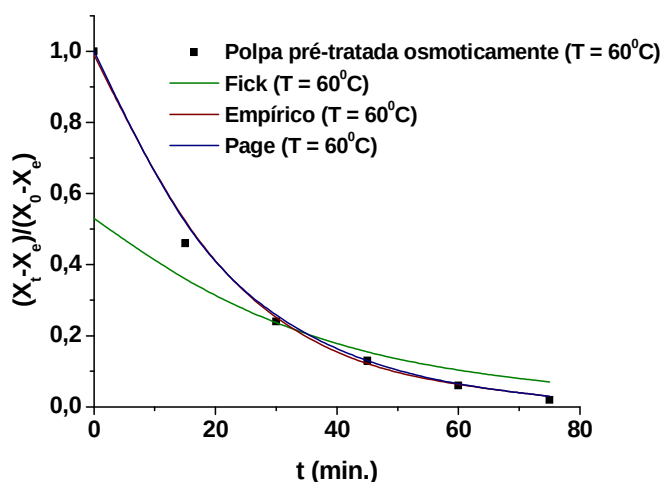


Figura 5.12 - Modelagem matemática para o processo de secagem da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente a temperatura de 60°C.

Submetendo os dados de secagem da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente aos modelos matemáticos, verifica-se, visualmente, que o modelo de Fick apresenta baixa flexibilidade aos dados experimentais em função dos graus de liberdade (Figuras 5.7 a 5.12), como se pode observar nos valores de  $R^2$  distantes da unidade e valores de P% muito acima do aceitável (10%), de acordo com Lomauro, Bakshi e Labusa (1995) (Tabela 5.6), logo a seguir.

Enquanto que, graficamente (Figuras 5.7 a 5.12) pode-se perceber que os modelos de Page e o empírico exponencial de dois parâmetros se ajustaram às condições de secagem da polpa fresca uma vez que apresentaram valores adequados de  $R^2$  e P%.

Tabela 5.6 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Difusional, durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo.

| Amostras                        | Temperatura (°C) | Modelo de Fick                              |                |       |
|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------|----------------|-------|
|                                 |                  | $D_{ef} \times 10^{11}$ (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) |
| Polpa fresca                    | 40°C             | 2,89                                        | 0,4574         | 30,80 |
|                                 | 50°C             | 7,52                                        | 0,7251         | 35,35 |
|                                 | 60°C             | 9,23                                        | 0,7613         | 39,78 |
| Polpa pré-tratada osmoticamente | 40°C             | 2,67                                        | 0,4472         | 24,53 |
|                                 | 50°C             | 5,43                                        | 0,6718         | 23,74 |
|                                 | 60°C             | 0,14                                        | 0,8094         | 63,35 |

Tabela 5.7 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Empírico exponencial de dois parâmetros durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e da pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo.

| Amostras                        | Temperatura (°C) | Modelo Empírico                             |                |       |        |         |
|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------|----------------|-------|--------|---------|
|                                 |                  | $D_{ef} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) | A      | B       |
| Polpa fresca                    | 40°C             | 2,85                                        | 0,9989         | 2,39  | 1,0043 | -0,0187 |
|                                 | 50°C             | 4,62                                        | 0,9999         | 0,92  | 0,9997 | -0,0304 |
|                                 | 60°C             | 5,30                                        | 0,9997         | 2,70  | 0,9947 | -0,0349 |
|                                 | 40°C             | 2,74                                        | 0,9975         | 3,28  | 0,9811 | -0,0180 |
| Polpa pré-tratada osmoticamente | 50°C             | 3,76                                        | 0,9930         | 6,47  | 0,9670 | -0,0247 |
|                                 | 60°C             | 7,33                                        | 0,9995         | 7,23  | 0,9948 | -0,0482 |

Tabela 5.8 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo de Page, durante a secagem convectiva da polpa de melancia fresca e pré-tratada osmoticamente a várias temperaturas de processo.

| Amostras                        | Temperatura (°C) | Modelo de Page                              |                |       |        |        |
|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------|----------------|-------|--------|--------|
|                                 |                  | $D_{ef} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) | K      | b      |
| Polpa fresca                    | 40°C             | 2,32                                        | 0,9992         | 1,43  | 0,0153 | 1,0520 |
|                                 | 50°C             | 4,60                                        | 0,9999         | 0,93  | 0,0303 | 1,0011 |
|                                 | 60°C             | 6,12                                        | 0,9998         | 3,44  | 0,0403 | 0,9608 |
|                                 | 40°C             | 4,65                                        | 0,9997         | 0,91  | 0,0306 | 0,8684 |
| Polpa pré-tratada osmoticamente | 50°C             | 8,77                                        | 0,9998         | 2,44  | 0,0577 | 0,7819 |
|                                 | 60°C             | 9,19                                        | 0,9997         | 13,07 | 0,0605 | 0,9332 |

Analisando as Tabelas 5.6 a 5.8 observa-se que o aumento da temperatura de processo provocou um maior valor da difusividade efetiva da água na melancia



fresca, mostrando que houve um decréscimo das resistências internas de secagem com o aumento da temperatura, conforme pode ser verificado nos gráficos de taxa de secagem demonstrados nas Figuras 5.5. Tal resultado corrobora com o encontrado por Park, Yado e Brod (2001) ao estudar pêras bartlett submetidas à secagem convectiva.

No entanto, percebe-se uma disparidade entre as ordens de grandeza da difusividade da água, com uma subestimação do modelo de Fick em 10 quando comparada às obtidas a partir dos outros dois modelos (Tabelas 5.6 a 5.8). E que os modelos semi-empírico de Page e empírico exponencial de dois parâmetros apresentaram ordem de grandeza compatível com a difusividade líquida ( $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

Observa-se, ainda que para o modelo de Page a constante de secagem K aumenta com o aumento da temperatura de processo, concordando com o concomitante aumento da difusividade efetiva, uma vez que é calculada a partir deste parâmetro, estando intimamente relacionado com o fluxo de saída de água. No entanto, o incremento na temperatura provocou uma redução no valor da constante b (Tabela 5.8). O modelo empírico apresentou aumento do valor da constante B com o acréscimo da temperatura, e redução no valor da constante A (Tabela 5.7).

Analisando as Figuras 5.10 a 5.12, bem como as Tabelas 5.6 a 5.8, verifica-se que as modelagens da cinética de secagem da polpa pré-tratada osmoticamente apresentaram um comportamento semelhante ao da polpa fresca, apresentando, portanto, as mesmas justificativas. No entanto, o valor de P% a partir da modelagem de Page para o processo de  $60^{\circ}\text{C}$  encontrou-se um pouco acima do recomendado por Lomauro, Bakshi e Labusa (1995). Para a constante b percebeu-se um comportamento indefinido concordando com o encontrado em trabalhos de Park et al. (2002) e El-Auoar (2003) ao trabalharem com as frutas pêra e mamão Formosa desidratadas osmoticamente.

Ainda nas tabelas 5.6 a 5.8, observa-se que o aumento na temperatura de processo para a secagem da polpa pré-tratada osmoticamente induz um maior valor da difusividade efetiva de água, em cada modelagem. Este comportamento pode ser observado na Figura 5.6, no entanto, não corrobora com vários estudos, tais como de Collignan, Raoult-Wack e Themelin (1992) e Mazza (1983) os quais afirmam que a formação de uma camada periférica de sacarose durante a desidratação osmótica e uma possível cristalização deste soluto durante o processo de secagem podem ser

responsáveis pelo aumento da resistência ao movimento da água durante a etapa de secagem, reduzindo com isso os valores de difusividade efetiva.

Com o exposto, o modelo empírico exponencial de dois parâmetros foi o mais preditivo para a secagem da polpa de melancia fresca e pré-tratada osmoticamente a qualquer das temperaturas estudadas, por ter apresentado melhores valores de  $R^2$  e P%, aliados a uma melhor concordância com as cinéticas de secagens demonstradas na Figura 5.4.

### 5.3.3 Qualidade dos produtos secos

Os produtos decorrentes da secagem da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente foram submetidos às análises de parâmetro de qualidade (umidade e atividade de água) como forma de avaliar a influência de cada processo de secagem convectiva a um mesmo período de tempo, 300 minutos para a polpa fresca e 210 minutos para a polpa submetida ao pré-tratamento osmótico (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 – Valores de umidade e atividade de água da polpa fresca e após os processos de secagem.

| Condições de processo | Polpa fresca  |              | Polpa seca   |              | Polpa desidratada e seca |              |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|
|                       | Umidade       | $a_w$        | Umidade      | $a_w$        | Umidade                  | $a_w$        |
| <b>T = 40°C</b>       | 88,32 ± 0,96  | 0,983 ± 0,00 | 18,78 ± 0,91 | 0,596 ± 0,05 | 17,19 ± 0,85             | 0,689 ± 0,02 |
| <b>T = 50°C</b>       | 87,50 ± 0,62  | 0,982 ± 0,00 | 23,25 ± 2,19 | 0,508 ± 0,03 | 16,51 ± 0,92             | 0,566 ± 0,03 |
| <b>T = 60°C</b>       | 90,66 ± 12,84 | 0,985 ± 0,00 | 12,65 ± 0,97 | 0,463 ± 0,06 | 13,19 ± 0,95             | 0,512 ± 0,03 |

A partir da Tabela 5.9 se percebe que a todas as temperaturas obteve-se uma umidade final compatível com o preconizado pela Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária nº12 de 1978, a qual indica que frutas secas devem apresentar umidade máxima de 25% (BRASIL, 1978).

Ainda de acordo com a Tabela 5.9, observa-se que os produtos decorrentes da secagem osmoconvectiva apresentaram valores de  $a_w$  ligeiramente superiores aos que não sofreram um pré-tratamento. Os produtos obtidos da polpa fresca, bem como os pré-tratados osmoticamente e secos a 50°C e 60°C apresentaram um valor de atividade de água, no qual é possível impedir o desenvolvimento dos microrganismos patogênicos, uma vez que estes apresentam valores ótimos de atividade de água acima de 0,60 (ICMSF, 2001).

A Tabela 5.10 demonstra os valores de carotenóides em licopeno para a polpa fresca e pré-tratada osmoticamente submetidas à secagem convectiva.

Tabela 5.10 - Teores de carotenóides da polpa de melancia fresca e pré-tratada após os processos de secagem convectiva.

| Condições de processo | Polpa seca (µg/g) | Polpa desidratada e seca (µg/g) |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------|
| T = 40°C              | 116,16 ± 4,79     | 101,46 ± 2,23                   |
| T = 50°C              | 143,68 ± 2,77     | 126,63 ± 8,40                   |
| T = 60°C              | 130,86 ± 1,42     | 136,56 ± 1,05                   |

O processo de desidratação pode ter favorecido um amolecimento da superfície da amostra devido ao atrito desta com a solução osmótica, conferindo ao produto seco um menor teor de carotenóides às temperaturas de 40°C e 50°C. No entanto, a 60°C o valor encontrado pode ser justificado pelo fato de que a essa temperatura a superfície da amostra fica rígida mais rapidamente, favorecendo certa proteção a este composto e, portanto, a escolha pelo processo de secagem a maior temperatura (60°C). Enquanto que para a polpa fresca obteve-se um maior valor a 50°C de temperatura de secagem.

Aliando os resultados de todos os parâmetros de qualidade às análises das cinéticas de secagem se infere como melhores temperaturas de processo 50°C para a polpa fresca (Figura 5.13 (a)) e 60°C para a polpa de melancia pré-tratada osmoticamente em sacarose (Figura 5.13 (b)).

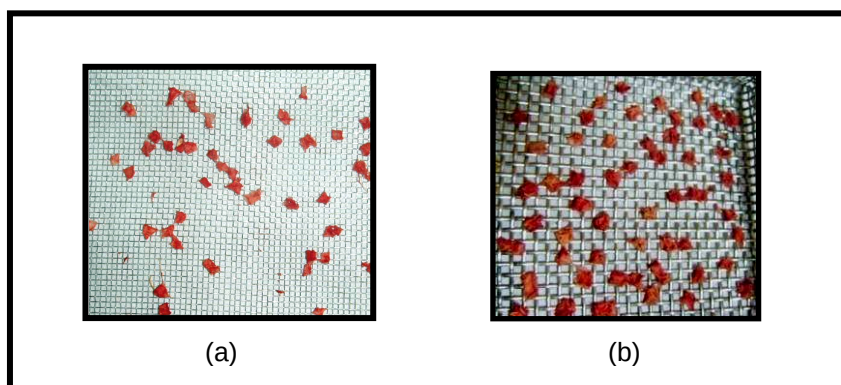


Figura 5.13 – Polpa de melancia fresca (a) e pré-tratada osmoticamente (b) submetida a melhor condição de secagem, 50°C e 60°C, respectivamente.

#### 5.3.4 Cinética de secagem para a casca fresca de melancia

Analisando as condições do processo de secagem da casca de melancia tem-se, na Tabela 5.11, os valores das umidades relativas médias do ar de secagem, UR (%), bem como, as umidades de equilíbrio,  $X_e$  (bs), obtidas ao final de cada processo quando as amostras atingiram o equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e do ar de secagem, ou seja, ao apresentarem um máximo de diferença entre os pesos consecutivos de 0,05g (peso constante). A variável estudada foi a temperatura do ar de secagem, a qual variou de 40 a 60°C.

Tabela 5.11 - Valores de umidade relativa do ar e umidade de equilíbrio para cada condição de secagem da casca de melancia fresca.

| Condições de processo | Casca fresca |            |
|-----------------------|--------------|------------|
|                       | UR (%)       | $X_e$ (bs) |
| T = 40°C              | 45           | 0,11       |
| T = 50°C              | 34           | 0,14       |
| T = 60°C              | 15           | 0,03       |

As umidades relativas do ar de secagem obtidas foram aceitáveis para cada condição de processo. Contudo, a umidade de equilíbrio não apresentou coerência em relação à variação da temperatura, pois a 50°C a casca fresca apresentou uma

$X_e$  maior que a encontrada à menor temperatura ( $40^{\circ}\text{C}$ ). Essa discrepância, como já descrito anteriormente, decorre do fato de tais valores representarem um pseudo-equilíbrio, uma vez que seus reais valores devem ser obtidos por meio de estudo de isoterma de sorção. Além disso, cita-se que pode ser resultado de uma maior espessura média em relação às outras secagens, bem como da composição química e estrutural da amostra.

De igual forma que para a cinética da polpa realizou-se a obtenção dos dados de umidade da casca fresca, ao longo do tempo de processo, a fim de obter a cinética de secagem (Apêndice D). Ressalta-se que foi utilizado o período de taxa decrescente do processo de secagem como forma de avaliar a diferença significativa entre as condições de estudo.

A Figura 5.14 mostra os adimensionais de umidade em função do tempo de processo a várias temperaturas do ar de secagem da casca de melancia.

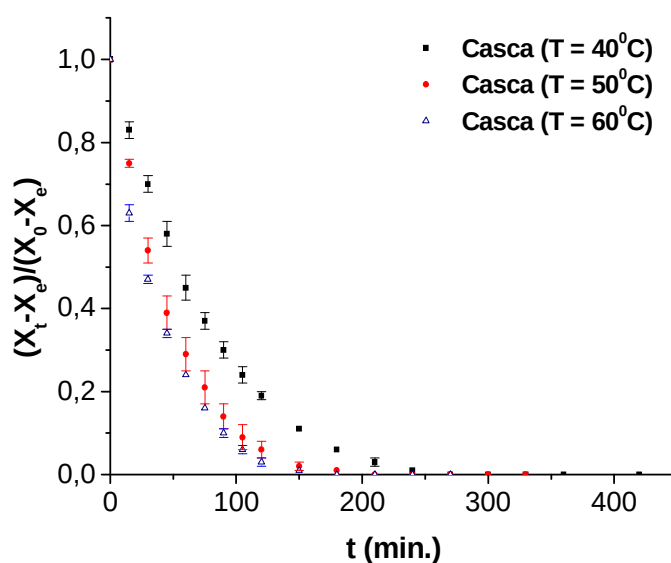


Figura 5.14 - Adimensional de umidade em função do tempo para a secagem da casca de melancia a várias temperaturas de processo de secagem.

Nesta figura, observa-se que as temperaturas de  $50^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$  apresentam curvas de secagem mais acentuadas que a menor temperatura estudada ( $40^{\circ}\text{C}$ ), e, por conseguinte, uma maior velocidade de secagem. Considerando o período de taxa decrescente, verifica-se que não houve diferença significativa quando

comparados os desvios-padrão entre os adimensionais de umidade obtidos nas duas maiores temperaturas de processo, alcançando o equilíbrio dinâmico após 120 minutos de secagem (Apêndice C). Apresentando, portanto, o mesmo comportamento que a polpa fresca estudada neste trabalho, possivelmente devido à proximidade dos valores de sua composição físico-química. Enquanto que a 40°C o equilíbrio só é alcançado após 180 minutos. Estes dados corroboram com o encontrado por Azoubel et al. (2008) ao estudarem secagem de casca de manga “Tommy Atkins”.

As Figuras 5.15 (a) e (b) demonstram a taxa de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras de casca de melancia, desenhando o comportamento estrutural do material nos diferentes processos de secagem a várias temperaturas do ar de secagem.

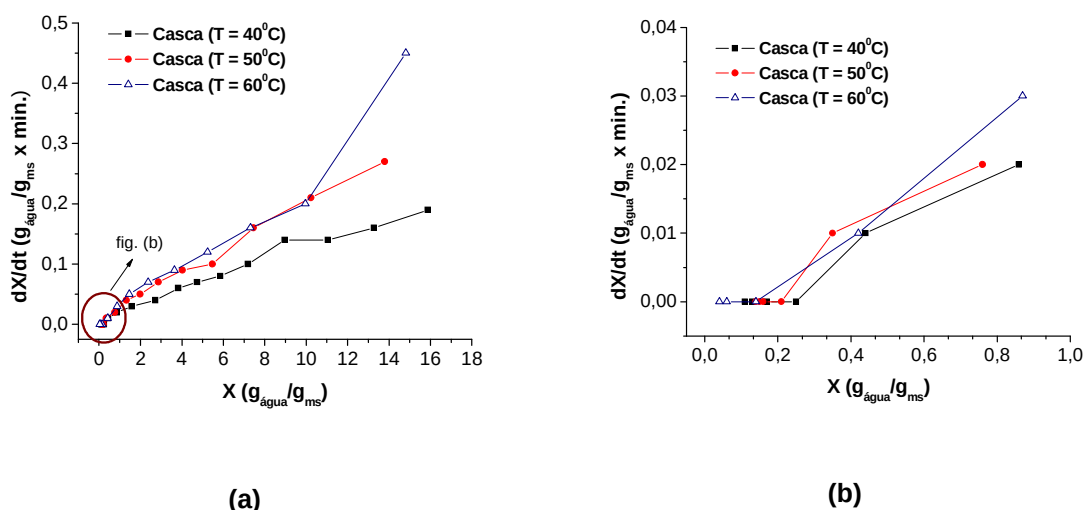


Figura 5.15 – Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras para o processo de secagem da casca de melancia a várias temperaturas de processo.

Confirmando a não diferença entre as maiores temperaturas tem-se um comportamento linear semelhante entre estas amostras, inferindo uma maior taxa de secagem às temperaturas de 50°C e 60°C em relação ao processo de secagem a 40°C. A partir da Figura 5.15 observa-se que inicialmente as taxas de secagens são maiores devido ao conteúdo inicial de umidade, tendo a temperatura do ar de secagem uma influência diretamente proporcional sobre a taxa de secagem das referidas amostras, com rápida redução dos seus valores, concordando com o

estudo de Alves (2003) ao analisar secagem de acerola (fresca e pré-tratada osmoticamente) e de Azoubel et al. (2008) ao analisarem casca de manga da variedade “Tommy Atkins”.

O material biológico apresentou secagens uniformes durante todo o processo, ou seja, o encolhimento do material foi proporcional à saída de água, portanto a casca apresentou pouca resistência à difusividade efetiva de água. Destaca-se que não foi claramente observado diferença nas taxas de secagem entre as amostras quando comparado a um mesmo valor de umidade próximo ao ponto de equilíbrio dinâmico (Figura 5.14 (b)). Concordando com os estudos de El-Aouar (2005) e por Rodriguez et al. (2002).

#### *5.3.5 Modelagem matemática da cinética de secagem da casca fresca de melancia*

Utilizaram-se os modelos Difusional (2<sup>a</sup> Lei de Fick), semi-empírico de Page (PAGE, 1949) e o empírico exponencial de dois parâmetros para os procedimentos de modelagem matemática, padronizando um mesmo período de processo de secagem (90 minutos).

As Figuras 5.16 a 5.18 mostram as modelagens para cada condição de secagem estudada. Os valores de difusividade efetiva da água se encontram nas Tabelas 5.12 a 5.14, assim como os coeficientes de correlação ( $R^2$ ), os valores de desvio relativo médio (P) e demais parâmetros de ajuste.

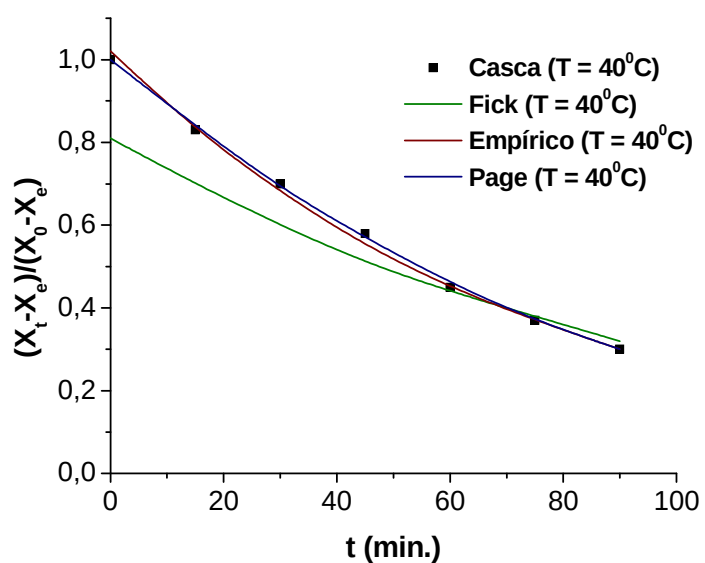


Figura 5.16 – Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 40°C de processo.

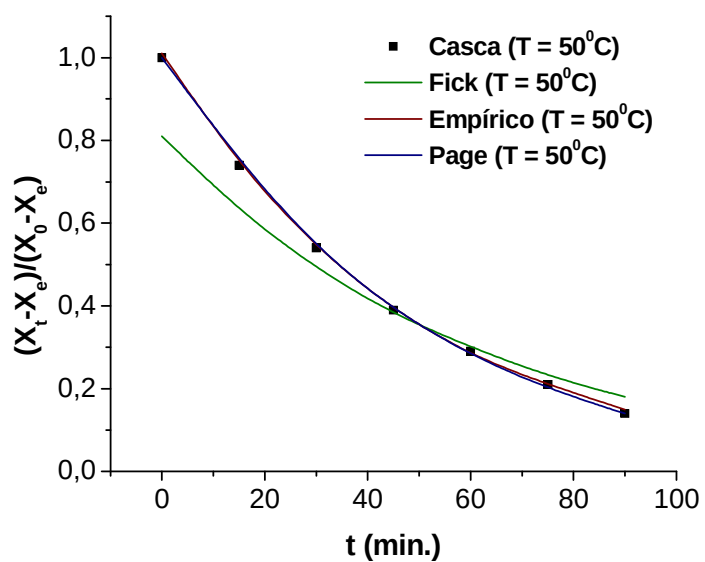


Figura 5.17 – Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 50°C de processo.



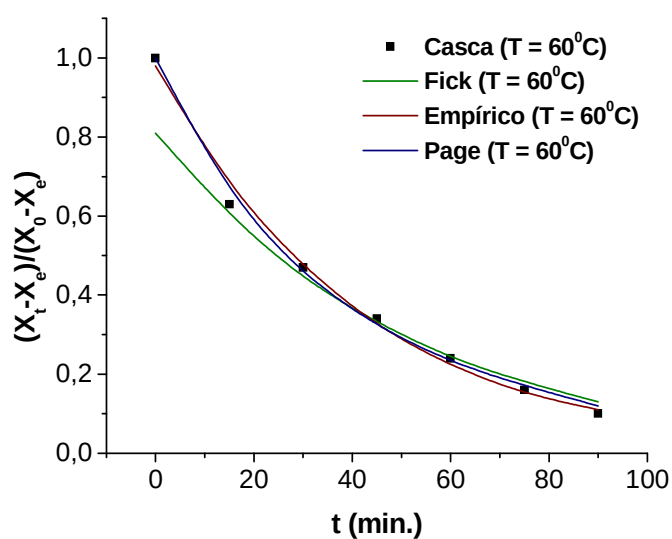


Figura 5.18 – Modelagem matemática para o processo de secagem de casca de melancia a temperatura de 60°C de processo.

Tabela 5.12 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo de Fick durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca.

| Temperatura | Modelo de Fick                             |                |       |
|-------------|--------------------------------------------|----------------|-------|
|             | Def x 10 <sup>10</sup> (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) |
| 40°C        | 3,82                                       | 0,9128         | 12,39 |
| 50°C        | 6,83                                       | 0,9526         | 13,85 |
| 60°C        | 8,51                                       | 0,9667         | 11,22 |

Tabela 5.13 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo Empírico exponencial de dois parâmetros durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca.

| Temperatura | Modelo Empírico                            |                |       |        |          |
|-------------|--------------------------------------------|----------------|-------|--------|----------|
|             | Def x 10 <sup>10</sup> (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) | A      | B        |
| 40°C        | 5,54                                       | 0,9989         | 1,96  | 1,0116 | - 0,0131 |
| 50°C        | 8,83                                       | 0,9997         | 2,04  | 1,0073 | -0,0209  |
| 60°C        | 10,40                                      | 0,9973         | 4,64  | 0,9778 | -0,0248  |

Tabela 5.14 - Parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo de Page durante a secagem convectiva da casca de melancia fresca.

| Temperatura | Modelo de Page                             |                |       |        |        |
|-------------|--------------------------------------------|----------------|-------|--------|--------|
|             | Def x 10 <sup>10</sup> (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> | P (%) | b      | K      |
| 40°C        | 3,83                                       | 0,9998         | 0,68  | 1,0869 | 0,0091 |
| 50°C        | 7,33                                       | 0,9999         | 0,99  | 1,0458 | 0,0174 |
| 60°C        | 16,50                                      | 0,9987         | 6,00  | 0,8852 | 0,0392 |

De acordo com as Tabelas 5.12 a 5.14, observa-se que quanto maior a temperatura de processo maximiza-se o valor da difusividade efetiva de água para cada modelagem, concordando com as análises dos gráficos de taxa de secagem (Figuras 5.15). E ao comparar com os dados de difusividade efetiva de água na polpa de melancia, sob os dois tratamentos (Tabelas 5.6 a 5.8), se verifica que estes valores são maiores para a casca uma vez que esta apresenta uma área superficial de contato com o ar de secagem cerca de dez vezes maior que a área das amostras de polpa fresca e pré-tratada osmoticamente.

O cálculo das áreas superficiais pode ser visualizado nas figuras 5.19 e 5.20, expostas a seguir.

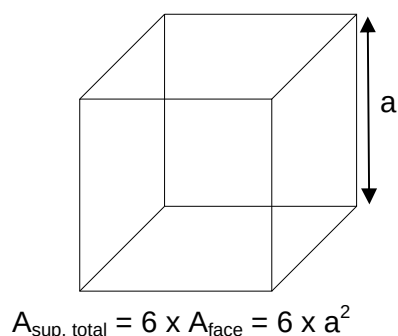


Figura 5.19 – Representação do cálculo da área superficial da amostra da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente da melancia.

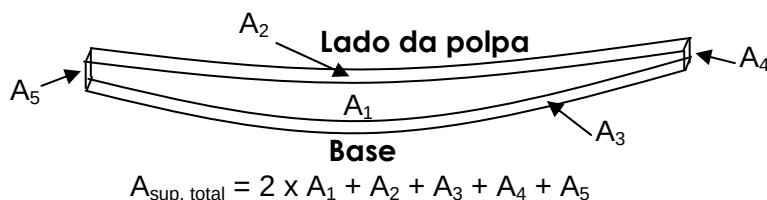


Figura 5.20 – Representação do cálculo da área superficial da amostra da casca de melancia.

Considerando a modelagem matemática observa-se que o modelo difusional mostrou-se mais ajustável aos dados experimentais quando comparado às

modelagens da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente. Apresentando melhores valores para o coeficiente de determinação e valores aceitáveis para o desvio relativo médio, próximos de 10%. Enquanto que os modelos Empírico exponencial de dois parâmetros e o de Page resultaram em valores de  $R^2$  mais próximos da unidade quando comparados aos encontrados a partir do modelo de Fick. E, valores de P% dentro do esperado ( $P < 10\%$ ) proposto por Lomauro, Bakshi e Labusa (1995).

Observa-se, ainda que para o modelo de Page a constante de secagem K é função da difusividade efetiva de água, aumentando com o acréscimo da temperatura de processo. No entanto a constante b apresentou redução no valor. O modelo empírico apresentou aumento do valor da constante B com o acréscimo da temperatura, acontecendo o contrário com a constante A.

Os dados apresentados corroboram com o encontrado por Karim e Hawlader (2005) ao estudarem frutas tropicais. Rizvi (1986) afirma ser a difusividade dependente da temperatura do ar de secagem entre outros fatores.

Frente aos resultados comentados e à representação satisfatória das cinéticas de secagem da casca fresca de melancia às temperaturas de  $40^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$  (Figura 5.14), bem como ao fato do modelo de Fick ser do tipo fundamental, enquanto que o modelo Empírico experimental de dois parâmetros ser puramente um modelo matemático, define-se o modelo de Fick como o que melhor prediz os dados experimentais de tais processos.

### 5.3.6 Qualidade do produto seco

As farinhas da casca de melancia obtidas tiveram sua qualidade avaliada mediante a análise de atividade de água ( $a_w$ ) e umidade final após cada tratamento de temperatura diferente por um mesmo período de tempo (300min), como forma de avaliar a influência de cada processo de secagem convectiva (Tabela 5.15).

A partir da Tabela 5.15 percebe-se que a farinha da casca de melancia obtida a qualquer das temperaturas apresenta uma umidade final compatível com o preconizado pela Resolução nº 12 de 1978, a qual indica que farinhas devem apresentar umidade máxima de 14% (BRASIL, 1978).

Tabela 5.15 – Tabela dos valores de umidade e atividade de água da casca *in natura* e da farinha da casca a várias temperaturas de processo durante 300 minutos.

| Condições de processo | Casca <i>in natura</i> |               | Farinha da casca |               |
|-----------------------|------------------------|---------------|------------------|---------------|
|                       | Umidade                | $a_w$         | Umidade          | $a_w$         |
| T = 40°C              | 96,13 ± 2,16           | 0,989 ± 0,001 | 10,05 ± 0,07     | 0,635 ± 0,005 |
| T = 50°C              | 93,54 ± 0,70           | 0,987 ± 0,001 | 12,52 ± 2,73     | 0,434 ± 0,009 |
| T = 60°C              | 93,54 ± 0,70           | 0,987 ± 0,001 | 3,23 ± 1,70      | 0,354 ± 0,003 |

A casca de melancia *in natura* apresenta um elevado teor de atividade de água o que favorece o desenvolvimento de bactérias, leveduras e bolores, por isso é classificada como produto deteriorável. Após os processos de secagem a 50°C e 60°C os valores de atividade de água alcançados tornam esses produtos microbiologicamente estáveis, pois tais valores se apresentam inferiores ao mínimo necessário para o desenvolvimento dos principais patógenos (bactérias, leveduras e bolores) indicados pela ICMSF (2001). Tais valores foram coerentes com o aumento na temperatura de processo, uma vez que como demonstrado na Figura 5.14 quanto maior a temperatura mais rápida será o processo de secagem, alcançando uma umidade de equilíbrio menor.

Confrontando os resultados destes parâmetros de qualidade às análises das cinéticas de secagem sugere-se que a temperatura de 60°C é a mais indicada para a obtenção de farinha da casca de melancia (Figura 5.21).



Figura 5.21 – Farinha da casca de melancia obtida a partir da melhor condição de secagem.

## 5.4 Caracterização físico-química dos produtos

A caracterização físico-química da polpa de melancia seca, da polpa de melancia desidratada e seca, bem como da farinha da casca de melancia seca foi realizada de acordo com os métodos referenciados no item 4.3. A Tabela 5.16 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 5.16 - Caracterização físico-química dos produtos secos obtidos a partir da secagem da polpa e da casca de melancia nas melhores condições de processo.

| Análise                               | Valor médio     |                     |               |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|---------------|
|                                       | Polpa seca 50°C | Polpa DO-seca 60°C* | Farinha 60°C  |
| Atividade de água                     | 0,508 ± 0,03    | 0,512 ± 0,03        | 0,354 ± 0,003 |
| Conteúdo de umidade (%)               | 23,25 ± 2,19    | 13,19 ± 0,95        | 3,23 ± 1,70   |
| Sólidos solúveis ( <sup>o</sup> Brix) | 40,00 ± 0,50    | 50,00 ± 0,50        | ***           |
| Acidez total titulável**              | 9,09 ± 0,31     | 3,27 ± 0,67         | 6,32 ± 0,85   |
| pH                                    | 5,16 ± 0,06     | 5,51 ± 0,31         | 5,23 ± 0,02   |
| Açúcares redutores (%)                | 35,61 ± 0,00    | 34,78 ± 0,34        | 19,90 ± 0,00  |
| Açúcares totais (%)                   | 41,55 ± 0,00    | 42,45 ± 0,37        | 22,22 ± 0,34  |
| Amido (%)                             | ***             | ***                 | 4,18 ± 0,28   |
| Proteínas (%)                         | 6,70 ± 0,13     | 4,83 ± 0,26         | 10,44 ± 0,28  |
| Lipídios (%)                          | 1,48 ± 0,53     | 1,36 ± 0,60         | 1,61 ± 0,07   |
| Carotenóides totais (µg/g)            | 143,68 ± 2,77   | 136,56 ± 1,05       | ***           |
| Cinzas (%)                            | 2,69 ± 0,40     | 2,25 ± 0,30         | 9,83 ± 0,53   |

\*polpa pré-tratada osmoticamente e seca a 60°C; \*\*expressa em ácido málico; \*\*\*análise não realizada

Os resultados obtidos demonstram que o teor de sólidos solúveis foi ligeiramente superior nos produtos derivados da polpa de melancia pré-tratada osmoticamente quando comparados aos derivados da polpa fresca.

A alcalinidade dos produtos a partir da polpa fresca e da casca preocupa no sentido de que são níveis que possibilitam o crescimento microbiano, devendo, portanto, ser realizados estudos de estabilidade dos produtos finais. Enquanto que para a polpa pré-tratada osmoticamente e seca apresenta menor risco de deterioração devido a sua alta acidez.

Os produtos oriundos da polpa de melancia apresentaram valores expressivos de carotenóides em licopeno. Contudo, não há ainda uma quantidade específica, mínima ou máxima, prescrita de licopeno que seja considerada segura para ingestão (AMAYA-FARFÁN; DOMENE; PADOVANI, 2001). Sendo assim, devem ser instigadas mais pesquisas que avaliem a quantidade limite para que não haja efeitos adversos em potencial associados às suas altas taxas de ingestão.

Os produtos secos derivados da polpa de melancia favorecem um incremento na vida útil de uma matéria-prima altamente perecível e podem ser destinados à venda para indústrias de alimentos que os utilizam como insumos na produção de bolos, panetones, barra de cereais, cereais matinais, *cookies*, iogurte, bebida láctea; ou mesmo consumido direto como uma opção de sobremesa mais saudável.

A farinha obtida apresentou acidez acima das farinhas descritas na legislação brasileira (BRASIL, 1978).

O teor de proteínas e lipídeos da farinha da casca seca de melancia foi equivalente ao encontrado na farinha da casca de maracujá; enquanto que o teor de cinzas foi ligeiramente superior (SOUZA; FERREIRA; VIEIRA, 2008), apresentando um incremento de 391,50% em relação à farinha de trigo integral exposta na Resolução nº18 de 1978 (BRASIL, 1978). Esse alto teor de cinzas remete uma alta concentração de minerais, sugerindo que seja um produto fonte de minerais.

De acordo com a Portaria nº 27 de 13 de janeiro de 1998 (BRASIL, 1998) um alimento sólido é considerado fonte de proteínas quando contém, no mínimo, 10% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) indicada na Resolução nº 263 de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005c), para diferentes grupos de indivíduos. Com base nessas legislações a farinha da casca de melancia pode ser considerada fonte de proteínas para todos os grupos de indivíduos, incluindo gestantes e lactantes, grupo com maior necessidade deste nutriente. Enquanto que os produtos derivados da polpa são classificados como alimento fonte para crianças e adultos.

Segundo a mesma Portaria (BRASIL, 1998) um alimento é considerado como produto de baixo teor de gorduras totais quando apresenta um máximo de 3 gramas de gorduras em 100 gramas de produto. Desta forma, todos os produtos analisados integram esta categoria.

Vale destacar os baixos níveis de umidade e atividade de água encontrados para a farinha desenvolvida. Estes teores são característicos de produtos altamente higroscópicos, ou seja, com alta capacidade de reidratação.

Uma outra característica relevante para este produto oriundo da casca de melancia foi a percepção de um sabor amargo proveniente de uma substância terpenóide denominada cucurbitacina muito importante positivamente por apresentar amplo espectro de atividades biológicas, tais como antiinflamatórias e antitumorais.

A farinha obtida pode ser inserida na indústria de alimentos como fonte de enriquecimento de minerais e proteínas em produtos alimentícios, principalmente do setor de panificação.

## 6 CONCLUSÃO

- Dentre os parâmetros físico-químicos, a diferença essencial entre a casca *in natura* e a polpa *in natura* é representada pelo elevado teor de açúcares na polpa de melancia;
- A melhor combinação de variáveis obtida pelo planejamento experimental fatorial completo para a desidratação osmótica da polpa de melancia foi: temperatura de 30<sup>0</sup>C, concentração da solução de sacarose de 60% p/p e um tempo de imersão de 90 minutos;
- As maiores taxas de secagem foram obtidas para a polpa pré-tratada osmoticamente quando comparada à polpa fresca na temperatura de 60<sup>0</sup>C de processo;
- O modelo empírico exponencial de dois parâmetros foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais tanto para a secagem da polpa (fresca e pré-tratada osmoticamente), apresentando difusividades efetivas da água com ordem de grandeza de 10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s;
- O modelo de Fick foi o que melhor predisse os dados experimentais da secagem da casca de melancia, apresentando difusividades efetivas da água com ordem de grandeza de 10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s;
- A melhor condição de secagem para a polpa fresca foi à temperatura de 50<sup>0</sup>C, enquanto que para a polpa pré-tratada osmoticamente e para a casca de melancia foi à temperatura de 60<sup>0</sup>C, as quais geraram, de acordo com o teor de atividade de água, um produto final estável microbiologicamente e com teor de umidade condizente com a legislação brasileira;



- Os produtos secos obtidos a partir da polpa fresca e pré-tratada osmoticamente destacam-se pelo teor concentrado de carotenóides em licopeno;
- A farinha destaca-se pelo teor de cinzas, sugerindo alta concentração de minerais;
- Todos os produtos obtidos se caracterizam como alimento fonte de proteínas.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Sugere-se que estes novos produtos sejam analisados em relação aos aspectos microbiológicos, toxicológicos, bem como das características sensoriais e funcionalidades nutricionais e tecnológicas a fim de aplicar uma tecnologia adequada que permita a sua utilização em produtos para o consumo humano de forma eficiente e segura;
- Utilizar outros métodos de processamento para a casca, dentre os quais a desidratação osmótica com o uso de soluções ternárias a fim de promover impregnação de solutos que mascarem o amargor, favorecendo a aceitação sensorial.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. P. F. **Cultura da melancia**. Faculdade de Ciências/Universidade do Porto, 2003.

ALVARENGA, M. A. R.; RESENDE, G. M. **Cultura da Melancia**. Lavras: Editora UFLA, 2002.

ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003. 149f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

AMAYA-FARFAN J, DOMENE SMA, PADOVANI RM. DRI: síntese comentada das novas propostas sobre recomendações nutricionais para antioxidantes. **Revista de Nutrição**. v. 14, n. 2, p. 71-8, 2001.

ANTONIO, G. C. **Avaliação do efeito dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e secagem HTST na obtenção de snacks de batata doce (*Ipomoea batatas* Lam)**. 2006. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International**. 18 ed. USA: Washington. 2005.

AOAC. **Official methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International**. 14 ed. Arlington. 1984.

ARAÚJO NETO, S.E.; HAFLE, O.M.; GURGEL, F. de L.; MENEZES, J.B.; SILVA, G.G. da. Qualidade e vida útil pós-colheita de melancia Crimson Sweet, comercializado em Mossoró. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.235-239, maio/ago, 2000.

ARUOMA, O. I. Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. **Food Chemistry and Toxicology**, v.32, p.671-683, 1994.

AZOUBEL, P. M.; EVANGELISTA, E. C. D. A.; OLIVEIRA, S.B.; SILVA, Í. R. A.; ARAÚJO, A. J. B. Cinética de secagem da casca de manga 'Tommy Atkins'. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, IV Congresso Brasileiro de

Termodinâmica aplicada. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 1-5.

AZOUBEL, P. M. **Influência de pré-tratamento na obtenção de produtos secos do caju (*Anacardium occidentale* L.)**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, v. 14, n. 1, p. 61 - 73, 1994.

BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas, Editora da UNICAMP, 2003.

BARROSO, A. P. S.; MACEDO, A. N.; SANTANA, J. N. S.; SILVA, R. P. S.; SILVA, I. R. A. Caracterização físico-química do mesocarpo da melancia (*Citrullus lanatus*) cultivada no Vale do São Francisco. **In: III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**. Fortaleza – Ceará, 2008.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química e processamento de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Varela, 1992, 151 p.

BOTELHO, L.; CONCEIÇÃO, A.; CARVALHO, V. D. Caracterização de fibras alimentares da casca e cilindro central do abacaxi *Smooth cayenne*. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.26, n.2, p.362-367, mar./abr., 2002.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters. An introduction designs, data analysis and model building**. Nova York: Wiley, 1978.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, Madison, n.9, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Resolução nº 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físicos-Químicos para Análise de Alimentos** / Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2005b. 1018p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Resolução nº 269 de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 de setembro de 2005c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27 de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (conteúdo de nutrientes). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de janeiro de 1998. Seção 1.p.1789.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Resolução nº 354 de 18 de julho de 1996. Norma técnica referente à farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 de julho de 1996.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução nº 12, de 1978. Normas Técnicas Especiais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 de Julho de 1978.

BROD, F.P.R.; ALONSO, L.F.T.; R.H.C. ROSA; F.K. MINAGAWA; PARK, K.J. Carrot (*Daucus carota* L.) drying in a vibro-fluidized dryer. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS'98), 11, 1998, Halkidiki, Greece. **Proceedings...** Thessaloniki: Ziti Editions, 1998. v.B, p. 1237- 43.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying Cereal/Grains**. Connecticut: The AVI Publishing Company, 1974. 265p.

BROWN Jr, A.C.; SUMMERS, W.L. Carbohydrate accumulation and color development in watermelon. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v.110, n.5, p.683-687, 1985.

CARVALHO, A. M. Aproveitamento da casca do maracujá para fabricação de doces. **O Agrônomo**, São Paulo: Ciência e Cultura, v. 20, n. 2, 1968. 43p.

CARVALHO, R.N. **Cultivo da melancia para a agricultura familiar**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1997. 127p.

CASTELLANE, P.D.; CORTEZ, G.E. **A cultura da melancia**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 64 p.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUNDAR, A. S. **Advances in drying**. v.1. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, p.73-102. 1981.

CLINTON, S. K. Lycopene: Chemistry, biology, and implications for human health and disease. **Nutrition Reviews**, v. 56, p. 35-51, 1998.

COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L.; THEMELIN, A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. *Agricultural Engineering Journal*, v.1, n.3, p. 125 – 135, 1992.

CORZO, O.; GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 2, p. 213-219, set, 2004.

COSTA, N. D.; LEITE, W. M. **O cultivo da melancia**. 2002. Disponível em <<http://www.unitins.br/ates/arquivos/Agricultura/Fruticultura/Melancia/Melancia%20-%20Cultivo.pdf>>. Acesso: em mar. 2008

COSTA, J.M.C.; SCHER, J.; HARDY, J. Influência do nível de hidratação na distribuição granulométrica de farinhas de trigo: uso da técnica de difração laser. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.2, p. 173 - 177, 2003.

CRANK, J. **The Mathematics of Difusion**. 2. ed. Oxford: Claredon Press, 1975. 414p.

DARIS, D.; JACQUES, R.; VALDUGA, E. Avaliação de características físico-químicas e sensoriais de doces em pasta elaborados com polpa e/ou casca de banana. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17, Fortaleza, 2000. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2000, v.1, p.3.14.

DAUDIN, J. D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. **Sciences des Aliments**, v. 3, n. 1, p. 1-36. 1983.

DAVIES, B. H. Carotenoids. In: GOODWIN, T. W. **Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments**. 2 ed, v. 2, p. 38-165. London: Academics Press, 1976.

Di MASCIO, P.; KAISER, S.; SIES, H. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. **Archives Biochemistry Biophysics**, v. 274, n. 2, p. 532-538, nov., 1989.

DIAS, M.C. **Comida jogada fora**. Correio Braziliense, 2003. Disponível em <<http://www.consciencia.net/2003/09/06/comida.html>>. Acesso: mar.2008.

DIXON, G. M.; JEN, J. Changes of sugar and acid in osmovac dried apple slices. **Journal of Food Science**. v.42, p.1126-1131, 1977.

EDGE, R., MCGARVEY, D. J., TRUSCOOT, T. G. The carotenoids as anti-oxidants - a review. **Journal Photochemistry Photobiology B. Biology**, v. 41, n. 3, p. 198-200, dez, 1997.

EDWARDS, A.J. ;VINYARD, B.T.; WILEY, E.R. ;BROWN, E.D.; COLLINS, J.K.; PERKINS-VEAZIE, P.; BAKER, R.A.; Clevidence, B.A. Consumption of watermelon juice increases plasma concentration of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans, **Journal of Nutrition**, v. 133, n. 4, p. 1043–1050, 2003.

EFSA – European Food Safety Authority. Use of lycopene as a food colour. **The EFSA Journal**, v. 674, p. 1-66, 2008.

EL- AUOAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão Formosa (*Carica papaya* L.) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EL-AUOAR, A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pré-treated papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 85-91, ago, 2003.

ELMOSTROM, G.W.; DAVIS, P.L. Sugar in developing and mature fruits of several watermelon cultivars. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 106, n.3, p.330-333, 1981.

EMATER-RONDÔNIA. Disponível em: <<http://www.ematerrondonia.com.br/Melancia.htm>>. Acesso em: 20 out. 2004

EMBRAPA HORTALIÇAS-BRASÍLIA. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/bib/saibaque/melancia.htm>>. Acesso em 20 out.

2004.

FAO Statistical Databases. Disponível em <<http://www.fao.org>> Acesso em: 03 mar. 2008.

FERRARI, C. C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 564-570, jul/set, 2005.

IOREZE, R. **Princípios de Secagem de Produtos Biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2004. 229p.

FILHO, J. V. C. Transporte de produtos agrícolas sobre a questão de perdas. **Revista da economia e Sociologia Rural**, v. 39, n. 3, p. 173-179, 1996.

FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHITALT, A.; PARDO, A.; FITO, P. Coupling of hydrodynamic Mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, Kidlington, v. 27, n. 3, p. 229-240, 1996.

FORTES, M.; OKOS, M. P. Changes in physical properties of corn during drying. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, Michigan, v.23, n.4, p.1004 - 1008, 1980.

FRANCO, G. **Tabela de composição química de alimentos**. 9 ed. São Paulo: Atheneu, 1997. 307p.

FRUTHOTEC. **Desidratação de frutas e hortaliças**: Manual técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 2001.

GANN, P. H.; GIOVANNUCCI, E.; WILLET, W.; SACKS, F. M.; HENNEKENS, C. H.; STAMPFER, M. J. Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels: results of a prospective analysis. **Cancer Research**, v. 59, n. 6, p. 1225-1230, 1999.

GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, p. 183 – 195, 1987.



GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 91, n. 4, p. 317-331, fev, 1999.

GIOVANNUCCI, E.; ASCHERIO, A.; RIMM, E. B.; STAMPFER, M. J.; COLDITZ, G. A.; WILLET, W. C. Intake of carotenoids and retinal in relation to prostate cancer risk. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 87, n. 23, p. 1767-1776, dez, 1995.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 2, p. 151-166, 1995.

HARDISSON, A.; RUBIO, C.; BAEZ, A.; MARTIN, M.; ALVAREZ, R.; DIAZ, E. Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. **Food Chemistry**, vol. 73, n. 2, p. 153-161, maio, 2001.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v.2, n. 4, p.265 - 284, 1978.

HOLDEN, J.M.; ELDRIGUE, A.L.; BEECHER, G.R.; BUZZARD, I.M.; BHAGWAT, S.; DAVIS, C.S.; DOUGHLASS, L.W.; GEBHARDT, S.; HAYTOWITZ, D.; SCHAKEL, S. Carotenoids content of U.S. foods: an update of the database, **Journal of Food Composition and Analysis**. Anal. 12, p. 169-196, 1999.

IBGE. **Indicadores conjunturais - produção agrícola/agricultura**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 03 de mar. 2008.

ICMSF – International Commission on Microbiological Specifications for Foods. **Microorganismos de los alimentos**: ecología microbiana de los productos alimentarios. v.2. Zaragoza: Acribia, 2001. 332p.

ILARI, J. L. **Analyse des principales difficultés rencontrées dans le mélange d'ingrédients particuliers en phase sèche**. Laboratoire de Génie des Procédés, Nantes, France, p.141-148.1995.

JARDIM, D. C. P. **Concentrado de tomate auto-estável pelo efeito combinado da atividade de água e acidez**. 1991. 105 f. Dissertação (Mestre em engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1991.

JARDINE, C. **Perdas: quando a produção não vai para o saco**. O Brasil Agrícola: A Granja. N. 639. p.12-21. 2002.

KARATHANOS, V.T.; VILLALOBOS, G.; SARAVALCOS, G.D. Comparison of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data. **Journal of Food Science**, Chicago, v.55, n.1, p.218-23, 1990.

KARIM, M. A.; HAWLADER, M.N.A. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 48, n. 23-24, p. 4914-4925, nov, 2005.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergammon Press, 1972. 358p.

KHURI, A. J., CORNELL, F. A. **Response surfaces: design and analyses**, New York: Marcel Dekker, 1996. 510p.

KRINSKY, N. I. The biological properties of carotenoids. **Pure Applied Chemistry**, v. 66, n. 5, p. 1003 -1010, 1994.

LABUZA, T.P.; SIMON, I.B. Surface tension effects during dehydration. Air drying of apple slices. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 24, n.6, p.712-15, 1970.

LARRAURI, J. A.; CEREZAL, P. Caracterización de los residuos de diferentes variedades de mango. **Alimentaria**, v. 242, p.89-91, 1993.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391 - 413, 1996.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1217 – 1226, 1985.

LEWICKI, P. P.; JAKUBCZYK, E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. **Journal of Food Engineering**, v.64, n. 3, p.307–314, set, 2004.

LIMA, A.S.; TRANCOSO, F.O; MOURA, K.M.; ALMEIDA, L.B.; SILVA, T.N.S.; SOUZA, W.M.; MARCELLINI, P.S. Caracterização Centesimal de maxixe e sua

aplicação na produção de picles. **Alimentação e Nutrição**, v. 17, n. 4, p. 407-412. 2006.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUSA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**, v.18, p. 112 – 122, 1985.

LOURES, A.; COELHO, D. T.; CRUZ, R.; LUCY, C. Obtenção, caracterização e utilização da farinha de banana (*Musa sp.*) em panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v. 10, n. 1, p. 51-57, 1990.

LOZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, v.48, p.1497-1502, 1553, 1983.

LUNA, M. L. D.; LEITE, V. D.; PRASAD, S.; LOPES, W. S.; SILVA, J. V. N. S. Comportamento de macronutrientes em reator anaeróbio compartimentado tratando resíduos sólidos orgânicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

LUXIMON-RAMMA, A.; BAHORUN, T.; CROZIER, A. Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, n. 5, p.496-502, abril, 2003.

MALTINI, E.; TORREGIANI, D.; VENIR, E.; BERTOLO, G. Water activity and the preservation of plants foods. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 79-86, jul, 2003.

MANNHEIM, C. H.; PELEG, M.; PASSY, N. Flow properties of some food powders, **Journal Food Science**, v. 38, p.959-964, 1973.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causa e como reduzir perdas na produção agrícola – revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 9, n. 1, p. 20-32, 2002.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJOHOLM, I. Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. **Journal of Food Engineering**, v.38, p.101-123, 1998.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A. M. Kinetics os osmotic dehydration of pumpkim with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 253-262, 2005.

MAZZA, G. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Technology**, v.18, p.113-123, 1983.

MEDINA, J. C. Subprodutos. In: MEDIDA, J. C. et al., **Maracujá: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. p. 145-148. 1980.

MILLER, E. C.; HADLEY, C. W.; SCHWARTZ, S. J.; ERDMAN, J. W.; BOILEAU, T. W. M.; CLINTON, S. K. Lycopene, tomato products, and prostate cancer prevention. Have we established causality? **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 8, p. 1435 - 1441, 2002.

MINAMI, K.; IAMAUTI, M.J. **Cultura da melancia**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 101 p.

MIRANDA, R.F; RODRIGUES, G.A; SILVA, R.H; SILVA, C.L.W; SATURNINO, M.H; FARIA, S.H.F; **Instruções Técnicas sobre a cultura da melancia**, Belo Horizonte: EPAMIG, 1997. 28p. (Boletim Técnico, 51).

MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 87-96, 2001.

MORI, E. E. M. **Suco de melancia [*Citrullus lanatus* (Tunberg) Matsumura and Nakai]: processamento, formulação, caracterização física, química, microbiológica e aceitabilidade**. 1996. 128 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MURR, F. E.; ARÉVALO-PINEDO, A. Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4. p. 636-643, out.-dez. 2005.

NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. TACO - **Tabela de Composição de Alimentos**. Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

NIETO, A.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.50, n.3, p.175-185, 2001.

NIETO, A.; SALVATORI, D.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose. **Journal of Food Engineering**, v.36, n.1, p.63-79, 1998.

NGUYEN, M. L., SCHWARTZ, S. J. Lycopene: Chemical and biological properties. **Food Technology**, v. 53, n. 2, p. 38-45, fev, 1999.

OLIVER, J.; PALOU, A.; PONS, A. Semi-quantification of carotenoids by highperformance liquid chromatography: saponification-induced losses in fatty foods. **Journal of Chromatography A**, v.829, n. 1-2, p.393-399, dez, 1998.

PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. 1949. Dissertação (Mestrado) – Purdue University, Indiana, USA, 1949.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.; PARK, T. H. K. B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v.52, n. 3, p.293-298, maio, 2002.

PARK, K.J.; BROD, F.P.R.; SILVA, J.E.A.R. Estudo comparativo de secagem de cebolinha *Allium* sp. cv. Galega) utilizando secadores vertical e horizontal. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.16, n.2, p.143-5, jul/set, 1996.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pera Bartlett (*Pyrus* sp) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, set/dez, 2001.

PARK, K. J.; SANDRINI, D.; BROD, F. P. R. Avaliação dos parâmetros de secagem da Melissa (*Melissa officinallis* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.2, p.179-187, mai, 2000.

PELEG, M. Flowability of food powders and methods for its evaluation - A review, **Journal Food Process. Engineering**, v.1, n. 4, p.303-328, jan, 1977.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K. Flesh quality and lycopene stability in fresh cut watermelon, **Postharvest Biology and Technology**. 31 p. 159–166, 2004.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K.; PAIR, S. D.; ROBERTS, W. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 81, p. 983-987, 2001.

PINTO, S. A. A. SEAGRI, CE. Processamento mínimo de melancia. In: Durigan, J. F. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2004. 69p.

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Chicago, v. 20, n. 10, p. 125-128, 1966.

QUEIRÓZ, M. A. de. Potencial do germoplasma de Cucurbitáceas no Nordeste brasileiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.11, n 1, p.7-9, maio, 1993.

RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods, **Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, ago, 1994.

RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 225 - 260, ago, 1994.

RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Osmotic dehydration of mass transfer in terms of engineering properties. In MUJUMDAR, A. R.; ROQUES, M A. **Drying of solids**. New York: Hemisphere Publishing company. p. 487-495, 1989.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** v.37, p.43-47, 2004.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamic properties of food in dehydration. In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of food**. v. 4. New York: Marcel Dekker. p.113-24. 1986.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, n. 1, p.38-47, set, 1999.

RODRIGUEZ, M. E. A.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, M. M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista**

**Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002.

RUGGIERO, C. Colheita. In: RUGGIERO, C. **Maracujá**. Ribeirão Preto: Legis Summa, p. 167-72. 1987.

SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Food Research International**. v.36, p.65–71, 2003.

SANDERS, T.A.B. Dietary Fat – Weighing up the Pros and Cons. **Nutrition & Food Science**, v. 94, n. 5, p.9-13, set/out., 1994.

SANKAT, C.K.; CASTAIGNE, F.; MAHARAJ, R. The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 31, n. 2, p.123-135, 1996.

SARAVACOS, G.D.; CHARM, S.E. A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. **Food Technology**, Chicago, v.16, n. 1, p.78-81, 1962.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 215 p.

SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, n. 8, p.263-268, ago, 1996.

SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J. F.; CORREA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 103-114, ago, 2001.

SILVA, C.R.; SILVA, H.C.; OLIVEIRA, J.E.D. Conteúdos de celulose, hemicelulose e lignina em dieta hospitalar hipocalórica. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v.2, n.1, p.65-71, Jun.1990.

SILVESTRE-MARINHO, M.; JOKL, L. Composição química de resíduos fibrosos de algumas plantas brasileiras. **Revista de Farmácia e Bioquímica**, Belo Horizonte, v.5, n.1, p.45-54, jan./jun. 1983.

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. Lavras: **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.5, p.1021-1028, set./out., 2005.

SOUZA, M. W. S.; FERREIRA, T. B. O.; VIEIRA, I. F. R. Composição centesimal e propriedades funcionais tecnológicas da farinha da casca do maracujá. **Alimentação e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 33-36, jan/mar, 2008.

STAHL, W.; SIES, H. Carotenoids: occurrence, biochemical activities, and bioavailability. In: Packer L, Hiramatsu M, Yoshikawa T. **Antioxidant Food Supplements in Human Health**. San Diego: Academic Press; p.183-98, 1999.

STATSOFT. **Statistica for windows**, Tulsa, USA, 2004.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 253-259, 2004.

THASSITOU, P. K.; ARVANITOYANNIS, I. S. Bioremediation: a novel approach to food waste management. **Trends in Food Science & Technology**, v.12, n. 5 e 6, p.185- 196, maio/jun, 2001.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, n. 3, p. 715-723, jul/set, 2006.

TORRES, S. B. Germinação e desenvolvimento de plântulas de melancia em função da salinidade. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 77-82, 2007.

UBOLDI EIROA, M. N. **Microbiologia de frutas e hortaliças desidratadas**. In: **Desidratação de Frutas e hortaliças** - Manual Técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 6.1-6.26, 2001.

VACCAREZZA, L.M.; LOMBARDI, J.L.; CHIRIFE, J. Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. **Journal of Food Technology**, Oxford, v.9, p.317-327, 1974.



VAN DEN BERG, H.; FAULKS, R.; GRANADO, H. F.; HIRSCHBERG, J.; OLMEDILLA, B.; SANDMANN, G.; SOUTHON, S.; STAHL, W. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of Science Food Agriculture.**, v. 80, n.7, p. 880-912, maio, 2000.

VETTER, J. Plant cyanogenic glycosides. **Toxicon**, v.38, p.11-36, 2000.

WELTY, J. R.; WICKS, C. E.; WILSON, R. E. **Fundamentals of momentum, heat and mass transfer**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons. 1984.

## **APÊNDICES**

### **APÊNDICE A – Planejamento experimental**

O planejamento dos experimentos consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura. Para tal, precisamos saber o que é que estamos procurando e utilizar técnicas apropriadas para este propósito como é o caso da metodologia da superfície de resposta (RSM) (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

A RSM, empregada desde a década de 50, é uma técnica baseada no emprego de planejamentos fatoriais e que até hoje tem sido largamente utilizada com bastante sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

De acordo com Barros Neto, Scarmínio e Bruns (2003), ela é composta de duas etapas: a modelagem e o deslocamento. Ambas podem ser repetidas quantas vezes forem necessárias, até que se atinja uma região ótima (máximo ou mínimo), da superfície estudada. A primeira é conseguida se ajustando modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de planejamentos experimentais. A segunda ocorre em busca do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é o caminho onde a resposta varia de forma mais pronunciada.

O método do planejamento experimental é baseado na seleção de níveis (nível superior + e nível inferior -) para cada variável de entrada (variável independente) e na execução de experimentos para todas as possíveis combinações. Se  $n$  fatores (variáveis controladas pelo experimentador) estão envolvidos no estudo de um sistema, o planejamento necessita de  $2n$  ensaios diferentes, que é o número mínimo para obtenção de um planejamento fatorial completo. Outros ensaios podem ser adicionados ao experimento na forma repetições a fim de se calcular o erro experimental. Com os resultados obtidos, pode-se calcular os efeitos principais e de interação das variáveis independentes sobre as respostas (variáveis dependentes), determinando quais os efeitos mais significativos para o processo em estudo.

Para a obtenção dos modelos empíricos através de regressões lineares e não-lineares, Box, Hunter e Hunter (1978) afirmam que é necessário realizar primeiramente uma análise de variância (ANOVA), utilizando dois parâmetros muito importantes: coeficiente de correlação  $R^2$  e o valor estimado para o teste F.

O coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população de pontos experimentais. Se a correlação entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais for igual à unidade, diz-se que esta é perfeita; caso contrário, quando o valor for nulo, não existe correlação alguma entre eles.

A base do teste F consiste em verificar se existe relação entre as variáveis independentes e as respostas do planejamento. Quando não existe correlação entre as variáveis independentes e as respostas, pode-se demonstrar que a razão entre as médias quadráticas da regressão e do resíduo (MQR/MQr) segue uma distribuição F (hipótese nula). Neste caso, a variação nos valores dos resultados foi devido, exclusivamente, a fatores aleatórios. A hipótese nula pode ser testada usando o valor efetivamente calculado para MQR/MQr e, para isto, basta compará-lo com o valor tabelado de F. Se as variações das respostas experimentais apresentarem alta probabilidade de pertencerem à distribuição F, não há motivos para se questionar a hipótese nula. Desta forma, pode-se dizer que a equação de regressão não é significativa.

Por outro lado, caso a razão MQR/MQr seja maior que o valor de F tabelado, pode-se dizer que a equação de regressão é estatisticamente significativa e que os dados experimentais podem ser bem representados pelo modelo obtido. De acordo com BOX e WETZ (1993), para que um modelo seja considerado estatisticamente significativo e preditivo é necessário que o valor da razão MQR/MQr seja de quatro a cinco vezes superior ao valor de F tabelado.

A análise dos resíduos é outro parâmetro de importância fundamental ao se avaliar a qualidade do ajuste de um modelo. Valores residuais altos indicam má qualidade no ajuste (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

## APÊNDICE B – Cinética de secagem da polpa pré-tratada osmoticamente

Tabela B.1 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 40°C de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 2,79                    | 73,63    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 2,09                    | 67,65    | 2,44                          | 0,05                       | 0,73 ± 0,01 |
| 30      | 1,62                    | 61,84    | 1,86                          | 0,03                       | 0,55 ± 0,01 |
| 45      | 1,36                    | 57,52    | 1,49                          | 0,02                       | 0,44 ± 0,02 |
| 60      | 1,09                    | 51,98    | 1,22                          | 0,02                       | 0,34 ± 0,02 |
| 75      | 0,92                    | 47,71    | 1,00                          | 0,01                       | 0,27 ± 0,02 |
| 90      | 0,77                    | 43,53    | 0,84                          | 0,01                       | 0,22 ± 0,02 |
| 105     | 0,62                    | 38,32    | 0,70                          | 0,01                       | 0,16 ± 0,02 |
| 120     | 0,46                    | 31,54    | 0,54                          | 0,01                       | 0,10 ± 0,01 |
| 150     | 0,37                    | 27,04    | 0,42                          | 0,00                       | 0,06 ± 0,01 |
| 180     | 0,32                    | 24,18    | 0,35                          | 0,00                       | 0,04 ± 0,00 |
| 210     | 0,27                    | 21,03    | 0,29                          | 0,00                       | 0,02 ± 0,01 |
| 240     | 0,24                    | 19,17    | 0,25                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,00 |
| 270     | 0,22                    | 17,74    | 0,23                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 300     | 0,21                    | 17,19    | 0,21                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

Tabela B.2 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 50°C de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 2,90                    | 74,37    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 1,82                    | 64,55    | 2,36                          | 0,07                       | 0,60 ± 0,01 |
| 30      | 1,45                    | 59,01    | 1,63                          | 0,03                       | 0,46 ± 0,00 |
| 45      | 1,06                    | 51,36    | 1,25                          | 0,03                       | 0,32 ± 0,03 |
| 60      | 0,81                    | 44,80    | 0,93                          | 0,02                       | 0,23 ± 0,03 |
| 75      | 0,67                    | 40,28    | 0,74                          | 0,01                       | 0,18 ± 0,02 |
| 90      | 0,57                    | 36,25    | 0,62                          | 0,01                       | 0,14 ± 0,00 |
| 105     | 0,46                    | 31,92    | 0,52                          | 0,01                       | 0,10 ± 0,01 |
| 120     | 0,37                    | 27,00    | 0,42                          | 0,01                       | 0,07 ± 0,01 |
| 150     | 0,27                    | 22,11    | 0,32                          | 0,00                       | 0,03 ± 0,01 |
| 180     | 0,24                    | 19,03    | 0,25                          | 0,00                       | 0,02 ± 0,01 |
| 210     | 0,18                    | 16,51    | 0,21                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 240     | 0,18                    | 16,51    | 0,18                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 270     | 0,18                    | 16,51    | 0,18                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

Tabela B.3 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 60°C de polpa de melancia pré-tratada osmoticamente.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 3,35                    | 76,87    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 1,64                    | 61,98    | 2,49                          | 0,11                       | 0,46 ± 0,00 |
| 30      | 0,93                    | 47,87    | 1,28                          | 0,05                       | 0,24 ± 0,01 |
| 45      | 0,58                    | 36,29    | 0,75                          | 0,02                       | 0,13 ± 0,00 |
| 60      | 0,33                    | 24,31    | 0,46                          | 0,02                       | 0,06 ± 0,00 |
| 75      | 0,23                    | 17,89    | 0,28                          | 0,01                       | 0,02 ± 0,00 |
| 90      | 0,19                    | 14,97    | 0,21                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,02 |
| 105     | 0,16                    | 13,19    | 0,17                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 120     | 0,16                    | 13,19    | 0,16                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

## APÊNDICE C – Cinética de secagem da polpa de melancia fresca

Tabela C.1 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 40°C de polpa de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 12,84                   | 92,77    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 9,73                    | 90,68    | 11,29                         | 0,21                       | 0,75 ± 0,02 |
| 30      | 7,62                    | 88,40    | 8,68                          | 0,14                       | 0,59 ± 0,01 |
| 45      | 5,89                    | 85,49    | 6,76                          | 0,12                       | 0,45 ± 0,00 |
| 60      | 4,22                    | 80,84    | 5,05                          | 0,11                       | 0,32 ± 0,00 |
| 75      | 3,12                    | 75,70    | 3,67                          | 0,07                       | 0,23 ± 0,00 |
| 90      | 2,27                    | 69,44    | 2,69                          | 0,06                       | 0,16 ± 0,00 |
| 105     | 1,67                    | 62,56    | 1,97                          | 0,04                       | 0,11 ± 0,00 |
| 120     | 1,23                    | 55,18    | 1,45                          | 0,03                       | 0,08 ± 0,00 |
| 150     | 0,71                    | 41,55    | 0,97                          | 0,02                       | 0,04 ± 0,00 |
| 180     | 0,44                    | 30,52    | 0,58                          | 0,01                       | 0,02 ± 0,00 |
| 210     | 0,32                    | 24,12    | 0,38                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,00 |
| 240     | 0,27                    | 21,36    | 0,29                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 270     | 0,25                    | 20,27    | 0,26                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 300     | 0,23                    | 18,78    | 0,24                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 330     | 0,23                    | 18,78    | 0,23                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 360     | 0,23                    | 18,78    | 0,23                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

Tabela C.2 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 50°C de polpa de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 12,37                   | 92,52    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 7,91                    | 88,77    | 10,14                         | 0,30                       | 0,63 ± 0,06 |
| 30      | 5,25                    | 83,99    | 6,58                          | 0,18                       | 0,41 ± 0,04 |
| 45      | 3,31                    | 76,81    | 4,28                          | 0,13                       | 0,25 ± 0,03 |
| 60      | 2,24                    | 69,13    | 2,78                          | 0,07                       | 0,16 ± 0,02 |
| 75      | 1,54                    | 60,65    | 1,89                          | 0,05                       | 0,10 ± 0,01 |
| 90      | 1,08                    | 51,84    | 1,31                          | 0,03                       | 0,06 ± 0,01 |
| 105     | 0,80                    | 44,30    | 0,94                          | 0,02                       | 0,04 ± 0,00 |
| 120     | 0,62                    | 38,37    | 0,71                          | 0,01                       | 0,03 ± 0,00 |
| 150     | 0,46                    | 31,67    | 0,54                          | 0,01                       | 0,01 ± 0,00 |
| 180     | 0,42                    | 29,62    | 0,44                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,00 |
| 210     | 0,41                    | 29,01    | 0,41                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,00 |
| 240     | 0,34                    | 25,35    | 0,37                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 270     | 0,34                    | 25,35    | 0,34                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 300     | 0,30                    | 23,25    | 0,32                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 330     | 0,30                    | 23,25    | 0,30                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |



Tabela C.3 - Valores obtidos a partir da cinética de secagem a 60°C de polpa de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 10,72                   | 91,47    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 6,21                    | 86,14    | 8,47                          | 0,30                       | 0,57 ± 0,00 |
| 30      | 3,92                    | 79,66    | 5,07                          | 0,15                       | 0,36 ± 0,00 |
| 45      | 2,41                    | 70,64    | 3,16                          | 0,10                       | 0,21 ± 0,00 |
| 60      | 1,47                    | 59,57    | 1,94                          | 0,06                       | 0,13 ± 0,01 |
| 75      | 0,87                    | 46,65    | 1,17                          | 0,04                       | 0,07 ± 0,00 |
| 90      | 0,52                    | 34,07    | 0,70                          | 0,02                       | 0,04 ± 0,01 |
| 105     | 0,32                    | 24,44    | 0,42                          | 0,01                       | 0,02 ± 0,00 |
| 120     | 0,25                    | 20,07    | 0,29                          | 0,00                       | 0,01 ± 0,00 |
| 150     | 0,18                    | 15,16    | 0,21                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 180     | 0,14                    | 12,65    | 0,16                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 210     | 0,14                    | 12,28    | 0,14                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 240     | 0,14                    | 12,65    | 0,14                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

## APÊNDICE D – Cinética de secagem da casca fresca de melancia

Tabela D.1 - Valores de umidade em base seca, em base úmida e valores de adimensionais de umidade para a secagem a 40<sup>0</sup>C da casca de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 17,31                   | 94,54    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 14,45                   | 93,53    | 15,88                         | 0,19                       | 0,83 ± 0,02 |
| 30      | 12,09                   | 92,36    | 13,27                         | 0,16                       | 0,70 ± 0,02 |
| 45      | 10,01                   | 90,92    | 11,05                         | 0,14                       | 0,58 ± 0,03 |
| 60      | 7,93                    | 88,80    | 8,97                          | 0,14                       | 0,45 ± 0,03 |
| 75      | 6,46                    | 86,60    | 7,20                          | 0,10                       | 0,37 ± 0,02 |
| 90      | 5,25                    | 84,00    | 5,86                          | 0,08                       | 0,30 ± 0,02 |
| 105     | 4,24                    | 80,92    | 4,74                          | 0,07                       | 0,24 ± 0,02 |
| 120     | 3,39                    | 77,22    | 3,82                          | 0,06                       | 0,19 ± 0,01 |
| 150     | 2,04                    | 67,15    | 2,72                          | 0,04                       | 0,11 ± 0,00 |
| 180     | 1,13                    | 53,03    | 1,59                          | 0,03                       | 0,06 ± 0,00 |
| 210     | 0,58                    | 36,83    | 0,86                          | 0,02                       | 0,03 ± 0,01 |
| 240     | 0,30                    | 22,95    | 0,44                          | 0,01                       | 0,01 ± 0,00 |
| 270     | 0,20                    | 16,46    | 0,25                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 300     | 0,14                    | 12,30    | 0,17                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 330     | 0,11                    | 10,05    | 0,13                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 360     | 0,11                    | 10,05    | 0,11                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 420     | 0,11                    | 10,05    | 0,11                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

Tabela D.2 - Valores de umidade em base seca, em base úmida e valores de adimensionais de umidade para a secagem a 50°C da casca de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 15,79                   | 94,04    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 11,80                   | 92,19    | 13,80                         | 0,27                       | 0,74 ± 0,01 |
| 30      | 8,65                    | 89,64    | 10,23                         | 0,21                       | 0,54 ± 0,03 |
| 45      | 6,26                    | 86,23    | 7,46                          | 0,16                       | 0,39 ± 0,04 |
| 60      | 4,69                    | 82,42    | 5,47                          | 0,10                       | 0,29 ± 0,04 |
| 75      | 3,37                    | 77,13    | 4,03                          | 0,09                       | 0,21 ± 0,04 |
| 90      | 2,37                    | 70,32    | 2,87                          | 0,07                       | 0,14 ± 0,03 |
| 105     | 1,59                    | 61,32    | 1,98                          | 0,05                       | 0,09 ± 0,03 |
| 120     | 1,05                    | 51,31    | 1,32                          | 0,04                       | 0,06 ± 0,02 |
| 150     | 0,47                    | 31,95    | 0,76                          | 0,02                       | 0,02 ± 0,01 |
| 180     | 0,24                    | 19,14    | 0,35                          | 0,01                       | 0,01 ± 0,00 |
| 210     | 0,18                    | 15,03    | 0,21                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 240     | 0,15                    | 13,25    | 0,16                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 270     | 0,14                    | 12,52    | 0,15                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 300     | 0,14                    | 12,52    | 0,14                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 330     | 0,14                    | 12,52    | 0,14                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |

Tabela D.3 - Valores de umidade em base seca, em base úmida e valores de adimensionais de umidade para a secagem a 60°C da casca de melancia.

| t (min) | Xt (g/g <sub>ms</sub> ) | UBUt (%) | Xt média (g/g <sub>ms</sub> ) | dX/dt (g/g <sub>ms</sub> ) | AD          |
|---------|-------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| 0       | 18,17                   | 94,78    | -                             | -                          | 1,00 ± 0,00 |
| 15      | 11,44                   | 91,96    | 14,81                         | 0,45                       | 0,63 ± 0,02 |
| 30      | 8,48                    | 89,45    | 9,96                          | 0,20                       | 0,47 ± 0,01 |
| 45      | 6,13                    | 85,98    | 7,31                          | 0,16                       | 0,34 ± 0,01 |
| 60      | 4,34                    | 81,27    | 5,24                          | 0,12                       | 0,24 ± 0,00 |
| 75      | 2,94                    | 74,65    | 3,64                          | 0,09                       | 0,16 ± 0,00 |
| 90      | 1,82                    | 64,57    | 2,38                          | 0,07                       | 0,10 ± 0,01 |
| 105     | 1,09                    | 52,25    | 1,46                          | 0,05                       | 0,06 ± 0,01 |
| 120     | 0,64                    | 38,97    | 0,87                          | 0,03                       | 0,03 ± 0,01 |
| 150     | 0,21                    | 17,19    | 0,42                          | 0,01                       | 0,01 ± 0,00 |
| 180     | 0,07                    | 6,96     | 0,14                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 210     | 0,04                    | 3,98     | 0,06                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 240     | 0,04                    | 3,71     | 0,04                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |
| 270     | 0,03                    | 3,23     | 0,04                          | 0,00                       | 0,00 ± 0,00 |