

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL

DIEGO BATISTA VALIM

**PRÉ-TRATAMENTO ABRASIVO DE TOMATE *cv. SWEET GRAPE*
VISANDO A REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM**

Poços de Caldas/MG

2017

DIEGO BATISTA VALIM

**PRÉ-TRATAMENTO ABRASIVO DE TOMATE *SWEET GRAPE* VISANDO A
REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Orientador: Theo Guenter Kieckbusch.

Poços de Caldas/MG

2017

V172p Valim, Diego Batista.

Pré-tratamento abrasivo de tomate *sweet grape* visando a redução do tempo de secagem / Diego Batista Valim. – Poços de Caldas, 2017.

84 f. –

Orientador: Theo Guenter Kieckbusch.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.

Bibliografia.

1. Engenharia Química. 2. Tomate - Secagem. 3. Vitamina C. I. Kieckbusch, Theo Guenter. II. Título.

CDD: 660

DIEGO BATISTA VALIM

**PRÉ-TRATAMENTO ABRASIVO DE TOMATE cv. SWEET GRAPE
VISANDO A REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Química, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Engenharia Química.

Aprovada em: 12 de Junho de 2017.



Prof(a.) Dr(a).Theo Guenter Kieckbusch

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG



Prof(a.) Dr(a).Rodrigo Corrêa Basso

Instituição: Universidade Estadual Paulista - UNESP



Prof(a.) Dr(a) Antônio Carlos Luz Lisboa

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar um método para acelerar o processo de produção de minitomates desidratados inteiros, com a pele, visando o desenvolvimento de um produto *gourmet*. Para diminuir a impermeabilidade da pele sem prejuízo aparente à sua integridade, minitomates *Sweet Grape* foram submetidos a um pré-tratamento abrasivo do epicarpo, necessário e suficiente para esfoliar parte da camada superficial externa, a principal resistência à transferência de umidade. Os ensaios foram conduzidos em um tambor rotativo com as paredes internas recobertas com folhas de lixa de grana 180, por um período de tempo de 30 minutos. A eficácia do tratamento abrasivo foi aferida monitorando a desidratação dos minitomates em secador cilíndrico vertical com ar a 55 °C, 70 °C e 85 °C insuflado através do leito de frutos colocados em cesta. Obteve-se considerável redução do tempo de secagem dos minitomates tratados com abrasivo, em relação aos que mantinham a pele intacta, sobretudo a temperaturas mais baixas do ar. As diferenças no comportamento da secagem destacaram-se desde o início do processo e o fluxo inicial de perda de água foi usado como índice para quantificar o efeito do tratamento abrasivo. Constatou-se considerável degradação de Vitamina C durante o processamento abrasivo e ao final de todos os processos de secagem de minitomates (com a pele integral ou tratada) a retenção de Vitamina C foi muito baixa.

Palavras-chave: Pré-tratamento abrasivo. Minitomate *Sweet Grape*. Secagem. Vitamina C.

ABSTRACT

This research considered an innovative method to accelerate the production of dehydrated unpeeled whole cherry tomatoes to be established as a gourmet product. In order to decrease the impermeability of the tomato skin without visible damage to the fruit integrity, Sweet Grape cherry tomatoes were submitted to an abrasive treatment of the epicarp, necessary and sufficient to exfoliate part of the external superficial skin layer, the main resistance to moisture mass transfer. The test were conducted in a horizontal rotating drum, with the internal wall covered by grit size 180 sandpaper, during 30 minutes. The performance of the abrasive treatment was evaluated monitoring the dehydration of treated and untreated cherry tomatoes placed in a perforated tray inside a vertical cylindrical dryer with air at 55°C, 70°C and 85°C flowing through the fruits. Considerable reduction in drying time was found for the abrasive treated tomatoes in relation to the untreated ones, mainly at lower drying air temperatures. Differences in the drying behavior were observed from the very beginning of the dehydration process so that the initial water loss flux was use as a parameter to quantify the extension of the effect of the abrasive treatment. Considerable degradation of Ascorbic Acid was found in tomatoes submitted to the abrasive process and the final contents of Vitamin C in the dehydrated tomatoes , peeled and unpeeled, was very low.

Key-words: Abrasive pre-treatment. Sweet Grape cherry tomatoes. Drying. Vitamin C.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	ORIGEM DO TOMATE.....	10
3.2	CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO	10
3.2.1	Tomate <i>Sweet Grape</i>	13
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO TOMATE.....	14
3.3.1	Vitamina C ou Ácido L-ascórbico.....	16
3.4	SECAGEM	17
3.5	SECAGEM DE FRUTOS ESFÉRICOS INTEIROS	18
3.5.1	Pré-tratamento do epicarpo	18
3.5.1.1	Tratamento químico com oleato de etila	19
3.5.1.2	Remoção da pele	20
3.5.1.3	Pré-tratamento abrasivo.....	21
3.5.2	Secagem de tomates inteiros	24
3.6	ATIVIDADE DE ÁGUA	25
3.7	CINÉTICA DE SECAGEM.....	28
3.7.1	Modelo físico para a cinética de secagem	29
3.7.2	Modelos matemáticos da cinética de secagem	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	MATÉRIA-PRIMA	32
4.2	METODOLOGIA	32
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	33
4.3.1	Dimensão axial, radial, área superficial e massa.	33
4.3.2	Determinação do conteúdo de umidade	34
4.3.3	Determinação de Vitamina C (Ácido L-ascórbico).....	35
4.3.4	Isotermas de sorção de umidade.....	37
4.4	EQUIPAMENTOS	38
4.4.1	Sistema abrasivo.....	38

4.4.2	Secador vertical de bandeja.....	39
4.5	ENSAIOS.....	40
4.5.1	Pré-tratamento abrasivo.....	40
4.5.2	Descascamento	41
4.5.3	Secagem.....	41
5	RESULTADOS.....	43
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO/QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA	43
5.1.1	Dimensões	43
5.1.2	Conteúdo de umidade (ωH_2O).....	43
5.1.3	Teor de Vitamina C	44
5.1.4	Isotermas de Sorção.....	44
5.2	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PRÉ-TRATAMENTO ABRASIVO.....	46
5.2.1	Seleção da grana da folha de lixa	46
5.2.2	Determinação da velocidade de rotação do tambor abrasivo	47
5.2.3	Determinação do tempo do pré-tratamento	48
5.3	SECAGEM DE MINITOMATES	50
5.3.1	Secagem com ar a 70 °C de minitomate com diferentes tratamentos da pele.....	51
5.3.2	Secagem de minitomates pré-tratados a 55, 70 e 85 °C	53
5.3.3	Modelagem matemática para cinética de secagem em camada delgada	54
5.3.4	Secagem de um único minitomate.....	56
5.3.5	Fluxo inicial de secagem de minitomate	58
5.3.6	Modelagem difusional da secagem	63
5.4	DEGRADAÇÃO DA VITAMINA C	65
5.4.1	Perda de Vitamina C durante o pré-tratamento	66
5.4.2	Efeito do tratamento abrasivo sobre o teor de Vitamina C	67
5.4.3	Efeito de diferentes temperaturas de secagem na retenção de Vitamina C.....	68
6	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A	77
	APÊNDICE B	79

1 INTRODUÇÃO

A região andina da América do Sul é considerada por muitos como sendo o local de origem do tomate (*Lycopersicon Esculentum*), espécie pertencente à família das *Solanaceas*, que foi levada pelos incas ao México, e, posteriormente, no século XVI, à Europa pelos exploradores espanhóis. Durante a revolução industrial, o fruto se expandiu por toda a Europa, para os Estados Unidos e para o Japão. No Brasil, o tomate foi introduzido no século XIX por imigrantes europeus (ALVARENGA, 2004).

Os tomates participam de duas cadeias produtivas distintas, consumo *in natura* (de mesa) e consumo industrial, em que passam por processamentos que dão origem aos seus derivados.

Os tomates apresentam importância nutricional, pois são fontes de vitaminas, minerais, carotenoides e proteínas, além de apresentar baixo teor de gordura e de calorias. Por conter alto conteúdo de água, os tomates necessitam de um processamento ou consumo logo após a colheita (PEREIRA; FONTES, 2003).

A desidratação ou secagem é importante para o armazenamento e conservação de produtos biológicos com alto conteúdo de água, como tomates. O conhecimento dos efeitos da secagem sobre as propriedades químicas do produto se faz necessário, pois, durante o processo ocorrem variações nas suas características físicas, químicas e nutricionais que dependendo da intensidade podem gerar perda ou degradação do produto.

O tomate seco tornou-se um importante componente nutritivo e flavorizante de iguarias, e várias pesquisas foram desenvolvidas sobre as implicações de sua desidratação. Devido a alta impermeabilidade do epicarpo, os tomates são fatiados ou cortados em quatro antes da secagem.

Na última década os minitomates e os tomates-cereja têm encontrado uma aceitação crescente no mercado, pois são considerados um produto-*gourmet* e são normalmente consumidos inteiros. A secagem de minitomates inteiros engendraria um produto original e inovador de grande apelo gastronômico. Pesquisas indicam, entretanto, que mesmo considerando o pequeno tamanho desta variedade, a secagem sem a remoção da pele é contraproducente, em termos de tempo de processamento e de consumo de energia (KHAMA et al., 2016).

Buscando um método mais eficiente na secagem de minitomates inteiros e com pele, e motivado pelos resultados obtidos com a incorporação de um pré-tratamento abrasivo realizado em uvas por Adiletta et al. (2016), Adiletta et al. (2015), este trabalho tem o

propósito de avaliar os efeitos deste pré-tratamento, quando aplicado a minitomates da espécie *Sweet Grape*.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as influências de um pré-tratamento abrasivo em aspectos da desidratação da espécie de minitomates *Sweet Grape* (*Solanum Lycopersicum* var. *cerasiforme*), a partir do processo de secagem em secador mecânico convectivo.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar a influência de diferentes materiais abrasivos avaliando seu efeito sobre a pele do tomate e sua interferência na remoção de água do interior do produto durante a secagem convectiva, utilizando combinações de temperatura e velocidade.

Monitorar a degradação de ácido ascórbico dos tomates expostos ao pré-tratamento e à secagem.

Avaliar modelos matemáticos de secagem para quantificar o efeito do pré-tratamento na permeabilidade da pele.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ORIGEM DO TOMATE

O tomate é a segunda hortaliça mais cultivada no mundo, sendo superada somente pela produção de batatas.

A América do Sul é considerada o centro de origem do tomateiro, mais precisamente a região andina da Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e Chile, devido à difusão do gênero *Lycopersicum* nesta área (ALVARENGA, 2004). Os incas levaram o tomate até as regiões de Puebla e de Vera Cruz, no sul do México, habitadas pelos astecas, que procederam à domesticação dos frutos, antes da colonização espanhola, e o país ficou conhecido como centro de origem secundária dos tomates (MÔNACO, 1964).

O tomate foi introduzido pelos espanhóis no continente europeu em meados do século XVI, mais precisamente em Sevilha. Inicialmente o tomate não foi utilizado para alimentação e sim em ornamentações de jardins, por apresentar uma coloração avermelhada e pertencer à família de algumas plantas venenosas conhecidas. Matthiolus na Itália, em 1554, usando uma espécie de tomate de cor amarelada, foi responsável pela primeira referência de aceitação para consumo humano do tomate (ALVARENGA, 2004; FILGUEIRA, 2008). Ao final do século XVI, o fruto de cor avermelhada difundiu-se por toda a Europa, mas somente após a revolução industrial, no século XIX, seu cultivo foi favorecido pela produção e processamento de alimentos em escala industrial (PADOVANI, 1986). No século XVIII, o tomate foi levado pelos europeus até os Estados Unidos e o Japão. No Brasil, mesmo sendo um país vizinho ao da origem do tomate, o fruto somente foi introduzido no final do século XIX por imigrantes europeus (ALVARENGA, 2004).

3.2 CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO

O tomateiro pertence à família *Solanaceae*, uma das mais importantes do ponto de vista econômico, pois possui várias espécies comestíveis em que se destacam batatas, berinjelas, pimentão, pimenta e jiló (MINAMI; HAAG, 1989).

A planta é uma dicotiledônia da ordem Tubiflorage pertencente ao gênero *Lycopersicon*, este dividido em dois subgêneros *Eulycopersicum* e *Eriopersicum*. O tomate cultivado (*Lycopersicon Esculentum*) pertence ao subgênero *Eulycopersicum* (SALUNKHE;

DESAI, 1984). As outras espécies de tomates são normalmente utilizadas em programas de melhoramento (MINAMI; FONSECA, 1982).

Os tomates apropriados para o consumo apresentam em sua estrutura um equilíbrio entre elementos ácidos e doces, uma boa textura da polpa e bastante suco. O sabor apresentado pelos tomates pode sofrer alterações de qualidade devido à mudança de temperatura, tipo de solo, luz, manejo e cultivo. O ciclo total de amadurecimento de tomates é de aproximadamente noventa dias. Após a florescência os tomates necessitam de um período entre vinte a trinta dias para atingir o tamanho ideal e então ainda precisam de mais três ou quatro semanas para amadurecer. O fator de amadurecimento tem forte influência sobre o sabor do fruto, devendo ser colhido próximo ao estado ótimo de maturação e consumido o mais rapidamente possível (INCAPER, 2010). O tomate maduro apresenta em média uma vida útil de prateleira em torno de duas semanas (BARRETT, 1990).

Tomates são constituídos por epicarpo (pele), mesocarpo, endocarpo, feixe fibrovascular, septo, lóculo, tecido placentário e sementes. A Figura 3.1 apresenta uma seção transversal e outra axial do tomate. Os lóculos, no interior dos frutos, contêm as sementes imersas no tecido placentário e dependendo da espécie, podem apresentar variações em seu número (FERRARI, 2008).

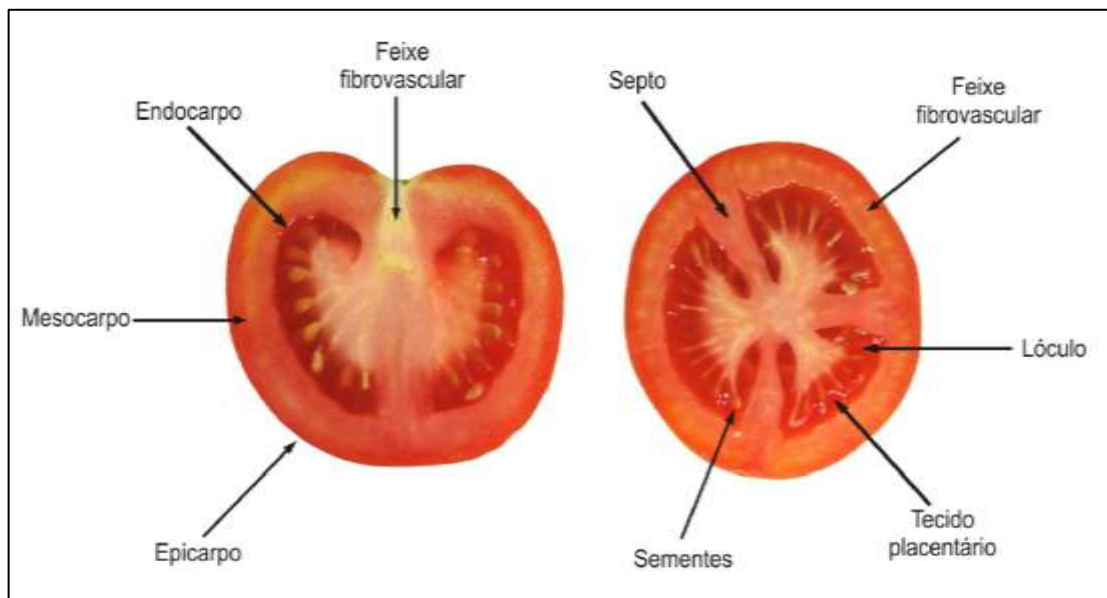


Figura 3.1 – Constituição do tomate.
Fonte: FERRARI (2008).

De acordo com o Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MAPA) 1995, conforme publicado na Portaria 553/1.995, os tomates são classificados em:

- Grupos: de acordo com o formato do fruto;
- Subgrupos: de acordo com a coloração do fruto;
- Classes ou Calibres: de acordo com o tamanho do fruto;
- Grau de Seleção: de acordo com a qualidade do fruto.

As fotografias na Figura 3.2 ilustram essa classificação.

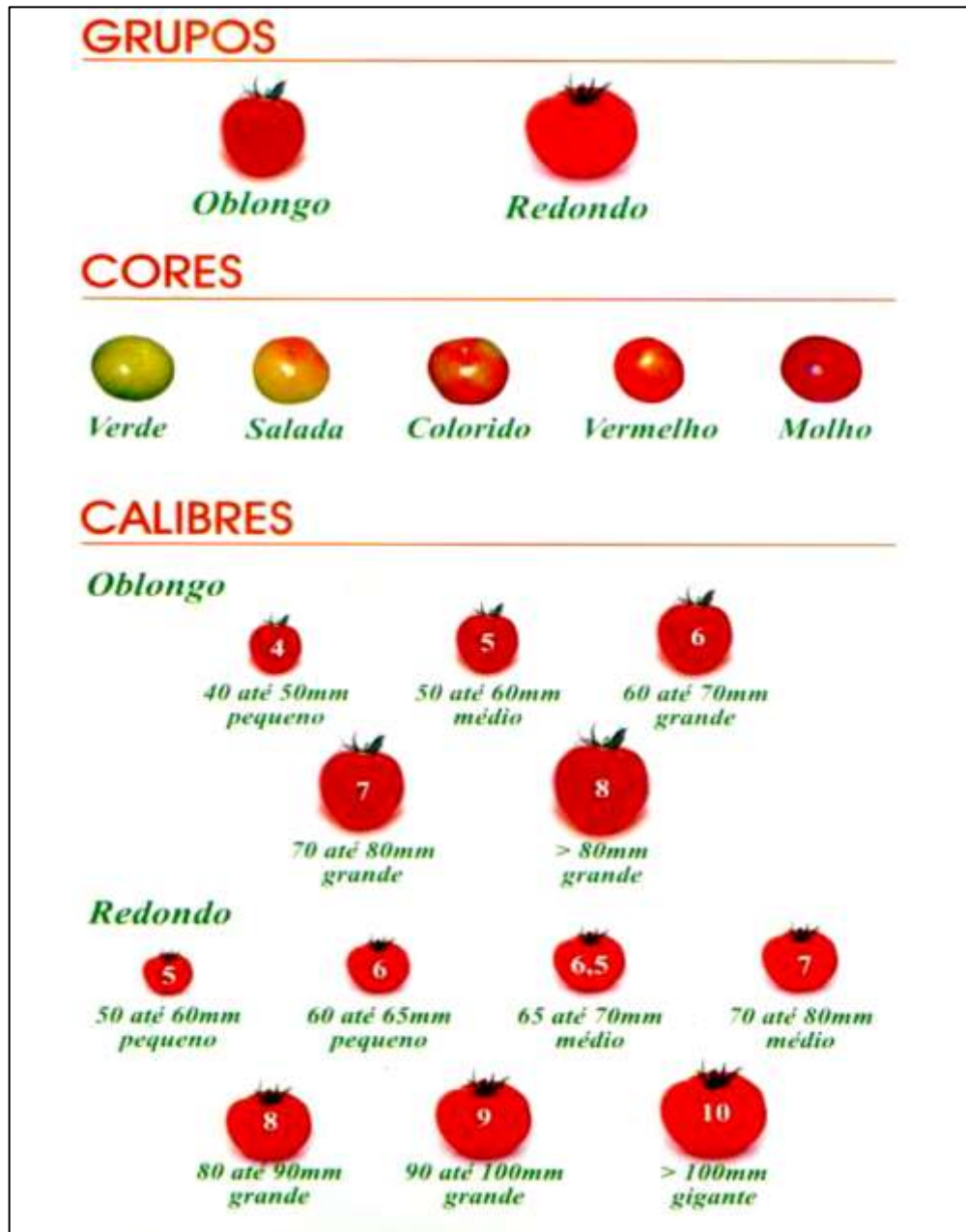


Figura 3.2 - Classificação dos frutos quanto aos grupos, cores e calibres.
Fonte: CAMARGO (2005).

Segundo Filgueira (1982), a cultura do tomateiro apresenta quatro grupos principais, com diferentes características dos frutos:

- a) Santa Cruz: são resistentes ao manuseio, fato que pode explicar a sua predominância de cultivo. O peso médio é de 140 g, apresenta um formato arredondado e alongado. A produtividade está em torno de 50 a 70 toneladas/ha. É utilizado como tomate de mesa;
- b) Roma ou Piriforme: são considerados tomates industriais, pois apresentam maior produtividade (até 83 toneladas/ha) e permitem colheita mecânica. Quando maduros, os frutos apresentam uma coloração avermelhada e um amadurecimento uniforme. São piriformes, alongados e firmes e são adequados para a fabricação de polpa concentrada e extrato, pois apresentam de dois a três lóculos, com paredes grossas e carnosas;
- c) Quadrado: os frutos possuem ótimas características industriais, pois também contêm dois ou três lóculos. Seu formato é cilíndrico, muito consistente, com ótima coloração externa e interna, tem aparência semelhante aos tomates do grupo Santa Cruz, sendo utilizados para consumo *in natura* ou industrial. A sua produtividade média é de 30 a 60 toneladas/ha;
- d) Caqui ou Maçã: os frutos são pluriloculares contendo de cinco a dez lóculos, o que os torna mais moles, dificultando o manuseio. O tamanho e o peso são maiores e a textura é mais delicada.

Além desses grupos, existem outros, mais raros e menos conhecidos. Os minitomates (*Solanum Lycopersicum var. cerasiforme*) cv. híbrido *Sweet Grape* utilizados normalmente *in natura* são classificados como produto *gourmet*.

3.2.1 Tomate Sweet Grape

O minitomate foi introduzido no Brasil na década de 1990. Normalmente é consumido *in natura* ou na preparação de pratos da gastronomia contemporânea, motivo pelo qual ocorreu uma expansão de seu cultivo e despertou o interesse dos produtores. O tomateiro é considerado uma planta ornamental, de geometria específica apresentando tamanho de fruto pequeno e de coloração vermelha brilhante, conforme pode ser observado na Figura 3.3 (FILGUEIRA, 2008).

O híbrido *Sweet Grape* é uma espécie de minitomate desenvolvido pela empresa *Sakata Seed Corporation* em 1998, na cidade de Bragança Paulista, no estado de São Paulo. Os minitomates *Sweet Grape* foram introduzidos no Brasil no ano de 2000, sendo os primeiros experimentos quanto à adaptação e cultivo relatados em 2007, na cidade de Campinas (CORRÊIA, 2015).

Os minitomates híbridos apresentam tamanhos reduzidos e formatos diversos, de acordo com o seu segmento (cereja, oblongo, piriforme, tomatoberry), com peso médio de 30 g/fruto. Na planta são encontrados dispostos em cachos e comumente cada cacho contém de oito a dezoito minitomates. Eles possuem dois lóculos, conteúdo de sólidos solúveis de até 10° Brix e pouca acidez, com pH médio de 4,69 (PRECZENHAK et al., 2014).

Para atender as exigências do consumidor, os frutos não devem apresentar deformidades, além de possuírem pequeno tamanho, alto teor de sólidos solúveis, baixa acidez e, principalmente, coloração uniforme e avermelhada.



Figura 3.3 – Tomates *Sweet Grape*.

Fonte: Adaptado de *Food Magazine* (2014).

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO TOMATE

A composição química fornece parâmetros (sólidos totais, açúcares e outros) que constituem prioridades do consumidor na escolha do produto, e também são de suma importância em estudos de aptidão de determinada matéria-prima à secagem. A Tabela 3.1 apresenta os valores médios da composição química do tomate.

Tabela 3.1 – Composição química de tomate maduro *in natura*

Constituinte	% em massa seca
Glicose	22,00
Frutose	25,00
Sacarose	1,00
Proteínas	8,00
Substâncias Pécicas	7,00
Hemicelulose	4,00
Celulose	6,00
Ácido Cítrico	9,00
Ácido Málico	4,00
K, Ca, Mg e P	8,00
Lipídios	2,00
Aminoácidos Dicarboxílicos	2,00
Pigmentos	0,40
Ácido Ascórbico	0,50
Voláteis	0,10
Outros aminoácidos, vitaminas e polifenóis	1,00

Fonte: ALVARENGA (2004).

A quantidade de sólidos presentes no fruto tem influência sobre o sabor do mesmo, sendo açúcares, ácidos orgânicos e compostos voláteis os principais componentes. O tomate maduro *in natura* apresenta em média uma faixa de 93% a 95% de água, e, portanto, a quantidade de matéria seca responsável por sua qualidade é muito pequena. A matéria seca é constituída basicamente por 50% de açúcares redutores, como glicose e frutose; 10% são ácidos orgânicos, destacando o ácido cítrico e málico (SHI; MAGUER, 2000).

Os tomates são fonte de carotenoides, principalmente licopeno e β -caroteno, fonte de Vitamina A, além de Vitaminas B, C, E e compostos fenólicos como flavonoides. Os minerais contribuem com 8% da matéria seca dos frutos, sendo divididos em potássio (4%), cálcio (2%) e fósforo (0,4%), que juntos somam aproximadamente 80% dos minerais totais. O tomate é considerado fonte de potássio, sendo este elemento responsável pela melhoria da qualidade dos frutos, influenciando a síntese de carotenoides, em especial o licopeno. O fósforo colabora com a qualidade dos frutos, aumentando o seu peso médio. A parede celular dos tomates é dotada de cálcio, um mineral importante para sua estruturação. Sua deficiência

no tomateiro causa podridão apical ou estilar dos frutos. Outros minerais presentes em menores quantidades nos tomates são boro, cobalto, ferro, magnésio, manganês, sódio, enxofre e zinco (PEREIRA; FONTES, 2003).

Do ponto de vista nutricional, o tomate é considerado um alimento de alto valor, pois é fonte de fibras (celulose e pectina) e proteínas, contém baixo teor de gordura e de calorias além de ser livre de colesterol, apresentando ainda pequena proporção de Vitamina C na forma reduzida de ácido ascórbico (ALVARENGA, 2004).

3.3.1 Vitamina C ou Ácido L-ascórbico

A Vitamina C ou Ácido L-ascórbico está presente em vários alimentos, particularmente nos de origem vegetal, tipicamente em quantidades de 10-100 (mg/100g de fruto). A Vitamina C é um agente redutor e antioxidante, um cofator em reações catalisadas por Cu^+ monoxigenases dependentes de Fe^{2+} e dioxigenases dependentes (LINSTER; SCHAFTINGEN, 2007).

A Vitamina C quando exposta a temperaturas medianas, à luz ou na presença de oxigênio sofre degradação, sendo que na presença de oxigênio a degradação da vitamina ocorre, sobretudo, pelo mecanismo oxidativo, e, em menor proporção, pelo mecanismo anaeróbico. Catalisadores que contêm cobre e ferro ou enzimas que contêm esses metais em seu grupo prostético são eficientes na decomposição da Vitamina C (MUNHOZ, 2016).

O ácido L-ascórbico pode ser facilmente oxidado de modo reversível em ácido dehidroascórbico (DHAA). Conforme mostra a Figura 3.4 o DHAA quando exposto à luz, à temperaturas levemente elevadas ou na presença de catalisadores ou enzimas de ferro e cobre é convertido irreversivelmente em ácido 2,3 dicetogulônico (DKGA), perdendo assim sua atividade vitamínica (MUNHOZ, 2016).

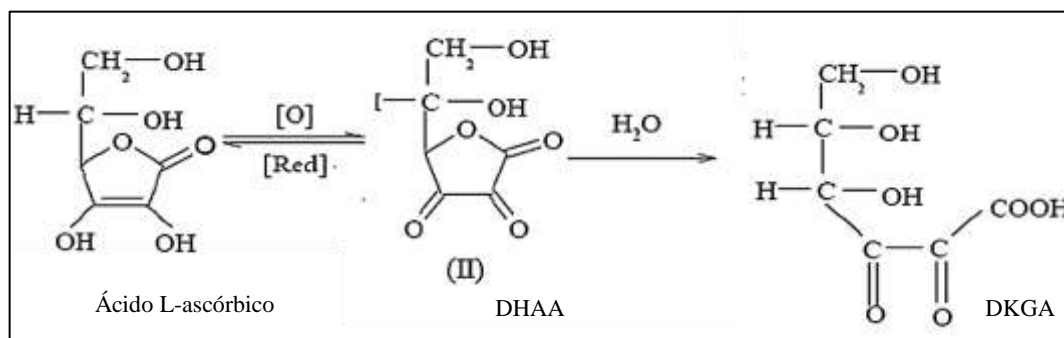


Figura 3.4 – Mecanismo de conversão do ácido L-ascórbico em ácido dehidroascórbico (DHAA) em ácido 2,3 dicetogulônico (DKGA).

Fonte: Adaptado de MUNHOZ (2016).

A Vitamina C inibe a síntese química de nitrosaminas, importante fator de risco para o câncer de estômago. A ingestão da Vitamina C em doses diárias superiores a 90 mg pode reduzir o risco de câncer e problemas cardíacos (SICHERI et al., 2000). O conteúdo de Vitamina C presente em tomates não é dos mais elevados se for comparado com a quantidade encontrada em outros alimentos, porém, o consumo elevado de tomate *in natura* e produtos processados torna o fruto uma importante fonte de Vitamina C (STEVENS et al., 2006). A Vitamina C é termolábil, e é considerada um dos nutrientes mais sensíveis às condições adversas e por isso seu teor é frequentemente tomado como indicador de alterações gerais de qualidade em alimentos secos e processados (KOH; CHAROENPRASERT; MITCHELL, 2011).

3.4 SECAGEM

O tomate é utilizado na fabricação de vários produtos como sucos, purês, pastas, *ketchup*, molhos e sopas. Tomates desidratados são considerados iguarias finas (*delicatessen*) e adotados em muitas cozinhas internacionais. Nas últimas décadas o tomate seco foi promovido a refinado ingrediente de saladas verdes frescas e a componente de várias receitas sofisticadas (XANTHOPOULOS; YANNIOTIS; TALAIPOROU, 2012).

O teor de umidade encontrado em tomates *in natura*, em média 95% (base úmida), é um nível pouco comum em vegetais. Esse alto conteúdo de umidade torna a secagem o método mais utilizado de conservação, pois implica em uma diminuição expressiva de massa e volume e na redução de sua atividade de água. A alta impermeabilidade da pele, entretanto, obriga o fatiamento do tomate para ativar a cinética de secagem (GAWARE; SUTAR; THORAT, 2010).

A secagem é um processo intensivo em energia que resulta na remoção de umidade de um corpo por evaporação e a meta é buscar o equilíbrio entre usar uma quantidade mínima de energia para uma remoção máxima de umidade (BARATI; ESFAHANI, 2011).

Tomates inteiros têm sido secados após a remoção (química ou mecânica) da pele, ou após um tratamento químico (geralmente com oleato de etila) de sua superfície, visando a remoção e desestruturação da camada de cera que o cobre (AYVAZ; SANTOS; SAONA, 2016).

A temperatura do ar de secagem provavelmente é um dos parâmetros mais importante na definição do processo. O aumento da temperatura acelerará o processo, proporcionando a diminuição do tempo do mesmo, porém, tem forte influência sobre as perdas de características

organolépticas de textura, cor e densidade, e também perdas em valores nutricionais. Por outro lado, a secagem a temperaturas mais baixas ocasiona maior tempo de processo causando o escurecimento do tecido. Definir qual a temperatura ideal de secagem é indispensável para obter um produto de qualidade sem afetar drasticamente suas características físicas e organolépticas (KHAMA et al., 2016).

A literatura científica registra um grande número de trabalhos envolvendo estudos de manutenção da qualidade (nutricional, organoléptica, de reconstituição) de fatias de tomate ou tomate em metade, assim como a modelagem da cinética de sua desidratação (BARONI, 2004; CAMARGO, 2000; CRUZ; BRAGA; GRANDI, 2012; ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003; SHI; MAGUER, 2000; ZANONI et al., 1999). Como o objetivo deste trabalho é a obtenção de minitomates desidratados inteiros, dar-se-á ênfase a uma análise crítica de pesquisas que abordaram a secagem de tomates inteiros e outros vegetais com morfologia similar (como uvas, figos e ameixas) e seus pré-tratamentos.

3.5 SECAGEM DE FRUTOS ESFÉRICOS INTEIROS

A eficiência de um processo de secagem pode ser medida pela qualidade final do produto desidratado. Estudos de microestrutura, mecanismo de remoção de umidade na desidratação e na absorção de água durante a reidratação, relacionam a qualidade dos produtos com as características apresentadas pelo mesmo. Recomenda-se que as células contidas no produto não estejam totalmente colapsadas, as paredes celulares devem estar intactas e os espaços intercelulares devem ser mantidos secos. Esse último fator permitirá a ação capilar de permeabilidade da água durante sua reconstituição. A água pode difundir através da parede celular intacta e para dentro das células restabelecendo seu turgor (JEN; MUDAHAR; TOLEDO, 1989).

3.5.1 Pré-tratamento do epicarpo

O epicarpo (pele) do tomate, de espessura na faixa de 4 a 10 μm , é o segmento protetor contra ações externas e regula as trocas de umidade, além de proteger o fruto de ameaças químicas, físicas e biológicas (AYVAZ; SANTOS; SAONA, 2016).

A pele pode ser definida como um biopolímero insolúvel e amorfo, constituído basicamente por ácidos graxos esterificados C_{16} e C_{18} hidroxilados e epoxi-hidroxilados (HEREDIA, 2003). Condições ambientais (temperatura, umidade, luminosidade) durante o

amadurecimento do fruto podem influenciar na formação da pele. Diferentes cultivares apresentam formações caracterizadas da pele (DOMÍNGUEZ et al., 2008).

Bauer, Schulte e Thier (2004), por meio de cromatografia gasosa, caracterizaram e classificaram em três categorias os constituintes da cera encontrada em pele de tomates. A primeira categoria é constituída basicamente de hidrocarbonetos e aldeídos, a segunda fração por n-alcenos, ácidos alcanóicos, esterol e triterpenóides; e a terceira fração é composta basicamente de naringenina-chalcona.

Outros frutos de interesse comercial/industrial também compartilham deste tipo de proteção, como uvas, ameixas, cerejas e pimentas. Varias pesquisas consideraram diferentes formas de contornar a alta impermeabilidade da pele desses frutos.

3.5.1.1 Tratamento químico com oleato de etila

O tratamento químico com oleato de etila é frequentemente empregado em processos de secagem com o objetivo de preservar ao máximo as características físicas, químicas, nutricionais e organolépticas do produto seco (FEMENIA et al., 1998). A imersão de frutos com uma cobertura cerosa sobre a epiderme como uvas, cerejas, figos e tomates, durante alguns minutos em solução de derivados de ácidos graxos, utilizados como agentes umectantes e emulsificantes, pode reduzir o tempo de desidratação (SHI et al., 1997).

A aplicação de um pré-tratamento com agentes químicos afeta a estrutura original do fruto e sua textura, pois acarretam mudanças na constituição de suas paredes celulares. A parede celular é a base da resistência mecânica do fruto, e é constituída por diferentes polissacarídeos. As reações ocorridas afetam os polímeros pécticos, que podem ser desagregados em pH fracamente ácido, modificando a estrutura polissacarídea dentro da fibra (FEMENIA et al., 1998).

Doymaz (2007) estudou a secagem de cerejas expostas ao pré-tratamento com oleato de etila. As cerejas foram tratadas em solução contendo oleato de etila (2%) e carbonato de potássio (5%) durante o tempo de 1 min. A secagem foi realizada sob duas temperaturas, 55 e 65 °C, com velocidade do ar de 1 m/s, até atingir o teor de umidade de 20%. As cerejas previamente expostas ao banho necessitaram de tempos de secagem de 17 e 12 horas nas temperaturas de 55 e 65 °C respectivamente, enquanto que cerejas não tratadas exigiram tempos de 27 horas a 55 °C e 20 horas a 65 °C.

Pangavhane, Sawhney e Sarsavadia (1999) avaliaram o efeito do pré-tratamento químico com solução contendo 2% de oleato de etila e 2,5% de K_2CO_3 durante 3 minutos à

temperatura ambiente, na secagem de uvas Thompson. Os experimentos de secagem foram conduzidos a 60 °C e com velocidade do ar de 0,5 m/s, até um teor de umidade final de 17% em base seca. O tempo de secagem das uvas tratadas foi de 27 horas *versus* 46 horas para a secagem das não tratadas. A textura apresentada pelas uvas tratadas e não tratadas foi semelhante e considerada de boa qualidade. A cor marrom avermelhada das uvas secas tratadas deixou-as mais atraentes do que a cor marrom escuro das uvas secas não tratadas. As características organolépticas encontradas nas uvas secas tratadas foram superiores as encontradas em uvas secas não tratadas.

3.5.1.2 Remoção da pele

O descascamento é um pré-tratamento que consiste na remoção de pele e de uma fina camada de tecido logo abaixo da mesma, provocando o mínimo possível de lesões. Seu objetivo é romper a impermeabilidade e assim aumentar a taxa de secagem. Existem diversos métodos utilizados para remoção da pele em tomates, os mais usuais e encontrados na literatura são: descamação por vapor ou água quente (branqueamento térmico) e, imersão em solução de NaOH (lixívia) (AYVAZ; SANTOS; SAONA, 2016).

O branqueamento térmico detém o ataque de enzimas responsáveis por reações de deterioração, que podem causar mudanças não desejáveis na cor, odor e textura, ajudando também na preservação do conteúdo de vitaminas. Ele pode ser realizado com água quente ou com vapor, em temperaturas pré-estabelecidas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Tripathi e Nath (1989) constataram empiricamente que tomates inteiros expostos ao tratamento de branqueamento durante o tempo de quarenta e cinco segundos não apresentaram qualquer mudança visível na pele e na polpa dos frutos. Em experimentos com sessenta segundos, os tomates apresentaram danos na pele, mas não na polpa. Entre setenta e cinco e noventa segundos, os tomates sofreram diversos danos na pele e na polpa, tornando seu fatiamento difícil. Foi possível verificar também que o branqueamento não impede o escurecimento das fatias.

O uso de lixívia consiste em mergulhar as frutas em soluções de hidróxido de sódio (4 a 25 g/100 mL de água) em temperaturas entre (60 – 100) °C. O efluente gerado pelo tratamento, entretanto, apresenta um nível de pH muito alto (acima de 13), necessitando de tratamento com ácido para neutralização antes de ser liberado na água ou no solo (WONGSA-NGASRI; SASTRY, 2015). Santos (2008) avaliou o descascamento químico de tomates por imersão em soluções de hidróxido de sódio durante um período entre dez e trinta minutos, em

concentrações de 4% a 8% m/m de NaOH, com temperaturas entre 30 °C e 50 °C. A otimização do processo foi obtida á temperatura de 30 °C, por imersão durante trinta minutos em solução contendo 6% de NaOH.

O descascamento a vapor é mais amigável ao meio ambiente e menos oneroso, porém a qualidade do produto é inferior se comparado ao descascamento por lixívia. O uso de vapor não é suficiente para remover todos os defeitos apresentados pelos tomates, o que é desvantajoso do ponto de vista industrial (AYVAZ; SANTOS; SAONA, 2016).

3.5.1.3 Pré-tratamento abrasivo

Tendo em vista o crescente interesse em produtos alimentícios minimamente processados, foi desenvolvido um pré-tratamento físico alternativo, consistindo em uma abrasão preliminar da pele de uvas e de ameixas, com o objetivo de acelerar o processo de secagem por meio da remoção da camada cerosa que cobre o epicarpo dos frutos. O pré-tratamento visa substituir outros pré-tratamentos mais agressivos como uso de lixívia e tratamentos químicos (ADILETTA et al., 2016; ADILETTA et al., 2015; CINQUANTA; DI MATTEO; ESTI, 2002; DI MATTEO et al., 2000).

Di Matteo et al. (2000) avaliaram o efeito do pré-tratamento abrasivo na remoção da camada cerosa encontrada na casca de uvas brancas e sua interferência no processo de desidratação, e compararam os resultados obtidos aos resultados da secagem de uvas expostas ao pré-tratamento químico com oleato de etila. A abrasão foi realizada com folhas de lixa de grana 60 durante um tempo de 10 minutos. O banho em solução com oleato de etila (2%) em 2,5% de K_2CO_3 procedeu à temperatura de 40 °C durante 3 minutos. O processo de secagem usou ar à temperatura de 50 °C e com velocidade de 0,5 m/s. A secagem foi encerrada quando as uvas atingiram 20% do peso inicial. O pré-tratamento abrasivo não provocou rompimento no epicarpo das uvas, afetando somente a fina camada de cera encontrada sobre a casca da uva. Na Figura 3.5 é possível verificar a eficiência do lixamento na remoção desta camada. O tempo de secagem necessário para atingir o teor de umidade requerido foi de aproximadamente 35 horas para uvas lixadas assim como para uvas tratadas quimicamente, tempo este bem inferior às 90 horas necessárias para secagem de uvas não-tratadas. As uvas tratadas quimicamente apresentaram melhor coloração, pois o tratamento químico inibe algumas reações enzimáticas que provocam o escurecimento; por outro lado, o tratamento abrasivo não utiliza produtos químicos, o que permite uma produção mais limpa.

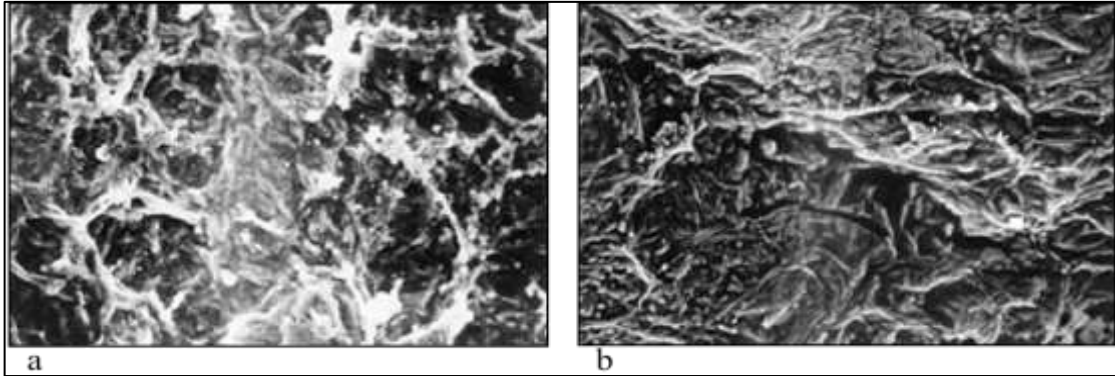


Figura 3.5 – Micrografias (MEV) do epicarpo (a) de uvas não tratadas e (b) de uvas tratadas.
 Fonte: Adaptado de DI MATTEO et al. (2000).

Adiletta et al. (2016) e Adiletta et al. (2015) estudaram o efeito do pré-tratamento abrasivo em uvas italianas, avaliando a cinética de secagem, conteúdo de açúcar e de ácidos orgânicos, encolhimento, microestrutura, textura, teor de fenólicos totais, atividade antioxidante e reidratação. As uvas foram levadas a um tambor rotativo com as paredes internas recobertas por um material abrasivo de grana 400, e a velocidade de rotação variou de 9 a 10 rpm, por um período entre 15 a 30 minutos.

A Figura 3.6 apresenta as diferentes curvas de secagem de uvas quando expostas ao ar a quatro temperaturas diferentes, 40, 50, 60 e 70 °C, sob três condições distintas: uvas não-tratadas (UTR), uvas expostas ao tratamento químico em solução alcalina de oleato de etila (TREtOl) e uvas expostas ao pré-tratamento abrasivo (TRAbr). No processamento a 50, 60 e 70 °C é possível observar que para atingir um teor de umidade inferior a 10% as uvas pré-tratadas abrasivamente necessitaram de menores tempos se comparado aos outros tratamentos.

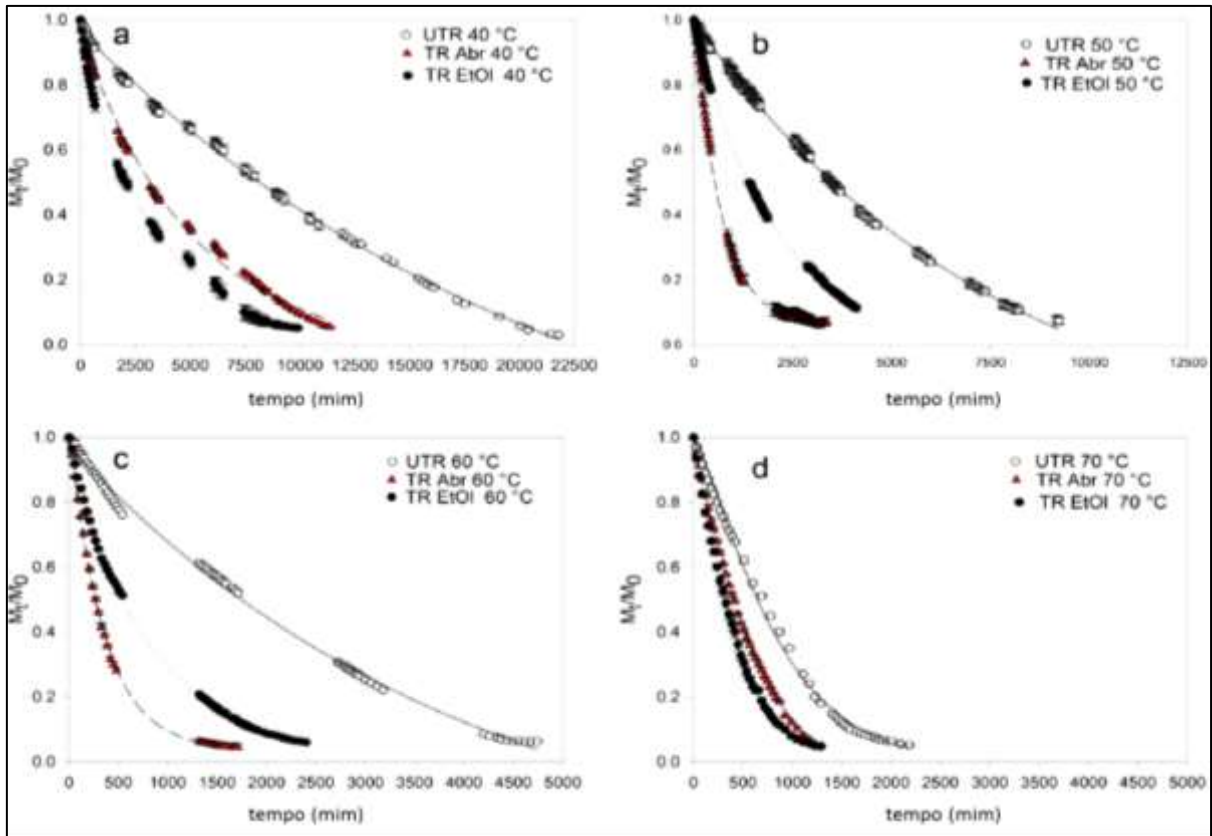


Figura 3.6 – Curvas de secagem de amostras de uvas não tratadas (UTR), pré-tratadas quimicamente (TR-EtOI) e pré-tratadas abrasivamente (TR-ABR), (a) 40 °C, (b) 50 °C, (c) 60 °C, (d) 70 °C.

Fonte: Adaptado de ADILETTA et al. (2016).

Cinquanta, Di Matteo e Esti (2002) avaliaram o efeito do pré-tratamento abrasivo na qualidade de diferentes ameixas submetidas à secagem. Compararam os resultados obtidos com os de secagem de ameixas previamente expostas ao tratamento químico com oleato de etila. As ameixas foram desidratadas a 60 °C com velocidade de ar de 0,5 m/s. A secagem foi finalizada quando as ameixas apresentaram 25% da massa inicial. De modo geral o tempo de secagem das ameixas expostas ao pré-tratamento abrasivo foi levemente menor do que o tempo necessário para secagem de ameixas tratadas quimicamente e em média 30% menores do que ameixas não tratadas. A diferença do conteúdo de açúcares encontrado em ameixas secas tratadas quimicamente e as tratadas abrasivamente foi desprezível, e ameixas pré-tratadas apresentaram maior teor de açúcar do que ameixas não tratadas. Devido à coloração roxa escura das ameixas secas a cor apresentada ao final da secagem não exibiu diferença perceptível entre ameixas tratadas e não tratadas.

3.5.2 Secagem de tomates inteiros

Durante anos, vários pesquisadores procuraram métodos de secagem mais eficientes para tomates inteiros, buscando manter as propriedades nutricionais, os benefícios que o fruto proporciona a saúde, a qualidade e a aceitabilidade.

Romero-Peña (1999) realizou ensaios de secagem, usando ar a 60 °C, de tomates da variedade Santa Clara, inteiros com e sem pele, medindo a temperatura da polpa adjacente a superfície. Constatou que no tomate com pele a temperatura da polpa sobe rapidamente atingindo valor próximo a temperatura de bulbo seco do ar em 60 minutos. Em tomates sem pele, o aumento da temperatura na superfície estava cerca de 10 °C acima da temperatura de bulbo úmido e 20 °C abaixo da temperatura de bulbo seco. A autora alerta para a possibilidade de uma maior degradação de nutrientes na secagem com pele, devido a essa elevação rápida da temperatura.

Xanthopoulos, Yanniotis e Boudouvis (2012) estudaram o efeito da pele sobre o processo de secagem de tomates inteiros. Tomates inteiros com pele e sem pele foram desidratados às temperaturas de 45, 55 e 65 °C em secador de túnel em escala de laboratório. Em tomates com pele o tempo de secagem foi 373, 243 e 72 horas nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C respectivamente. Para tomates descascados o tempo encontrado foi de 47 horas a 45 °C, 41 horas a 55 °C e 28 horas a 65 °C. O efeito do descascamento promoveu maior influência nas secagens sob menores temperaturas, pois a 65 °C ocorreu uma desnaturação da pele diminuindo assim a sua interferência no processo. A modelagem foi feita pela 2ª Lei de Fick, resolvida numericamente usando diferenças finitas, levando em consideração o encolhimento, mas assumindo condição isotérmica entre o ar e o tomate. O modelo numérico não especificou a resistência adicional devido à impermeabilidade da pele. Para tomates com pele foram encontrados valores de difusividade efetiva entre $5,9 \times 10^{-7}$ e $15,2 \times 10^{-7}$ cm²/s e para tomates sem pele os valores se situaram entre $2,01 \times 10^{-6}$ e $15,1 \times 10^{-6}$ cm²/s.

Khama et al. (2016) secaram tomate cereja inteiro com pele e sem pele em um micro secador de convecção forçada, com o objetivo de avaliar a interferência da pele sobre o processo. Foram utilizadas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os pesquisadores constataram que o aumento da temperatura do ar assim como a remoção da pele proporcionou maior taxa de secagem e conseqüentemente menor tempo de processo. Apesar de terem constatado considerável efeito impermeabilizante da pele, os autores conseguiram um bom ajuste aplicando a solução da 2ª Lei de Fick considerando apenas a contração de volume. Os valores encontrados para a difusividade efetiva de tomate cereja com pele se situam na faixa de

$2,56 \times 10^{-7}$ a $7,67 \times 10^{-7}$ cm²/s. Em tomate cereja descascado, a faixa de valores encontrada para a difusividade efetiva foi de $4,59 \times 10^{-6}$ a $6,73 \times 10^{-6}$ cm²/s. Para tomates com pele foram necessários 305 e 157 horas para secagem em temperaturas de 50 e 70 °C, respectivamente; para tomates sem pele à temperatura de 50 °C o tempo de secagem foi de 27 horas e a 70 °C de 18 horas. Esses valores corroboram a influência do efeito da pele no processo de secagem.

3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água é o componente mais importante em materiais biológicos, sobretudo em alimentos, pois ela é o agente controlador da deterioração dos mesmos. Dependendo de como a molécula de água se relaciona com outras substâncias contidas no alimento, ela afeta as propriedades físicas e químicas de diversas maneiras. A higroscopicidade (afinidade existente entre a água e os outros componentes do produto) é característica fundamental a influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo. A maneira como a água está ligada ao alimento é determinada pela atividade de água (a_w) sendo esta uma característica importante para avaliar e prever a qualidade e a estabilidade de produtos alimentícios biológicos durante o processamento e o armazenamento (TSOTSAS; MUJUMDAR, 2011), conforme mostra a Figura 3.7. Por essa razão, na formulação de novos alimentos é desejável manter a atividade química da água a níveis que irão minimizar a reação de deterioração.

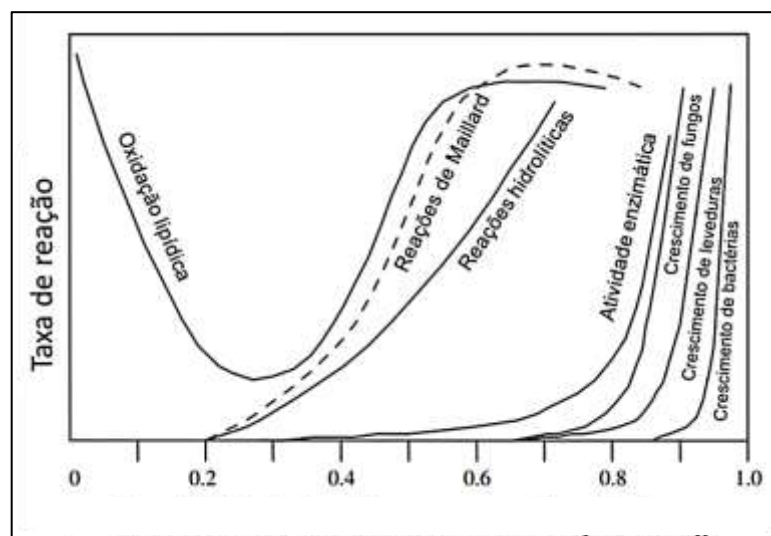


Figura 3.7 – Estabilidade de alimentos em função de a_w .
Fonte: Adaptado de TSOTSAS; MUJUMDAR (2011).

A atividade de água pode ser definida como a energia química da água em um sistema alimentício. Ela é a razão entre a fugacidade de água contida no alimento, pela fugacidade da água pura, de acordo com a Equação 3.1 (JARDIM, 1991), sendo que nas situações típicas de pressão e temperatura no armazenamento, a fugacidade equivale à pressão de vapor d'água:

$$a_w = \frac{f_a}{f_a^0} = \frac{P_a}{P_a^0} \quad (3.1)$$

Quanto mais próximo de um for esse valor, mais semelhante será o comportamento da água no alimento ao da água pura, tornando-se um meio propício a reações químicas, microbiológicas e bioquímicas (JARDIM, 1991).

As isotermas de sorção relacionam a atividade de água com o conteúdo de umidade no alimento. Elas são obtidas empiricamente, sendo necessária sua determinação para cada produto. Apesar de apresentar comportamento semelhante para o mesmo grupo alimentício, as isotermas possuem contornos diferentes, influenciadas por diferentes fatores, tais como estrutura física da superfície do produto, composição química e modo da interação existente entre a água e as demais substâncias (BARONI, 2004). As isotermas de sorção são geralmente divididas em três zonas de acordo com o valor de atividade água. A Figura 3.8 representa uma isoterma generalizada de atividade de água.

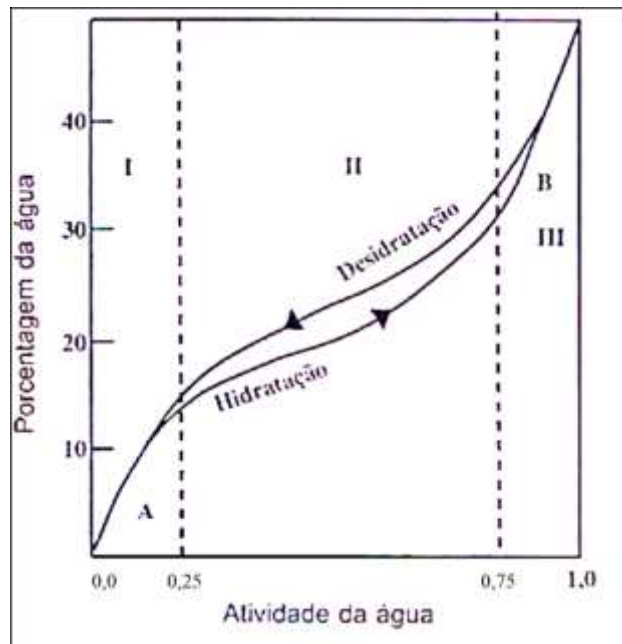


Figura 3.8 – Isoterma de sorção generalizada.
Fonte: DITCHFIELD (2000).

A Zona I representa forte interação da água com o produto, ligada pelos sítios polares e os valores de atividade de água se situam entre 0,0 e 0,25. Essa água é de difícil eliminação durante o processo de secagem. A transição da Zona I para a Zona II está associada ao conteúdo de umidade da monocamada de moléculas de água do alimento. Nessa situação, todos os sítios polares ativos no alimento estão ligados às moléculas de água. Essa situação é considerada ideal para o armazenamento, pois as moléculas de água neutralizam a capacidade de interação de pontos ativos na estrutura do alimento. A Zona II da isoterma de sorção, com valores de atividade de água entre 0,25 e 0,80, é caracterizada pela água adsorvida sobre a monocamada formando multicamadas. Os conteúdos de umidade somados da Zona I e Zona II correspondem a aproximadamente 5% do total de água encontrada em alimentos de alto teor de umidade. A Zona III é caracterizada por conter os 95% restante de água do produto. Esta água é conhecida como água livre, apresentando características similares à água pura. Durante o processo de secagem e também no congelamento, é sobretudo a água contida na terceira zona que é afetada. Em contrapartida, esta região é favorável a reações químicas deteriorantes e ao crescimento microbiano (CALVO; DURÁN, 1997).

Existem diversas equações semi-empíricas desenvolvidas para descrever as isotermas de sorção de umidade em alimentos. O modelo de Guggenheim-Anderson-de-Boer (GAB), Equação 3.2, é o mais utilizado para ajustar os dados de produtos alimentícios à isoterma. Diversos pesquisadores (AKANBI; ADEYEMI; OJO, 2006; BELGHITH; AZZOUZ; CAFSI, 2016; COELHO; PINTO, 2011; GIOVANELLI et al., 2002) utilizam a equação de GAB, pois ela apresenta parâmetros que descrevem adequadamente a faixa de atividade de água de 0,1 a 0,9 o que a torna interessante para alimentos.

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3.2)$$

em que:

X_e = umidade de equilíbrio [kg/kg, base seca];

X_m = umidade da monocamada [kg/kg, base seca];

C e K = constantes do modelo.

3.7 CINÉTICA DE SECAGEM

A cinética de secagem relaciona as mudanças de umidade e de temperatura em função do tempo que ocorrem no produto durante a secagem, possibilitando conhecer a quantidade de umidade evaporada, tempo de secagem, consumo de energia, etc. As dimensões do produto interferem na transferência de calor e massa entre a superfície do corpo e o meio de secagem, que por sua vez, controla as alterações do conteúdo de umidade do produto (ROMERO-PEÑA, 1999).

A cinética completa de secagem apresenta um período de taxa constante e um período de taxa decrescente. O período correspondente à taxa constante representa a remoção de água livre contida na superfície do material. A temperatura na superfície do material permanece aproximadamente a da temperatura de bulbo úmido do ar. Os parâmetros externos de processo da secagem, como a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e pressão total exercem forte influência sobre a taxa de secagem neste período (CHEN; JOHNSON, 1969).

Quando o conteúdo de umidade presente na superfície do material tende a zero, inicia-se o período de taxa decrescente, e está associado à crescente resistência à transferência de massa e, em menor extensão, à transferência de calor. A água existente no interior do produto migra à superfície por difusão através do material e a taxa passa a ser governada pelo fluxo interno de líquido ou vapor. O ponto de início deste período é chamado de ponto crítico (CHEN; JOHNSON, 1969).

Teoricamente, a taxa decrescente pode ser dividida em duas etapas; a primeira corresponde à diminuição contínua das zonas úmidas na superfície. A segunda etapa começa quando a superfície já está totalmente seca e o plano de evaporação traslada-se para o interior do material. Um tempo consideravelmente alto é requerido para remover essa quantidade relativamente pequena de água residual (ROMERO-PEÑA, 1999). Nesse período o produto está a uma temperatura mais alta, e tende a sofrer deterioração irreversível.

Os alimentos, nem mesmo os de maior conteúdo de água como tomates, dificilmente apresentam um período de secagem constante pois a água presente está na forma de solução (água e açúcares) e com a evaporação de água essa solução se concentra, diminuindo assim a diferença de potencial de pressão de vapor para a transferência de massa.

3.7.1 Modelo físico para a cinética de secagem

Os modelos físico-matemáticos desenvolvidos para representar a cinética de secagem são geralmente baseados na transferência de massa, negligenciando a transferência de calor. O modelo mais utilizado para descrever a evaporação da água na secagem de um sólido considera como mecanismo principal a difusão baseada na segunda Lei de Fick. Esse modelo, portanto, só é aplicável na segunda etapa do regime decrescente de secagem.

A segunda Lei de Fick para um sistema esférico unidimensional e homogêneo é dada pela Equação 3.3 (CRANK, 1975).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C}{\partial r} \right) \right) \quad (3.3)$$

em que:

D = difusividade da água no meio

r = raio da esfera

t = tempo

C = concentração

A solução da Equação 3.3, para uma esfera rígida de raio R , difusividade D constante, e na ausência de qualquer resistência externa (isto é, a umidade na superfície é a umidade de equilíbrio, X_{eq} , com o ar de secagem), é a dada pela Equação 3.4.

$$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = 1 - \left\{ \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2 D t}{R^2} \right] \right\} \quad (3.4)$$

em que:

\bar{X} = concentração média de umidade, em base seca;

X_0 = concentração inicial de umidade, em base seca.

O comportamento da transferência de umidade na secagem de sólidos alimentícios normalmente não satisfaz as simplificações assumidas na solução da 2ª Lei de Fick: o sólido tem uma estrutura celular heterogênea e geometria e, portanto a transferência não é unidirecional, a difusão pode ocorrer sob vários mecanismos (na fase gasosa, e/ou líquida, por capilaridade em poros de várias dimensões), e variar com a concentração de umidade e

temperaturas. Além disso, a temperatura do alimento aumenta durante o processo e ocorre o encolhimento com a evaporação da água.

3.7.2 Modelos matemáticos da cinética de secagem

Muitos pesquisadores que investigaram a secagem de tomates, inteiros ou em fatias em leitos de camada delgada, usam simples expressões analíticas para ajustar às curvas de secagem. As equações mais usadas estão listadas na Tabela 3.2, e é preciso ter em mente que elas não estão baseadas em fundamentos físicos.

Tabela 3.2 – Modelos matemáticos da cinética de secagem

Modelo	Equação	Variáveis
Verna	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-k_1t)$	$t = \text{tempo, h}$ $k \text{ e } k_1 = \text{coeficientes de secagem, } h^{-1}$
Logarítmico	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \exp(-kt) + c$	$t = \text{tempo, h}$ $k = \text{coeficiente de secagem, } h^{-1}$ $c = \text{constante do modelo, adimensional}$
Midille et al.	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \exp(-kt^n) + bt$	$t = \text{tempo, h}$ $k = \text{coeficiente de secagem, } h^{-1}$ $b = \text{constante do modelo, adimensional}$
Page	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-kt^n)$	$t = \text{tempo, h}$ $k = \text{coeficiente de secagem, } h^{-1}$ $n = \text{constante do modelo, adimensional}$
Henderson e Pabis	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \exp(-kt)$	$t = \text{tempo, h}$ $k = \text{coeficiente de secagem, } h^{-1}$ $a = \text{constante do modelo, adimensional}$
Dois termos	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	$t = \text{tempo, h}$ $k_0, k_1 = \text{coeficientes de secagem, } h^{-1}$ $a, b = \text{constantes do modelo, adimensionais}$
Newton	$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-kt)$	$t = \text{tempo, h}$ $k = \text{coeficiente de secagem, } h^{-1}$

Fonte: Adaptado de REIS et al. (2011).

Dentre as equações listadas na Tabela 3.2 as equações contendo dois parâmetros de ajuste, como o de Page e Henderson e Pabis tem tido melhor sucesso ao ajuste dos pontos experimentais (ANDREOLA, 2013; GAWARE; SUTAR; THORAT, 2010; PANGAVHANE; SAWHNEY; SARSAVADIA, 1999).

Santos (2008) obteve excelente ajuste de dados experimentais de secagem em camada delgada de tomates inteiros descascados e de tomates em metades pela equação de Page. O mesmo bom ajuste foi obtido por Romero-Peña (1999) e Sanjinez-Argandoña et al. (2011) na secagem de fatias de tomates.

Azoubel (1999) usou a equação de Page para ajustar dados de secagem em camada delgada de tomate cereja com a pele *in natura* e perfurada tratados osmoticamente.

A equação de Henderson e Pabis, por sua vez obteve mais sucesso aos ajustes aos dados experimentais de secagem de fatias de tomate realizados por Coelho e Pinto (2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATÉRIA-PRIMA

Foram utilizados tomates da espécie *Sweet Grape* (*Solanum Lycopersicum* var. *cerasifrome*) adquiridos no mesmo dia da colheita junto ao CEASA - Campinas (safra de 2016/2017) e mantidos sob refrigeração.

Os tomates foram separados de acordo com seu estado de maturação e tamanho, selecionando-se frutos de coloração avermelhada uniforme e textura firme. Tomates que apresentaram algum defeito ou manchas foram descartados.

4.2 METODOLOGIA

As etapas deste trabalho foram divididas em caracterização da matéria-prima, pré-tratamento abrasivo, estudos da cinética de secagem e caracterização do tomate seco.

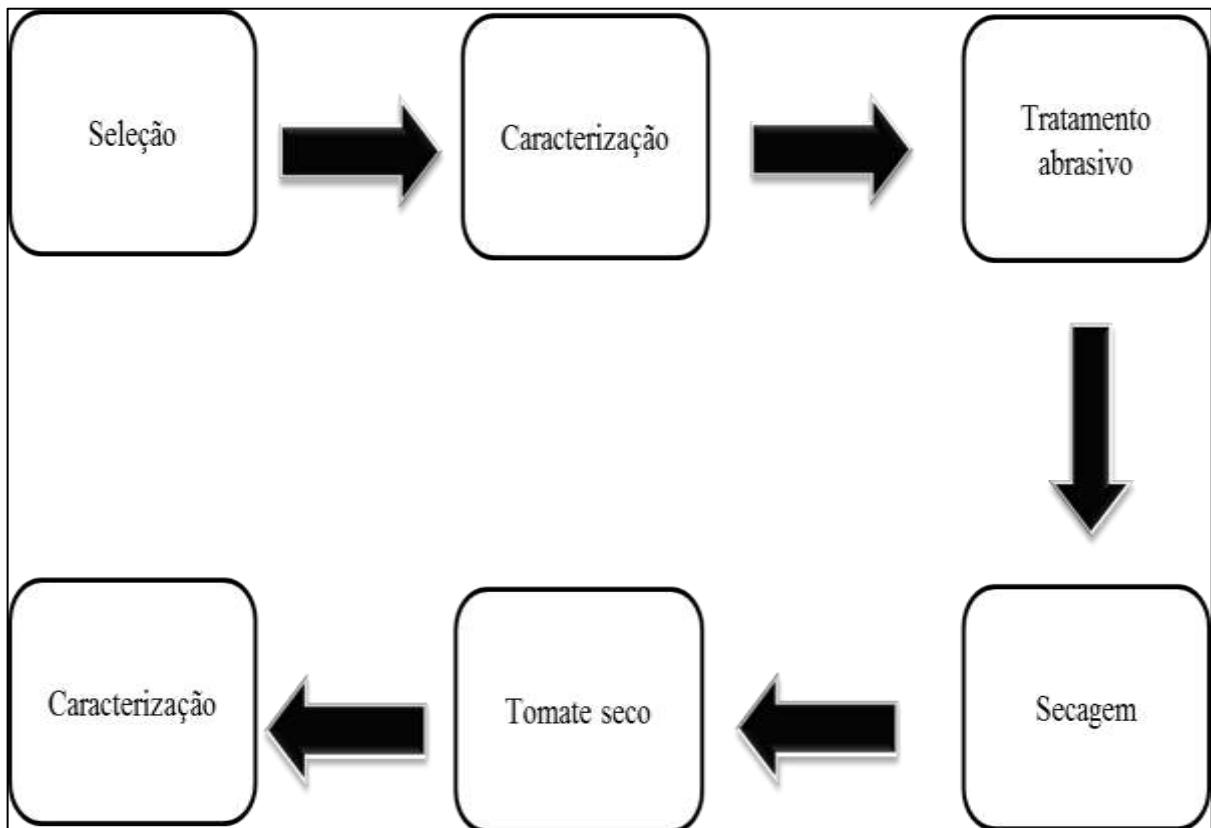


Figura 4.1 – Fluxograma dos ensaios de minitomates *Sweet Grape*.
Fonte: Do autor.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

4.3.1 Dimensão axial, radial, área superficial e massa.

Para a quantificação da geometria dos minitomates, eles foram caracterizados como esferoide prolato, conforme a Figura 4.2. Um esferoide prolato é formado rotacionando uma elipse em torno de seu eixo maior, também chamado de eixo polar.

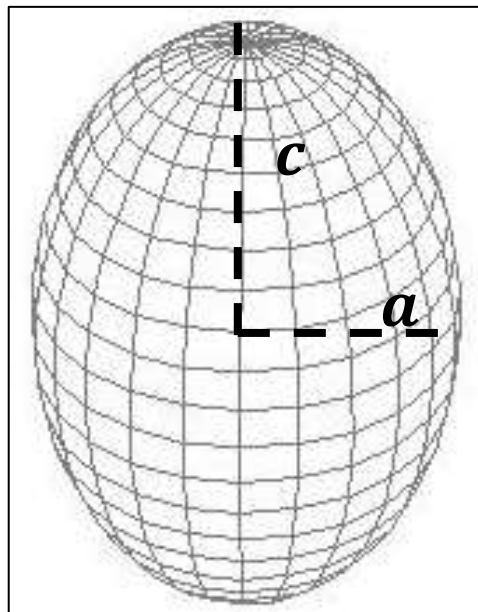


Figura 4.2 – Esferoide Prolato.
Fonte: Do autor.

A determinação do comprimento, dimensão axial ($2c$ na Figura 4.2), e o diâmetro, dimensão radial ($2a$ na Figura 4.2), dos minitomates *Sweet Grape* foi realizada com a utilização de um paquímetro analógico da marca *Mitutoyo*, medindo-se, individualmente, o comprimento (do ápice à base), e o maior diâmetro de cada amostra.

Para a determinação da massa dos frutos *in natura*, os tomates inteiros foram lavados e enxugados e em seguida pesados em balança analítica da marca *Radwag*, modelo AS220/C/2.

A área superficial dos minitomates foi determinada utilizando a fórmula derivada de um esferoide prolato, consideração também utilizada por Melo et al. (2007) para sementes de mamona, que tem formato semelhante ao minitomate, e calculada por meio da Equação 4.1:

$$A_s = 2\pi a^2 + 2\pi \frac{ac}{e} \operatorname{sen}^{-1} e \quad (4.1)$$

em que:

$$a = \frac{\text{dimensão radial}}{2} \quad (4.2)$$

$$c = \frac{\text{dimensão axial}}{2} \quad (4.3)$$

e e é a excentricidade da elipse

$$e = \left[1 - \left(\frac{a}{c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

O volume do esferoide é obtido por meio da Equação 4.5

$$V = \frac{4}{3} a^2 c \quad (4.5)$$

4.3.2 Determinação do conteúdo de umidade

A determinação do teor de umidade seguiu a metodologia sugerida pela AOAC (2006). Os minitomates *Sweet Grape* foram triturados em Ultra Turrax da *Ika* modelo T18 formando um purê homogêneo e alíquotas entre 5 a 10 g foram colocados em pesa-filtro, previamente tratado e tarado, conforme pode ser visto na Figura 4.3(a). O pesa-filtro recebeu a tampa e o conjunto foi pesado em balança analítica da marca *Radwag*, modelo AS220/C/2. Logo em seguida os pesa-filtros, sem as tampas, contendo a amostra, foram levados à estufa com circulação de ar da marca *Tecnal*, modelo TE-394/2, onde permaneciam por 16 horas a 100° C. As tampas eram recolocadas e o conjunto resfriado em dessecador, contendo sílica gel, até atingir a temperatura ambiente e em seguida pesado na mesma balança analítica. A Figura 4.3(b) apresenta uma fotografia do produto seco. As determinações foram realizadas em quadruplicata. A fração de umidade, ω_{H_2O} , em base úmida é dada pela Equação 4.6.

$$\omega_{H_2O} = \frac{m_0 - m}{m_0} \quad (4.6)$$

em que:

m_0 = massa inicial da amostra

m = massa da matéria seca

Alternativamente pode-se calcular o conteúdo de água em relação à matéria seca, X_{H_2O} , pela Equação 4.7.

$$X_{H_2O} = \frac{m_0 - m}{m} \quad (4.7)$$

Como complemento, tem-se que o conteúdo de sólidos totais em base úmida é obtido pela Equação 4.8:

$$\omega_{ST} = 1 - \omega_{H_2O} \quad (4.8)$$

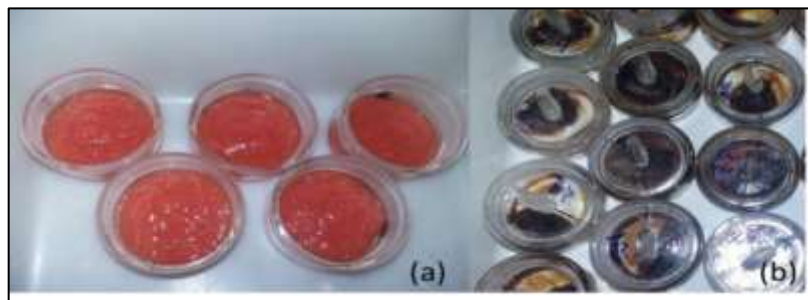


Figura 4.3 – Amostra (a) antes da secagem (b) após a secagem.

Fonte: Do autor.

4.3.3 Determinação de Vitamina C (Ácido L-ascórbico)

O conteúdo de Vitamina C foi obtido por meio do método 365/IV - Determinação de Vitamina C pelo método de Tillman (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Preparação das soluções:

- Solução ácida – 15 g de ácido metafosfórico (Acrôs) são dissolvidos em 40 mL de ácido acético padrão analítico e adiciona-se 450 mL de água, permanecendo sob agitação constante por aproximadamente 30 minutos, e em seguida a solução é filtrada;
- Solução-padrão de Vitamina C – pesa-se em balança analítica 100 mg de Ácido Ascórbico (Sigma-Aldrich), previamente dessecada, que são dissolvidas em 100 mL

de solução ácida, em balão volumétrico. Essa solução é diluída 10 vezes com a mesma solução ácida;

- Solução de Tillman – dissolve-se 42 mg de bicarbonato de sódio (Synth) em 50 mL de água e adiciona-se 50 mg de 2,6-diclorofenolindofenol (Sigma-Aldrich), sob agitação constante até a completa dissolução do corante. Posteriormente a solução é diluída com até 200 mL de água, em balão volumétrico, e filtrada;
- Padronização da solução de Tillman – em um frasco Erlenmeyer de 250 mL, são pipetados 4 mL da solução diluída do Ácido Ascórbico e 6 mL da solução ácida. Adiciona-se 50 mL de água, e imediatamente realiza-se a titulação com solução de Tillman até obter uma coloração ligeiramente rosada e estável por aproximadamente 15 segundos. Em seguida substitui-se a solução de Ácido Ascórbico pela solução ácida e o valor encontrado da titulação é descontado do valor obtido da titulação da solução de Ácido Ascórbico e solução ácida. O calculo do fator da solução de Tillman (F) é realizado conforme a Equação 4.9.

$$F = \frac{\text{mg de Ácido Ascórbico usado na titulação}}{\Delta \text{mL da solução de Tillman gastos}} \quad (4.9)$$

Cerca de 10 g de minitomate *Sweet Grape* são pesados em balança analítica, e então triturados em Ultra Turrax com 10 mL de solução ácida. Transferiu-se uma alíquota de 10 mL dessa solução a um Erlenmeyer de 250 mL e adiciona 50 mL de água destilada. A solução é titulada com a solução de Tillman, sob agitação constante, até a solução atingir coloração rosada estável por aproximadamente 15 segundos. A quantidade de Ácido Ascórbico é obtido por meio da Equação 4.10.

$$\text{Teor de Ácido Ascórbico} = \frac{VxFx100}{A} \left[\frac{\text{mg de Vitamina C}}{100 \text{ g de tomate}} \right] \quad (4.10)$$

em que:

V = volume (mL) da solução de Tillman gasto na titulação;

F = fator de correção de Tillman;

A = massa (g) da amostra utilizada.

4.3.4 Isotermas de sorção de umidade

O levantamento da isoterma de sorção dos minitomates, a 25 °C, foi realizado por meio do método gravimétrico, determinando a umidade de equilíbrio após contato em ambiente a diferentes umidades relativas do ar obtido, utilizando soluções saturadas de sais (padrão analítico) em água destilada, com uma faixa de atividade de água (a_w) de 0,11 a 0,90, conforme ilustra a Tabela 4.1, descrita por Spiess e Wolf (1983).

Tabela 4.1 – Atividades de água das soluções saturadas de sais a 25 °C

Sal	a_w a 25°C
Cloreto de lítio	0,113
Cloreto de magnésio	0,328
Carbonato de potássio	0,432
Nitrato de magnésio	0,529
Nitrato de sódio	0,645
Cloreto de sódio	0,753
Sulfato de amônia	0,803
Cloreto de potássio	0,843
Cloreto de bário	0,903

Fonte: Adaptado de SPIESS; WOLF (1983).

Os minitomates foram mergulhados por 15 minutos em solução aquosa de metabissulfito de sódio (3%) para evitar a proliferação de fungos e em seguida foram colocados em recipientes contendo papel absorvente para remoção do excesso da solução de metabissulfito.

Os minitomates foram selecionados e cortados ao meio, tiveram suas sementes retiradas. Em seguida as amostras foram cortadas novamente em fatias menores e cerca de 3 g foram colocadas em cada pesa-filtro. O pesa-filtro inserido em uma base de plástico era colocado em um recipiente com fechamento hermético contendo aproximadamente 25 mL da respectiva solução salina, conforme pode ser visto na Figura 4.4.



Figura 4.4 – Amostras em pesa-filtro colocados em recipiente sobre solução salina.

Fonte: Do autor.

O ensaio compreendeu vinte e sete amostras mantidas a 25 °C em estufa incubadora da marca Eletrolab modelo EI131. Os pesa-filtros, com tampa, eram pesados em intervalos de 24 horas até que o equilíbrio fosse atingido. Após atingir o equilíbrio, a umidade de cada amostra foi determinada utilizando o método em estufa a 105 °C por 24 horas. Os dados obtidos foram usados para traçar a isoterma (X_{eq} em função de a_w) a 25 °C.

4.4 EQUIPAMENTOS

4.4.1 Sistema abrasivo

O equipamento mostrado na Figura 4.5 é responsável pelo pré-tratamento abrasivo conferido à pele dos minitomates *Sweet Grape*. Ele é composto por três partes:

- Estrutura – Fabricada em cantoneiras ‘L’ de aço com dimensões de ¼” x ¼”, no formato geométrico de um paralelepípedo reto de 40 cm de largura, 80 cm de comprimento e 35 cm de altura. Ele sustenta dois pares de rolamentos com mancais, dois eixos maciços de PVC com 10 cm de diâmetro cada e uma correia da marca *Goodyear* modelo 0875MC;
- Elétrica – Motor elétrico, 110 v, com potência de 1 cv de corrente contínua da marca *Asten*, controlador de velocidade com inversor de corrente contínua para corrente alternada da marca *Asten* modelo MAC 2;

- Tambor abrasivo – Câmara cilíndrica de 20 cm de diâmetro e 27,5 cm de comprimento, fabricada em PVC. As paredes internas recebem uma folha de lixa, que fica naturalmente aderida à superfície do cilindro sem o uso de fixador. A folha de lixa, assim como os minitomates, são mantidos no cilindro durante a rotação por meio de dois anéis de madeira (13,4 cm de diâmetro interno, 19,4 cm de diâmetro externo e 1,5 cm de espessura), prensados um em cada extremidade do tambor.

O desenho do tambor permite uma fácil substituição das folhas de lixa assim como a alimentação dos minitomates, e também, a visualização do desempenho do sistema.



Figura 4.5 – Equipamento abrasivo (a) lixa, (b) tambor abrasivo revestido (c) equipamento completo.

Fonte: Do autor.

4.4.2 Secador vertical de bandeja

O equipamento utilizado para o estudo da secagem consiste em um secador de leito fixo e seus componentes, conforme a Figura 4.6. O cesto do secador é constituído de malha de aço inoxidável (abertura de 1 mm) e possui 14,0 cm de diâmetro interno e altura útil de 5,0 cm.

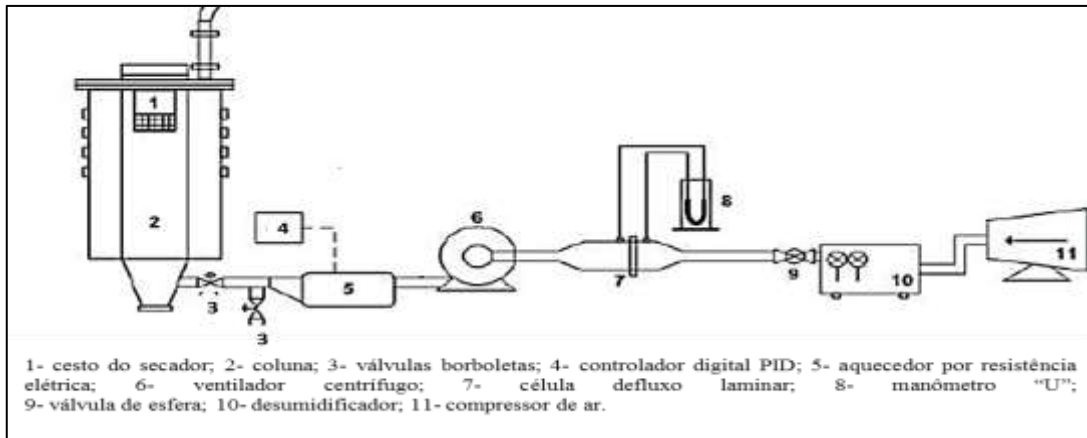


Figura 4.6 – Representação do sistema de secagem.

Fonte: Adaptado de ANDREOLA (2013).

O secador está instalado no Laboratório de Fluidodinâmica e Secagem na Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Ele é constituído por uma coluna cilíndrica metálica, com 14 cm de diâmetro interno e 50 cm de altura. O ar de secagem que alimenta o secador é fornecido por um ventilador centrífugo. A vazão de ar é regulada por uma válvula de esfera e medida por uma célula de fluxo laminar, conectada a um manômetro diferencial de tubo em U. O ar é aquecido por um aquecedor com resistência elétrica blindada e sua temperatura de entrada é obtida por um termopar e controlada por um sistema digital tipo PID. A instalação inclui ainda, um desumidificador, mas que não está em estado operacional e não foi usado nos ensaios.

4.5 ENSAIOS

4.5.1 Pré-tratamento abrasivo

Os minitomates selecionados foram sujeitos a um pré-tratamento físico abrasivo, semelhante ao aplicado por Adiletta et al. (2015; 2016) em uvas italianas. Os minitomates após serem lavados com solução de metabissulfito de sódio (3%) e secos em papel absorvente são introduzidos no tambor abrasivo (Figura 4.7). A capacidade do tambor era de cerca de 8 minitomates por batelada. A velocidade de rotação e o tempo de tratamento eram parâmetros pré-definidos. A temperatura do meio ambiente é controlada por um aparelho de ar condicionado da marca *Carrier* R14A/Ce.



Figura 4.7 – Operação de lixamento.
Fonte: Do autor.

4.5.2 Descascamento

O descascamento dos minitomates foi realizado após seleção e lavagem em solução de matabissulfito. O fruto foi mergulhado em água fervendo, a aproximadamente 100 °C, durante 60 segundos, em seguida, mergulhados em água fria, a 5 °C, durante 60 segundos. Provocando um choque térmico, e assim, possibilitando descamação mais fácil.

A pele do minitomate foi removida manualmente com um auxílio de uma faca fina de lâmina em aço inoxidável.

4.5.3 Secagem

A secagem de minitomates *Sweet Grape* inteiros tratados e não-tratados foram conduzidas no secador descrito em 4.4.2 utilizando temperaturas do ar de entrada de 55, 70 e 85 °C , temperaturas semelhantes foram utilizadas por Khama et al. (2016), Romero-Peña e Kieckbusch (2003) e Camargo (2000). A velocidade do ar de secagem no interior do tubo era 0,70 m/s. O fluxo de ar é ascendente incidindo perpendicularmente e transversalmente sobre a bandeja contendo os minitomates. Uma única bandeja foi utilizada contendo de 3 a 5 minitomates, como mostra a Figura 4.8, caracterizando assim uma secagem em camada delgada.

Em ensaios visando o levantamento de dados para a modelagem da secagem, usou-se um minitomate apenas, e um estrangulamento de área da seção do tubo abaixo da bandeja permitirá aumentar a velocidade do ar para 2,8 m/s.



Figura 4.8 – Operação de secagem.
Fonte: Do autor.

A quantidade de massa perdida das amostras durante a secagem foi medida pela pesagem em balança semi-analítica da marca *Gehaka* modelo BK400, em intervalos de tempos pré-definidos, conforme as condições de operação. O tempo entre o início do processo de secagem e a primeira pesagem foi de quinze minutos, repetidos durante toda a primeira hora. Para a segunda hora o intervalo entre as pesagens foi aumentado para trinta minutos e da terceira hora em diante o intervalo de medições passou a ser de sessenta minutos conforme sugerido por Purkayastha et al. (2013). O término da secagem era assumido quando as pesagens das amostras não apresentaram mais alterações significativas. Nesta situação será realizada a determinação de umidade de acordo com a metodologia descrita anteriormente no Item 4.3.1 e o conteúdo de Vitamina C descrito no Item 4.3.2

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO/QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

Os valores de caracterização físico/química de tomates *in natura* e de outros produtos agrícolas encontrados na literatura, e os resultados experimentais obtidos nessa pesquisa podem apresentar divergências, pois a composição química e o desenvolvimento do fruto sofrem interferências devidas às diferenças climáticas, sazonais, técnicas de plantio, grau de maturação do fruto, regionalização, entre outras (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Para a realização do presente trabalho foram selecionados minitomates de coloração avermelhada e que não apresentaram defeitos visíveis.

5.1.1 Dimensões

Os minitomates *in natura* apresentaram formato oblongo, próximo ao de um esferoide prolato, característica também observada por Junqueira, Peetz e Onoda (2011). Ao longo de toda a pesquisa (mais de 200 minitomates) a dimensão axial média aferida foi $2,69 \pm 0,13$ cm e a dimensão radial média foi $2,18 \pm 0,06$ cm. Valores semelhantes à dimensão radial foram encontrados por Aguiar et al. (2012), apresentando valor médio de $2,36 \pm 0,17$ cm.

Neste trabalho, também foi calculada a área superficial de cada fruto, de acordo com a Equação 4.1, visto que a mesma é um parâmetro que afeta o processo de secagem. O valor médio da área superficial encontrado foi $16,14 \pm 0,95$ cm².

O peso médio dos frutos foi de $8,05 \pm 1,59$ g, peso este 20% menor do que o relatado por Junqueira, Peetz e Onoda (2011). O peso médio encontrado por esses autores se situa na faixa entre 10 e 20 g/fruto.

5.1.2 Conteúdo de umidade (ω_{H_2O})

Para consumo *in natura* frutos com maior teor de umidade apresentam-se mais suculentos, sendo mais apreciados pelo consumidor. Na agroindústria, entretanto, busca-se frutos com maior teor de matéria seca, pois ela eleva o rendimento (FAGUNDES et al., 2005). Ao longo da pesquisa o teor de umidade encontrado em minitomates *Sweet Grape in natura* foi de $93,92\% \pm 0,24$. Sousa et al. (2011) avaliaram a umidade de tomates de diferentes espécies, encontrando teores de 90,8% para tomate Cereja, 92,5% para tomate Santa Cruz e 94,4% para tomate *Yoshimatsu*. Segundo Alvarenga (2004) o tomate maduro *in natura*

apresenta faixa de umidade entre 93 a 95%, sendo uma das hortaliças com o maior teor de água em sua composição.

5.1.3 Teor de Vitamina C

A Vitamina C é um dos mais importantes antioxidantes fornecido por frutas e legumes, apresentando em média de 10 a 100 mg de Vitamina C/100g (B.U.) (LINDER; SCHAFTINGEN, 2007). Os frutos de tomate *in natura* apresentam, em média, 25 mg de Vitamina C/100 g de tomate (ALVARENGA, 2004).

Ao longo da pesquisa os minitomates *Sweet Grape* apresentaram conteúdo médio de $30,18 \pm 1,2$ mg Vitamina C/100g de minitomate *in natura*, teores estes superiores aos encontrados por outros pesquisadores. Zapata et al. (2007) estudaram a quantidade de ácido ascórbico presente em tomates da espécie Alma ao longo de seu amadurecimento, registrando valores de 7,073 mg Vitamina C/100g de tomate quando ainda verde, e 18,717 mg Vitamina C/100g de tomate em tomates maduros. Munhoz et al. (2011) encontraram $14,4 \pm 3,88$ mg Vitamina C/100g tomate para tomates *in natura* da espécie Carmem. Em termos de massa seca, a média da concentração de Vitamina C na presente pesquisa, corresponde a 4,9 mg Vitamina C/g massa seca.

5.1.4 Isotermas de Sorção

As isotermas de sorção relacionam a atividade de água com o conteúdo de umidade no alimento. Elas são obtidas experimentalmente, sendo necessária sua determinação para cada produto (BARONI, 2004). A isoterma obtida para tomates *Sweet Grape* apresenta formato sigmoidal típico, como pode ser visto na Figura 5.1. O modelo de GAB se ajustou bem aos dados experimentais e a curva obtida também está traçada na Figura 5.1. Os parâmetros de GAB obtidos no ajuste por meio de regressão não linear, através do *Software Microsoft Excel 2010*, estão apresentados na Tabela 5.1, assim como o parâmetro de ajuste. O ponto que se encontra fora da curva é referente a solução salina de nitrato de sódio. Esse ponto não foi considerado no ajuste da curva, pois repetições realizadas indicam que houve a contaminação do sal.

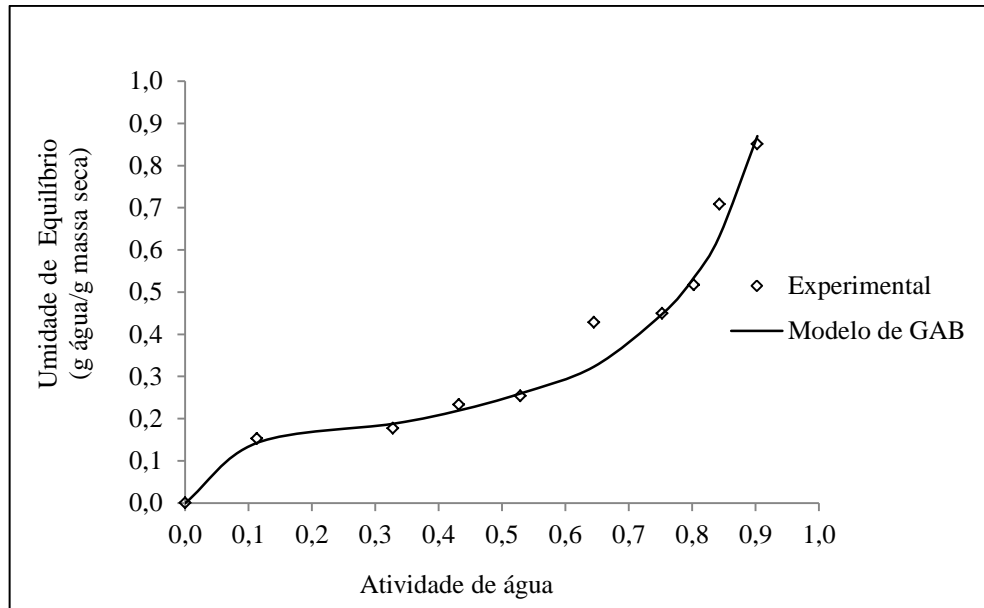


Figura 5.1 – Isoterma de equilíbrio do tomate *Sweet Grape*, a 25 °C.

Fonte: Do autor.

Tabela 5.1 – Constantes do modelo de GAB para tomates *Sweet Grape*, a 25 °C

Modelo	X _m	C	K	R ²
GAB	0,131	297,719	0,941	0,9890

X_m – umidade da monocamada em g água/g massa seca;

C e K – constantes de sorção.

Fonte: Do autor.

Não foram encontrados dados publicados de parâmetros de sorção da umidade de equilíbrio em minitomates *Sweet Grape*. Por outro lado, com tomates de variedades comerciais os valores encontrados na literatura são contraditórios. Com relação à monocamada (X_m), no equilíbrio a 25 °C, os valores variam desde 0,076 g/g massa seca (GIOVANELLI et al., 2002) à 0,205 g/g massa seca (AKANBI; ADEYEMI; OJO, 2006). Romero-Peña e Kieckbusch (2003) acharam 0,0897 g/g massa seca. Recentemente, Belghith, Azzouz e Cafsi (2016) avaliaram X_m de tomates nas temperaturas de (45 – 65) °C. Uma extrapolação até 25 °C aponta um valor de 0,4 g/g massa seca.

O valor do conteúdo de umidade na monocamada obtido no presente estudo é intermediário àqueles obtidos com outros tomates. Ele indica que o tomate desidratado com teor de umidade abaixo de 0,13 g H₂O/g sólido seco terá estabilidade química e microbiológica para ser armazenado a 25 °C.

Nos ensaios de secagem (ver Item 5.3) procurou-se atingir uma umidade inferior ao da X_m a 25 °C.

5.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PRÉ-TRATAMENTO ABRASIVO

O pré-tratamento abrasivo visa diminuir o tempo gasto na secagem dos minitomates *Sweet Grape*, e, ainda, minimizar perdas de características organolépticas do produto final.

Com o objetivo de otimizar o processo de pré-tratamento, foram realizados ensaios avaliando diferentes combinações de velocidade de rotação, tempo de rotação e gramatura da folha de lixa. A seleção da melhor condição foi feita considerando a situação que mantinha a integridade do mesocarpo dos minitomates *Sweet Grape* e que apresentavam o comportamento mais favorável a perda de água na secagem.

5.2.1 Seleção da grana da folha de lixa

Foram avaliadas, preliminarmente, lixas com granas na faixa entre 80 e 320. Nestes ensaios, a velocidade de rotação era mantida em 50 rpm e o tempo de tratamento variava de acordo com a gramatura da lixa. As lixas de grana inferiores a 180 foram muito agressivas ao produto, escoriando parte da pele e atingindo a polpa dos minitomates, deixando lesões visíveis na superfície. As lixas de grana superiores a 220 não promoveram efeito visível sobre a pele dos minitomates. Portanto foram pré-selecionadas as lixas com grana de 180 e 220 para os ensaios iniciais.

A confirmação prática do efeito do tratamento abrasivo sobre a pele dos minitomates *Sweet Grape* foi realizada secando-o por 8 horas, e comparando a influência do pré-tratamento abrasivo na taxa de perda de água durante a secagem com ar a 60 °C e velocidade de 0,7 m/s. Na Figura 5.2 estão traçadas as curvas correspondentes a quatro condições de lixamento obtidas com lixa de grana 180 e 220, e um tempo de processamento de 20 e 30 minutos cada.

As diferenças nas curvas da Figura 5.2 permitem distinguir o efeito sobre a taxa de evaporação de água entre os minitomates expostos aos distintos tipos de lixa durante o pré-tratamento abrasivo. A lixa 180 apresentou melhores resultados tanto para um tempo de pré-tratamento igual a 20 minutos quanto para 30 minutos. O resultado obtido era esperado, pois a lixa 180 é mais áspera do que a 220, e desta forma o efeito sobre o epicarpo dos minitomates seria maior.

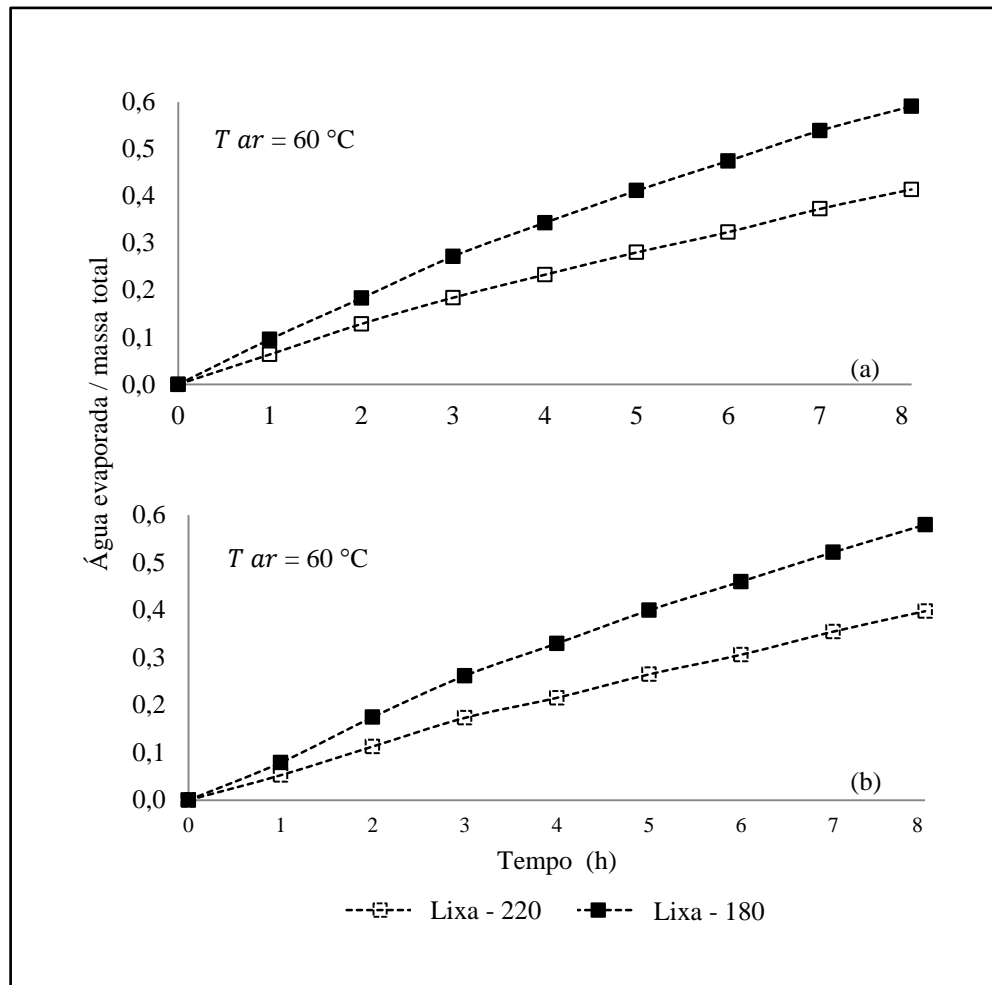


Figura 5.2 – Curvas da cinética da evaporação de água durante a secagem de minitomates pré- tratados com lixa 180 e 220: (a) 30 minutos de tratamento; (b) 20 minutos. Fonte: Do autor.

Considerando que não foi possível observar diferença macroscópica visível na superfície dos minitomates tratados com as duas lixas, optou-se por utilizar a lixa de grana 180 nos ensaios desta pesquisa. Os ensaios definitivos, portanto, serão realizados com a folha de lixa *Norton* modelo A-257 (225 mm x 275 mm) fabricada pela *Saint-Gobain* do Brasil.

5.2.2 Determinação da velocidade de rotação do tambor abrasivo

Após determinar o efeito da grana da lixa sobre os minitomates e definir que a lixa utilizada seria a 180, o próximo parâmetro definido foi a velocidade de rotação. Foram escolhidas velocidades de rotações, entre a faixa de 6 rpm a 60 rpm. Os resultados obtidos na secagem dos minitomates assim tratados estão apresentados na Figura 5.3.

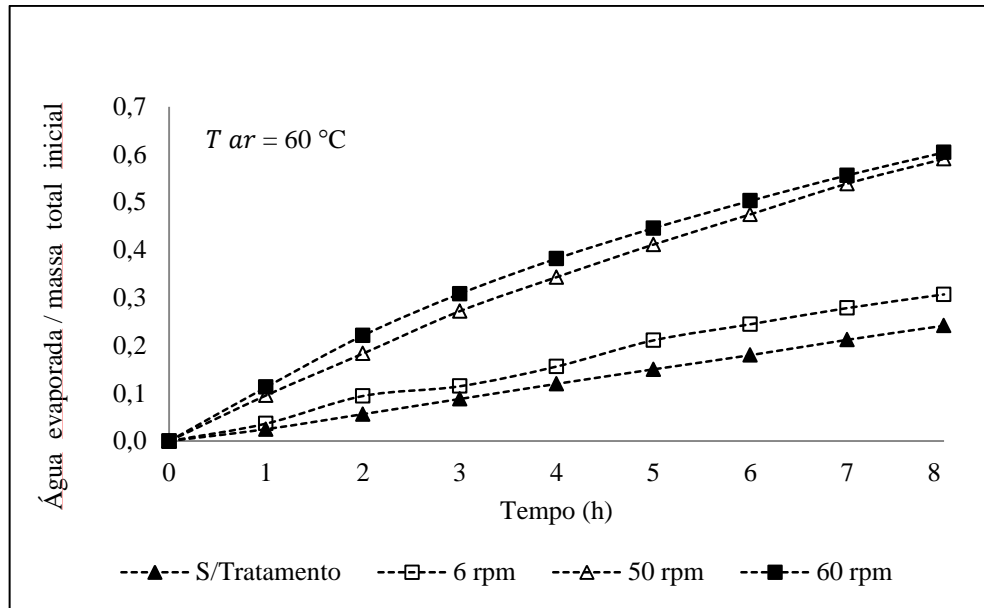


Figura 5.3 – Curvas de cinética de evaporação de água de minitomates *Sweet Grape* pré-tratados por 30 minutos com diferentes velocidades de rotação durante pré-tratamento abrasivo.

Fonte: Do autor.

O pré-tratamento foi realizado por um tempo de 30 minutos em todas as diferentes velocidades de rotação. Ao efetuar o pré-tratamento abrasivo com velocidade de rotação igual 6 rpm, o efeito físico na pele dos minitomates foi pouco perceptível, fato confirmado pela secagem, pois a curva de perda de umidade mostrou um comportamento muito parecido ao da curva de secagem dos minitomates não tratados (Figura 5.3). Durante a secagem, os minitomates expostos a rotação de 60 rpm apresentaram perdas de água maiores do que os minitomates expostos a rotação de 50 rpm, conforme indica a Figura 5.3. Observou-se, no entanto, pequena fissura da polpa na rotação de 60 rpm, pois alguns minitomates fissuravam durante o pré-tratamento. Na velocidade de rotação de 50 rpm os minitomates não sofreram rachaduras. Nessa rotação, o comportamento dinâmico dos minitomates era bem ordenado, sendo eles arrastados pelas paredes internas até meia altura do tambor, e então rolavam por gravidade para a posição mais baixa, iniciando novamente o ciclo. Em vista disso a rotação de 50 rpm foi escolhida para a velocidade do tambor abrasivo no pré-tratamento.

5.2.3 Determinação do tempo do pré-tratamento

O último fator ainda a ser determinado foi o efeito de diferentes tempos de pré-tratamento. Foram escolhidos os tempos de 15, 30, 45 e 60 minutos, utilizando lixa 180 e velocidade de rotação de 50 rpm. A Figura 5.4 mostra a imagem ampliada da epiderme dos

minitomates de acordo com o tempo do pré-tratamento, obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando o microscópio *Hitachi* modelo TM-3000.

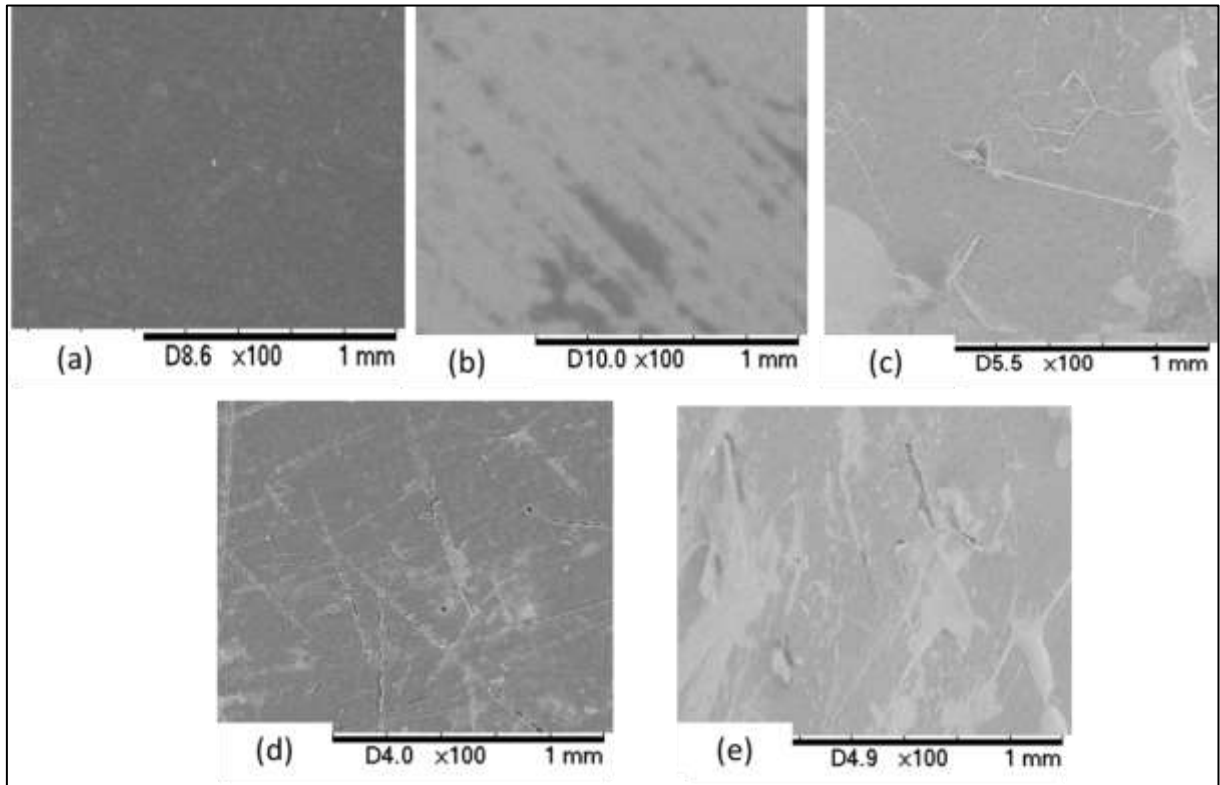


Figura 5.4 – Microscopia (MEV) da pele dos minitomates *Sweet Grape* (a) sem tratamento (b) tratamento por 15 minutos (c) 30 minutos (d) 45 minutos (e) 60 minutos.

Fonte: Do autor.

As micrografias na Figura 5.4 permitem concluir que o efeito do pré-tratamento durante o tempo de 15 minutos sobre a superfície da pele é quase imperceptível. A medida que o tempo de pré-tratamento aumenta, o efeito esfoliador sobre a pele dos minitomates é crescente. Quando exposto ao tempo de 60 minutos de pré-tratamento os minitomates *Sweet Grape* apresentaram danos visualmente perceptíveis à pele e à polpa, tornando esse tempo inaceitável.

Para escolher entre tempo de pré-tratamento de 30 minutos ou de 45 minutos, ensaios com os dois pré-tratamentos foram novamente realizados e os minitomates foram desidratados à temperatura de 70 °C durante 8 horas e o comportamento de secagem foi comparado com a variação da perda de umidade de minitomates secos sem pré-tratamento. As curvas obtidas estão traçadas na Figura 5.5.

Observando as curvas da Figura 5.5 verificou-se que o comportamento de secagem foi similar tanto para o tempo de pré-processamento de 30 minutos quanto para 45 minutos de

pré-tratamento, sendo, então, escolhido o tempo de 30 minutos como base para os futuros ensaios.

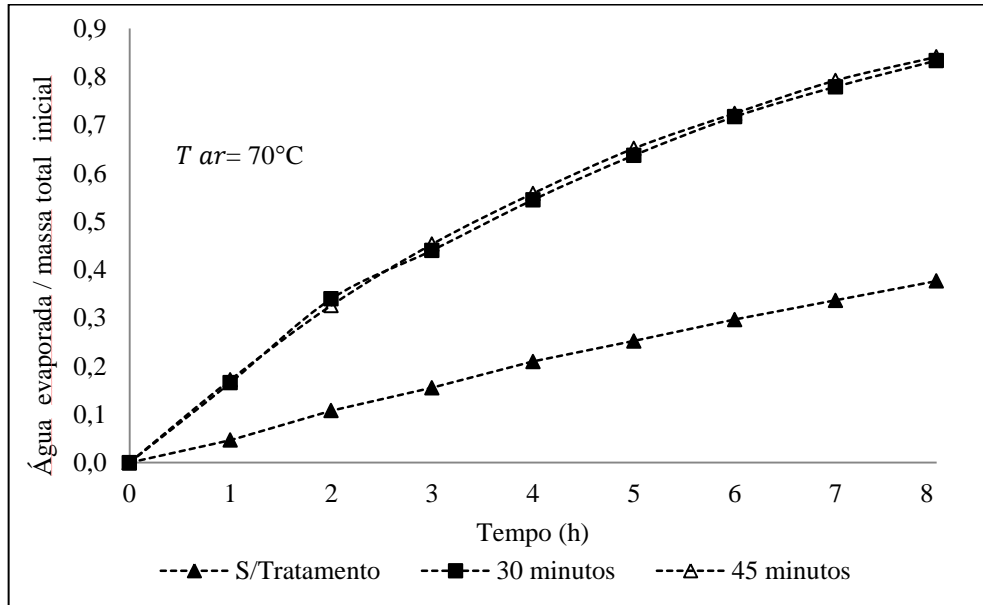


Figura 5.5 – Efeito do tempo de pré-tratamento abrasivo na evaporação da água de minitomates *Sweet Grape*.

Fonte: Do autor.

5.3 SECAGEM DE MINITOMATES

A secagem convectiva a temperaturas de 55, 70 e 80 °C com velocidade de ar de 0,7 m/s (que corresponde a velocidade máxima do ar conforme a instalação original do secador) foi realizada para avaliar o comportamento da cinética de secagem de minitomates, e posterior comparação do efeito do tratamento abrasivo em relação aos minitomates sem tratamento, com pele intacta e aos minitomates sem pele.

A secagem foi inicialmente realizada na condição de “camada delgada”, isto é, o cesto continha uma camada de minitomates (cerca de cinco frutos) para poder assumir condições constantes do ar de secagem.

Em todas as secagens o processo foi considerado finalizado quando as amostras secas não apresentaram diferenças significativas entre duas pesagens seguidas. O Apêndice A lista os valores de pesagens sucessivas e se pode observar uma insignificante, mas persistente dessecagem de umidade e que o equilíbrio termodinâmico não foi atingido. Para fins de modelagem da secagem, o conteúdo final de umidade foi considerado como um “equilíbrio prático”. Foram construídas curvas de secagem para todas as condições ensaiadas, locando em

gráfico o adimensional de umidade em função do tempo de secagem. O adimensional de umidade (X_R) foi calculado pela Equação 5.1.

$$X_R = \frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} \quad (5.1)$$

em que:

\bar{X} = Teor médio de umidade remanescente no instante t , em g água / g massa seca;

X_0 = Umidade inicial, em g água / g massa seca;

X_e = Umidade em equilíbrio (que corresponde a umidade final no determinado ensaio), em g água / g massa seca.

Posteriormente (ver Secção 5.3.4) a bandeja do secador foi adaptada para receber apenas um minitomate.

5.3.1 Secagem com ar a 70 °C de minitomate com diferentes tratamentos da pele

Foi realizado o estudo da cinética de secagem em camada delgada de minitomates *Sweet Grape* à temperatura de 70 °C e velocidade do ar de secagem de 0,7 m/s. Foram utilizadas três diferentes condições da epiderme: minitomates com pele, minitomates expostos ao pré-tratamento abrasivo e minitomates descascados (sem pele). O tratamento foi realizado por 30 minutos na velocidade de 50 rpm e com lixa de grana 180. O adimensional de umidade foi calculado pela Equação 5.1, sendo o valor de \bar{X} obtido por um balanço de massa, assumindo que a diferença de peso entre duas medidas corresponde à água evaporada. Os valores encontrados estão lançados em tabelas no Apêndice A. Os resultados para os três tratamentos estão apresentados na Figura 5.6.

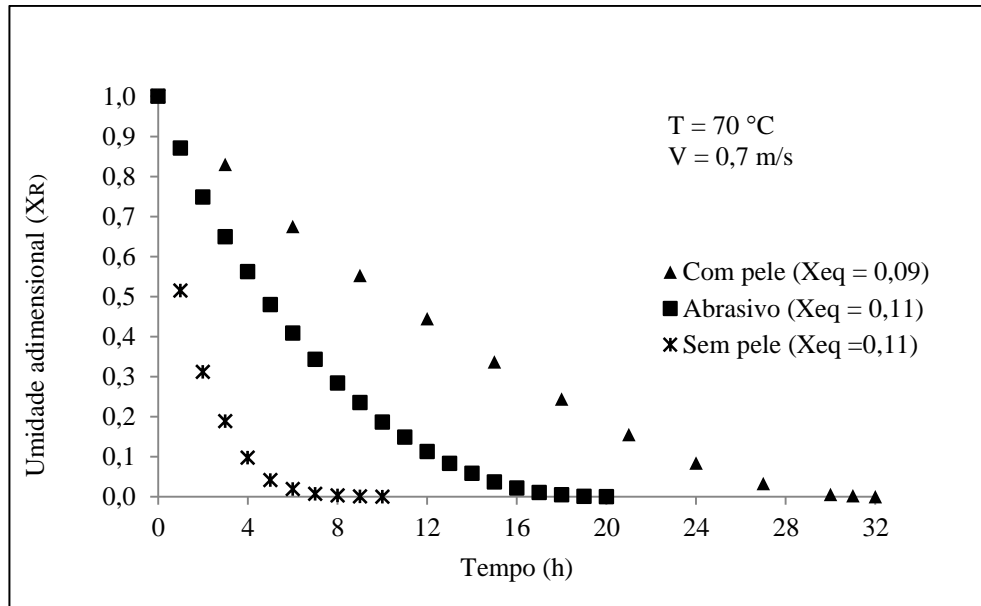


Figura 5.6 – Curvas da cinética de secagem em camada delgada de minitomate, $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidade do ar $0,7\text{ m/s}$.

Fonte: Do autor.

Uma leitura simples das curvas na Figura 5.6 deixa evidente a influência da impermeabilidade da pele do minitomate na resistência à secagem.

A taxa de perda de água na secagem do tomate com a pele intacta é muitas vezes menor do que a do tomate descascado, enquanto que a curva da cinética de secagem do tomate que teve parte da pele lixada se acomoda perfeitamente entre as duas curvas. Observa-se também que a secagem do tomate com pele apresenta um considerável período de taxa de secagem constante, enquanto que no tomate tratado, esse período é bem menor. No tomate sem pele e tratado, não existe período de taxa de secagem constante.

Esse período de taxa constante de secagem corresponde a uma situação de regime “pseudo-estacionário”, controlado pela resistência da pele e o grande volume de água do mesocarpo. Segundo Romero-Peña (199), ao contrário da taxa constante clássica encontrada nas secagens, esse período é caracterizado por considerável aumento de temperatura do tomate.

Para interpretar de forma mais quantitativa as diferenças no comportamento da secagem determinou-se o tempo para atingir a umidades finais de $0,10\text{ g água/g massa seca}$ e de $0,15\text{ g água / g massa seca}$ em cada uma das situações. Os valores estão lançados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Tempo (em horas) até atingir umidades baixas, na secagem de minitomates a 70 °C.

Umidade (g água/g massa seca)	Com pele	Abrasivo	Sem pele
X = 0,15	25	15	5
X = 0,10	29	18 ^a	8 ^a

a - tempo necessário para atingir $X_{eq} = 0,11$.

Fonte: Do autor.

Observe que o tempo para atingir teor de umidade de 0,15 g água/g massa seca em tomates com pele foi cinco vezes maior que o tempo para tomates sem pele. A diferença de tempo para atingir 0,15 g água/g massa entre tomates sem casca e tomates tratados é de 10 horas, valor idêntico a diferença do tempo de tomates com casca e tomates lixado. O tomate com casca necessitou de 29 horas para atingir o teor de umidade de 0,10 g água/g massa seca. Os tomates sem pele e o lixado não atingiram teor de umidade de 0,10 g água/g massa seca, necessitando de 8 e 18 horas, respectivamente, para atingir 0,11 g água/g massa seca.

5.3.2 Secagem de minitomates pré-tratados a 55, 70 e 85 °C

Ensaio em camada delgada nas temperaturas de 55 e 85° com velocidade do ar de secagem de 0,7 m/s também foram realizados e as curvas foram comparadas com a obtida a 70 °C. Os resultados estão apresentados na Figura 5.7.

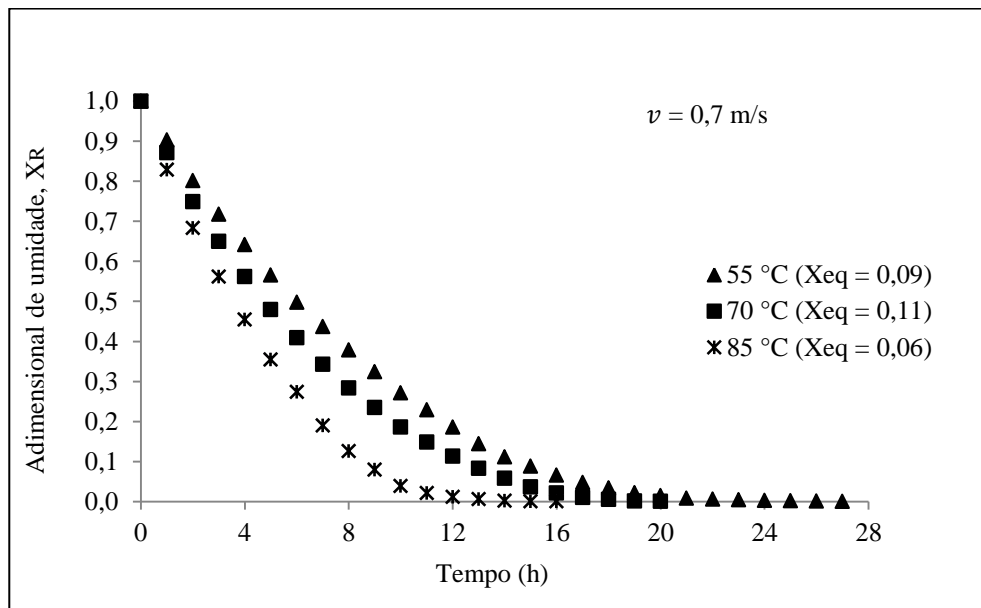


Figura 5.7 – Curvas da cinética de secagem, em camada delgada de minitomates tratados, a 55, 70 e 85 °C.

Fonte: Do autor.

Conforme esperado, a taxa de secagem é crescente com o aumento da temperatura do ar. Na Tabela 5.3 estão apresentados os tempos de secagem necessários para que a umidade em base seca baixe para 0,15 g água/g massa seca e para 0,10 g água/g massa seca.

Tabela 5.3 – Tempo (em horas) até atingir umidade baixa para minitomates lixados secos a 55, 70 e 85 °C

Umidade (g água/g massa seca)	55 °C	70 °C	85 °C
X = 0,15	16	15	9
X = 0,10	20	18 ^a	10

a - tempo necessário para atingir $X_{eq} = 0,11$.

Fonte: Do autor.

Observa-se que o tempo necessário para diminuir o teor de umidade de 0,15 e 0,10 g água/g massa seca para secagem a 55 e 70 °C são relativamente próximos. Para a secagem a 85 °C são encontrados valores bem menores, 9 horas para atingir 0,15 g água/g massa seca, e 10 horas para 0,10 g água/g massa seca.

5.3.3 Modelagem matemática para cinética de secagem em camada delgada

Os modelos de dois parâmetros de Page e de Henderson e Pabis tiveram seus parâmetros ajustados aos dados experimentais de secagem, e os valores obtidos por meio de regressão não linear. A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de correlação (R^2).

A Figura 5.8 reinterpreta os pontos experimentais obtidos na secagem de minitomates com pele, tratados e sem pele, desidratados a 70 °C com velocidade do ar de secagem de 0,7 m/s assim como as curvas dos modelos ajustadas. A Figura 5.9 apresenta os valores obtidos experimentalmente do adimensional de umidade em função do tempo para minitomates pré-tratados secos a 55, 70 e 85 °C com velocidade do ar de 0,7 m/s, e as curvas de ajuste obtidas pelos modelos estudados.

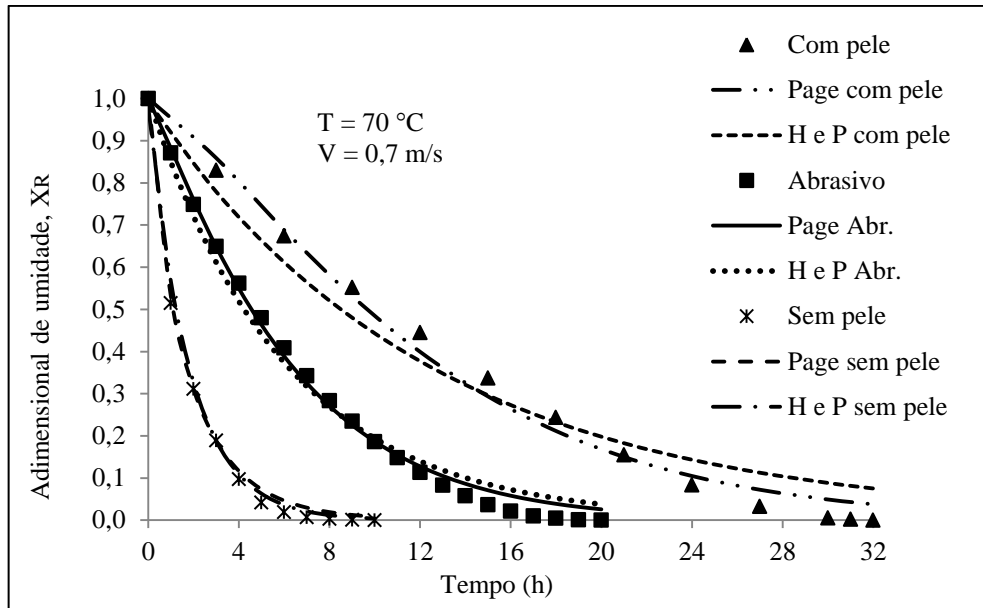


Figura 5.8 – Curvas da cinética de secagem de minitomates a 70 °C e o ajuste aos modelos de Page e de Henderson e Pabis (H e P).

Fonte: Do autor.

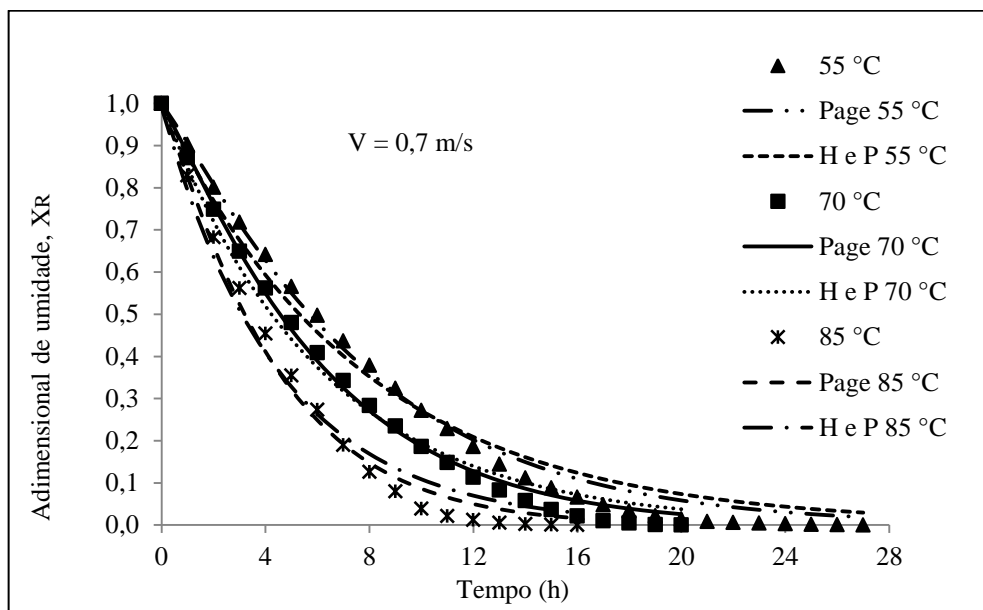


Figura 5.9 – Curvas da cinética de secagem de minitomates tratados a 55, 70 e 85 °C e o ajuste aos modelos de Page e de Henderson e Pabis (H e P).

Fonte: Do autor.

Ao analisar as Figuras 5.8 e 5.9 é possível verificar que os dois modelos matemáticos propostos para descrever a secagem de minitomates em camada delgada mostram-se satisfatórios, pois os valores para o coeficiente de correlação foram superiores a 0,98. O modelo de Page apresentou melhores ajustes ao processo de secagem do que o modelo de Henderson e Pabis. A Tabela 5.4 lista os valores dos parâmetros e o coeficiente de correlação (R^2) encontrado.

Apesar desses modelos (sobretudo Page) serem recorrentes na literatura de secagem em camada delgada, eles devem ser considerados simples ajustes matemáticos às curvas, e os parâmetros obtidos não têm significado físico, como também ocorreu nos presentes ensaios.

Tabela 5.4 – Parâmetros dos modelos de Page e de Henderson e Pabis para a secagem de minitomates.

Condições Operacionais		Page			Henderson e Pabis		
Tratamento da pele	Temperatura e Velocidade do ar	k	n	R ²	k	a	R ²
Com pele		0,035	1,251	0,9925	0,076	0,999	0,9805
Tratado	70 °C - 0,7 m/s	0,116	1,065	0,9965	0,140	1,000	0,9979
Sem pele		0,610	0,855	0,9964	0,521	0,977	0,9899
Tratado	55 °C - 0,7 m/s	0,089	1,113	0,9946	0,129	0,996	0,9914
Tratado	85 °C - 0,7 m/s	0,216	1,027	0,9906	0,237	0,998	0,9872

k – em h⁻¹;

n e a – constantes do modelo.

Fonte: Do autor.

5.3.4 Secagem de um único minitomate

Como já foi observado, as curvas de secagem obtidas nos três níveis de temperatura e para as três condições de superfície dos tomates (com pele, sem pele e com o tratamento abrasivo) mostraram um comportamento geral similar, mas com taxas de secagem (g água evaporada / tempo) muito diferentes.

É importante constatar também, que essa diferenciação nas curvas já se desenhou desde os instantes iniciais de secagem.

A fim de obter dados mais confiáveis da cinética de secagem, que representem apenas a resistência a migração de água no tomate, adaptou-se o equipamento para receber apenas um tomate (com dimensões iniciais determinadas), a uma velocidade de ar mais alta (2,8 m/s) e assim diminuir o efeito da resistência externa à transferência de umidade, sobretudo nos tomates tratados.

Os pontos experimentais obtidos na secagem nos três níveis de temperatura de minitomates que sofreram o tratamento abrasivo por 30 minutos estão locados na Figura 5.10.

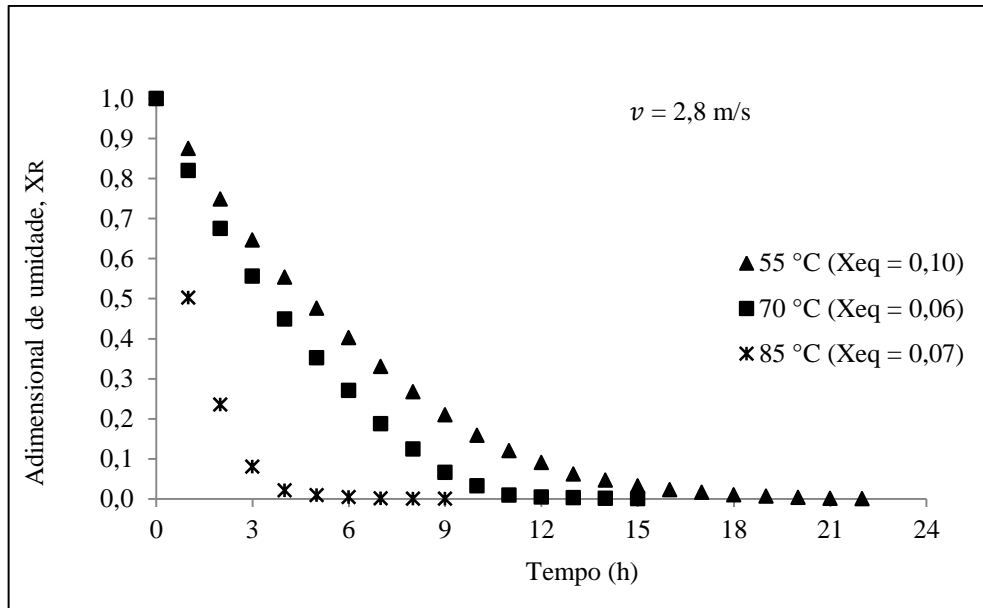


Figura 5.10 – Curvas da cinética de secagem de um minitomate tratado, e desidratado com ar a 55, 70 e 85 °C a uma velocidade de 2,8 m/s.

Fonte: Do autor.

Observou-se que quando a velocidade do ar de secagem foi alterada de 0,7 m/s para 2,8 m/s nos ensaios à temperatura de 55, 70 e 85 °C foram obtidos menores tempos de secagem, justificado pela diminuição da resistência externa (convecção) à transferência de massa e calor.

Na Tabela 5.5 estão lançados os valores do tempo de secagem necessário para o produto atingir $X_{eq} = 0,15$ g água/g matéria seca e $X_{eq} = 0,10$ g água/g matéria seca.

Tabela 5.5 – Tempo (em horas) até atingir umidade baixa para minitomates lixados e desidratados a 55, 70 e 85 °C.

Umidade (g água/g massa seca)	55 °C	70 °C	85 °C
X = 0,15	14	8,5	3
X = 0,10	18	10	4

Fonte: Do autor.

Pode se observar que com uma menor resistência externa à transferência de massa, foram necessários tempos mais curtos para atingir teor de umidade inferior a 0,15 e 0,10 g água/g matéria seca do que os obtidos com ar a uma velocidade de 0,7 m/s. O minitomate seco a 85 °C necessitou de 3 e 4 horas para atingir 0,15 e 0,10 g água/g massa seca respectivamente, enquanto a 55 °C o tempo para 0,15 g água/g massa seca foi 14 horas e 18 horas para 0,10 g água/g matéria seca. Quando seco a 70 °C foram necessários tempos intermediários, 8,5 e 10 horas, para atingir 0,15 e 0,10 g água/g matéria seca respectivamente.

Esses valores contrastam com os da Tabela 5.3 (velocidade do ar a 0,7 m/s), sobretudo no ar nas temperaturas de 70 e 85 °C. Na temperatura do ar a 55 °C, o aumento na velocidade do ar de 0,7 para 2,8 m/s diminuiu o tempo de secagem em pouco mais de 10%. Isso porque na secagem a 55 °C, o potencial termodinâmico para transferência de massa é muito baixo e a diminuição da resistência externa (isto é, incremento na convecção de massa no ar) afeta pouco a secagem.

5.3.5 Fluxo inicial de secagem de minitomate

As curvas de secagem traçadas na Figura 5.10 deixam evidente que a diferenciação no processo de secagem já está consolidada desde o início do processo. Esse fato pode criar condições para quantificar os efeitos da escoriação da pele no comportamento de secagem sem a necessidade de realizar ensaios completos de secagem.

O secador com bandeja adaptada para obter velocidades de 2,8 m/s foi então utilizado para o levantamento da cinética inicial de secagem nas nove situações avaliadas nessa pesquisa: tomates com pele, sem pele e tratados com abrasivos, nas três temperaturas 55, 70 e 85 °C. Em cada uma das situações foram realizados ensaios em triplicata.

Os valores obtidos na etapa inicial em cada uma das três repetições, com ar a 70 °C estão nas Figuras 5.11 (com pele), Figura 5.12 (tratados) e Figura 5.13 (sem pele). Esses pontos iniciais foram ajustados por uma linha reta (a equação correspondente está registrada na figura), e o valor absoluto do coeficiente angular corresponde a taxa de secagem. Observe que o coeficiente de correlação foi muito bom para os dados de secagem do tomate com pele e com tratamento. No tomate sem pele, a curva logo se distancia da fase linear e um bom ajuste foi obtido quando apenas os três primeiros pontos (até 10 minutos de secagem) foram considerados.

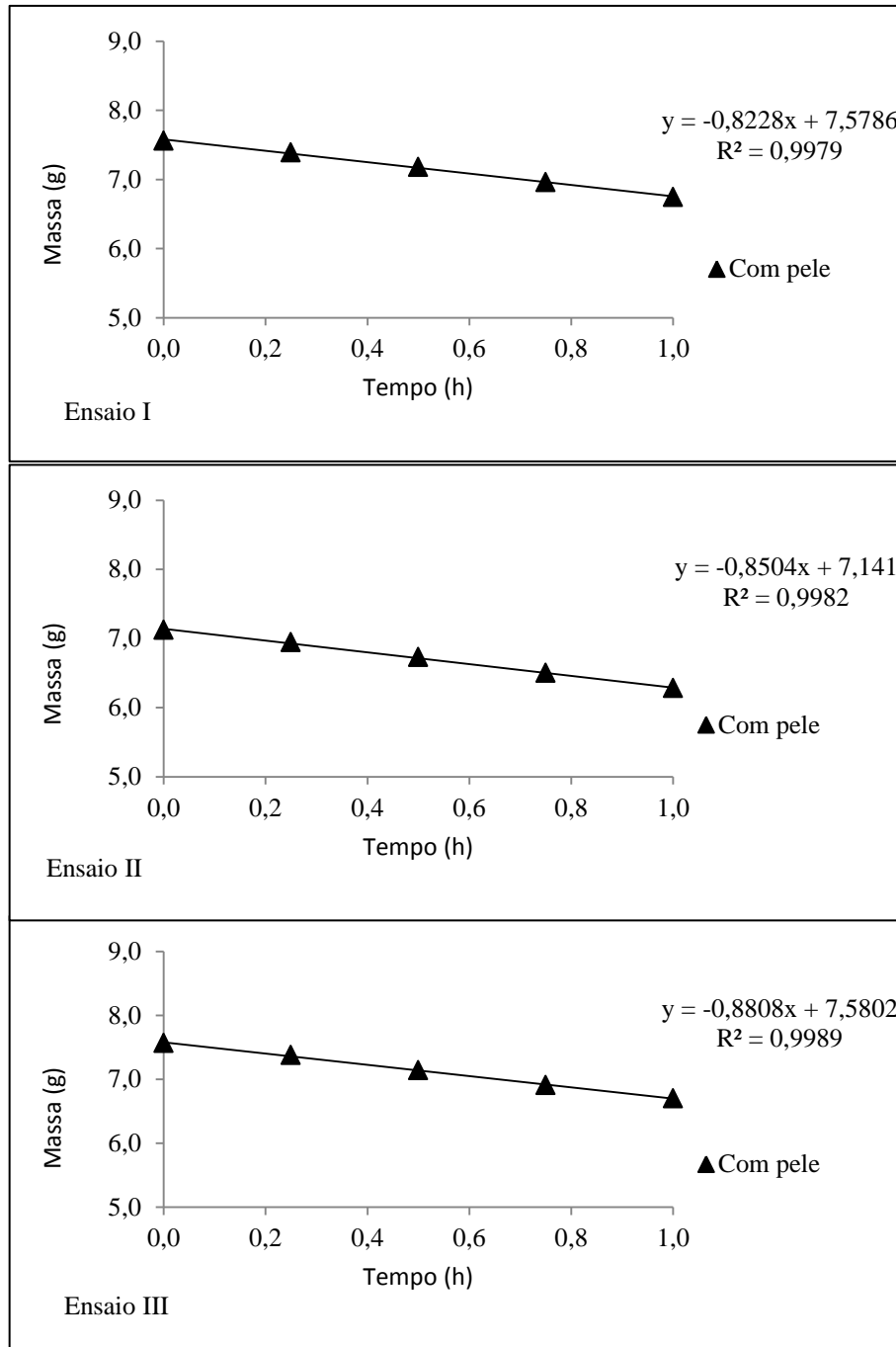


Figura 5.11 – Cinética inicial de secagem de minitomates com pele, $T_{ar} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta do ajuste linear.

Fonte: Do autor.

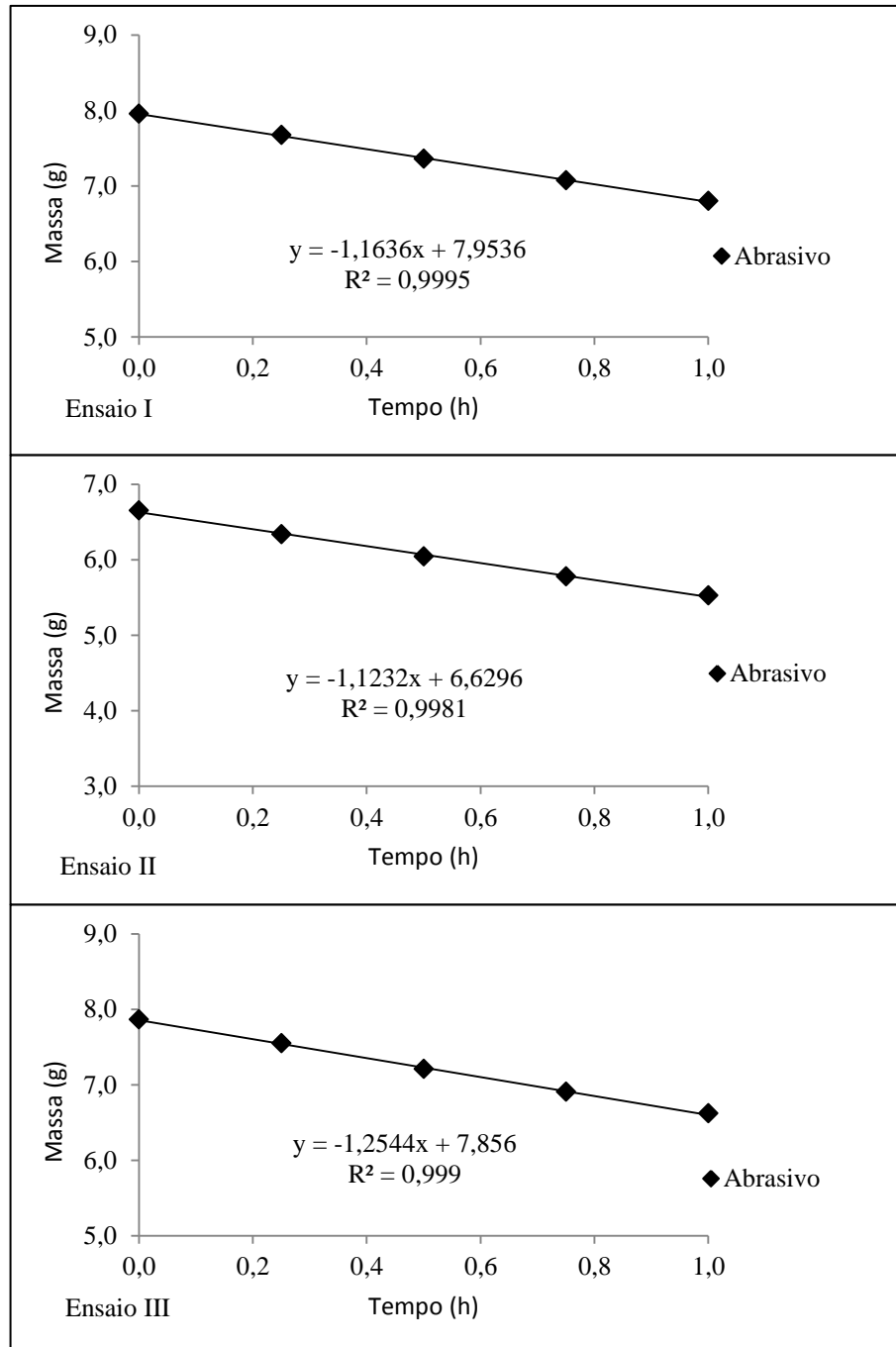


Figura 5.12 – Cinética inicial de secagem de minitomates tratados, $T_{ar} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta do ajuste linear.

Fonte: Do autor.

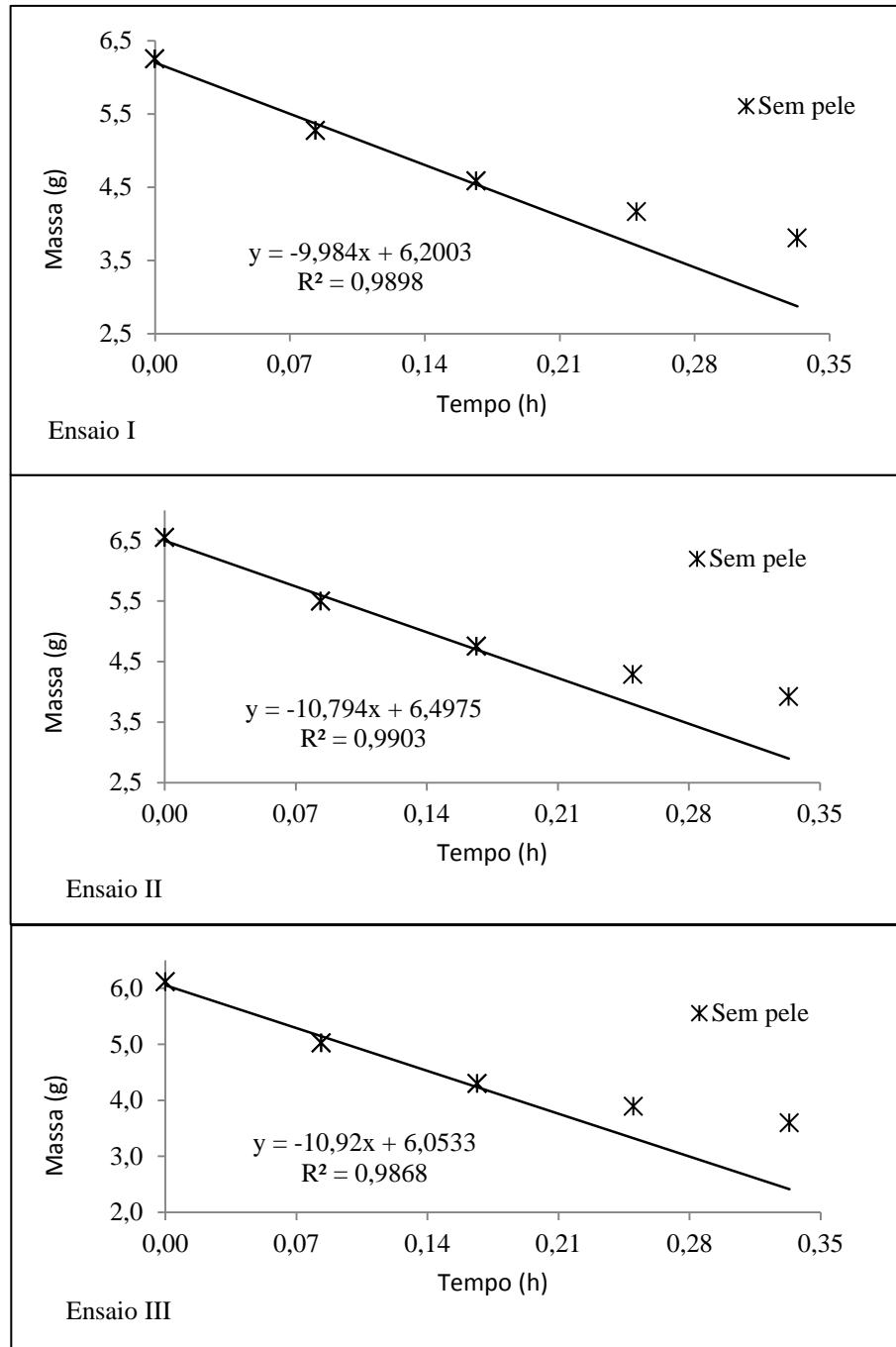


Figura 5.13 – Cinética inicial de secagem de minitomates sem pele, $T_{ar} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta do ajuste linear.

Fonte: Do autor.

A Tabela 5.6, Tabela 5.7 e Tabela 5.8 apresentam os valores dos fluxos iniciais de evaporação de água para as três condições da pele dos tomates e para cada uma das repetições. O fluxo foi calculado dividindo a taxa de secagem (o valor absoluto do coeficiente angular da reta de ajuste) pela área calculada (assumindo um esferoide prolato). Na Tabela 5.9 e Tabela 5.10 estão apresentados os valores do fluxo inicial de evaporação de água nas temperaturas de 55, 70 e 85°C. Os resultados confirmam um aumento da ordem de 38% entre

os valores médios da taxa de secagem de tomates com a casca tratada (0,0741 g água/h cm²) e tomates com a pele integral (0,0537 g água/h cm²). Por outro lado, o fluxo inicial de secagem com tomates sem pele é cerca de 15 vezes maior do que o do tomate com pele.

Tabela 5.6 – Fluxo inicial e taxa de perda de água na secagem de minitomates com pele, T_{ar} = 70 °C e velocidade do ar 2,8 m/s.

Ensaio	Massa Inicial (g)	Área (cm²)	Fluxo (g de água/h.cm²)	Taxa (g água/h)
I	7,560	15,8	0,052	0,823
II	7,123	15,7	0,054	0,850
II	7,568	16,0	0,055	0,881

Fonte: Do autor.

Tabela 5.7 – Fluxo inicial e taxa de perda de água na secagem de minitomates tratados, T_{ar} = 70 °C e velocidade do ar 2,8 m/s.

Ensaio	Massa Inicial (g)	Área (cm²)	Fluxo (g de água/h.cm²)	Taxa (g água/h)
I	7,954	16,4	0,071	1,164
II	6,651	15,1	0,074	1,123
III	7,865	16,3	0,077	1,254

Fonte: Do autor.

Tabela 5.8 – Fluxo inicial e taxa de perda de água na secagem de minitomates sem pele, T_{ar} = 70 °C e velocidade do ar 2,8 m/s.

Ensaio	Massa Inicial (g)	Área (cm²)	Fluxo (g de água/h.cm²)	Taxa (g água/h)
I	6,249	14,8	0,676	9,984
II	6,549	15,1	0,715	10,794
III	6,114	14,7	0,745	10,920

Fonte: Do autor.

O mesmo tratamento foi dado aos resultados obtidos com ar na temperatura de 55 °C e de 85 °C. As curvas de secagem inicial estão apresentadas do Apêndice B e a Tabela 5.9 resume a média dos parâmetros obtidos, incluindo os valores do fluxo com ar a 70 °C.

Tabela 5.9 – Média do fluxo inicial de evaporação (em g água/h cm²) de minitomate submetido ao ar de secagem a 55, 70 e 85 °C.

Tratamento da pele	55 °C	70 °C	85 °C
Com pele	0,007	0,054	0,105
Tratados	0,053	0,074	0,192
Sem pele	0,422	0,711	1,170

Fonte: Do autor.

A Tabela 5.10 apresenta a razão do fluxo inicial de evaporação de água entre o tomate tratado e tomate com pele nas três temperaturas de secagem.

Tabela 5.10 – Razão do fluxo inicial de evaporação de água entre o tomate tratado e o tomate com pele, submetidos ao ar de secagem a 55, 70 e 85 °C.

	55 °C	70 °C	85 °C
<i>Tomate tratado</i>			
<i>Tomate com pele</i>	7,49	1,38	1,82

Fonte: Do autor.

Observa-se que o efeito do tratamento da superfície é muito mais pronunciado na secagem à temperatura de 55 °C. Isto é consequência das grandes resistências internas envolvidas na secagem a temperaturas de ar mais baixas. A migração de água até a superfície externa na pele do tomate controla o processo de secagem de modo que processo que aliviam essas resistências internas tem um efeito mais pronunciado.

Esses resultados permitem concluir que o uso de tratamento abrasivo da pele de minitomates é mais eficiente em processo artesanais de secagem, como por exemplo, a secagem solar.

5.3.6 Modelagem difusional da secagem

A modelagem da cinética de secagem foi realizada com os dados obtidos na secagem de um só tomate, colocado no cesto do secador, com ar na temperatura de 70 °C e velocidade de 0,7 m/s.

O minitomate apresenta forma geométrica semelhante a um esferoide prolato, não havendo solução analítica da 2ª Lei de Fick. Ao utilizar a solução da 2ª Lei de Fick para esfera rígida (Equação 3.4), foi usado o raio de uma esfera calculado a partir da mesma área superficial que o esferoide, por meio da Equação 5.2.

$$R = \sqrt{\frac{A_{\text{esferoide}}}{4\pi}} \quad (5.2)$$

No experimento com tomate sem pele, o raio equivalente foi de 1,14 cm e os resultados do ajuste aos dados experimentais estão apresentados na Figura 5.14.

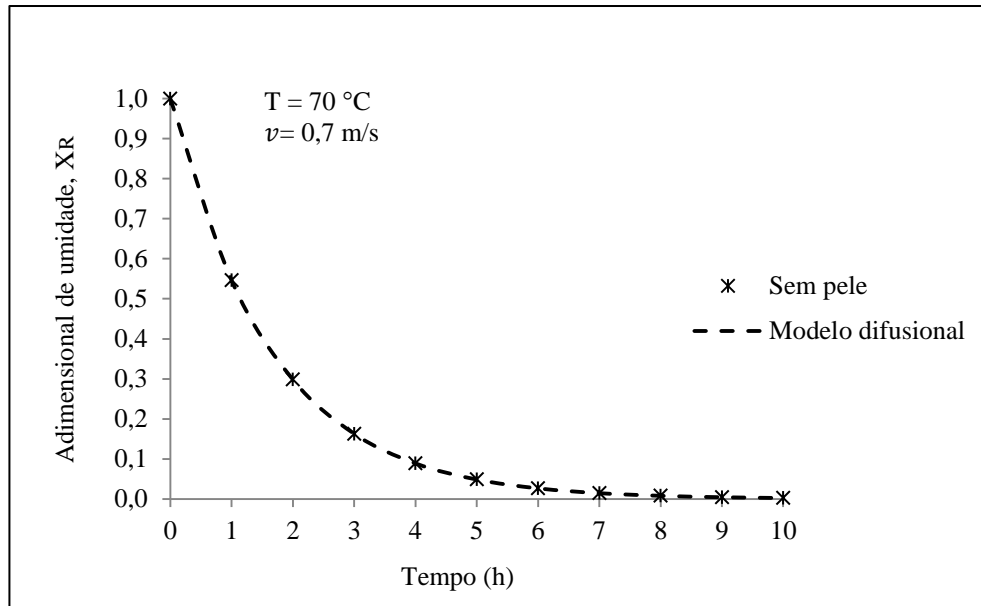


Figura 5.14 – Curvas da cinética de secagem de um minitomate a 70 °C sem pele e o ajuste ao modelo de Fick

Fonte: Do autor.

Observa-se que o modelo com uma única difusividade efetiva ($Def = 2,08 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$) representa acuradamente todos os pontos experimentais obtidos ao longo da secagem ($R^2 = 0,9978$). Esse resultado é surpreendente, e incomum, e deve ser considerado como uma feliz compensação de desvios de premissas assumidas na elaboração do modelo difusional (ROMERO-PEÑA, 1999). Na presente situação, é provável ter havido uma acomodação de tendências contrárias entre si, como o grande encolhimento do volume devido a perda de água, a diminuição da difusividade com o aumento da concentração de sólidos secos, o aumento da difusividade com o aumento da temperatura da amostra, influência da heterogeneidade da estrutura do tomate e, possivelmente, a presença de uma resistência convectiva à transferência de vapor d'água. Bennamoun, Khama e Léonard (2015), consideraram a contração do volume na secagem de minitomates pelado a 70 °C e acharam uma difusividade efetiva de $2,53 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$.

O mesmo tratamento de ajuste foi aplicado em minitomate com pele e minitomate tratado. Os resultados estão apresentados na Figura 5.15. Eles deixam evidente que o ajuste é inadequado ($R^2 = 0,9428$ para tomates com pele, e $R^2 = 0,9634$ para tomates tratados). Esses resultados, entretanto, eram esperados, pois a impermeabilidade da pele desconfigura o comportamento inicial da curva de secagem, típica. As difusividades efetivas encontradas foram $Def = 3,35 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ para tomates com pele e $Def = 5,07 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ para tomates tratados, uma diferença que não reflete as separações entre as duas curvas experimentais ou a diferença nos valores encontrados para a taxa inicial de secagem (Secção 5.3.5). Khama et al. (2016) e Bennamoun, Khama e Léonard (2015) também encontram uma diferença de uma ordem de magnitude na difusividade efetiva entre tomates com pele sem pele, em ajustes que consideraram a contração do volume. Resultados semelhantes foram obtidos por Xanthopoulos, Yanniotis e Boudouvis (2012).

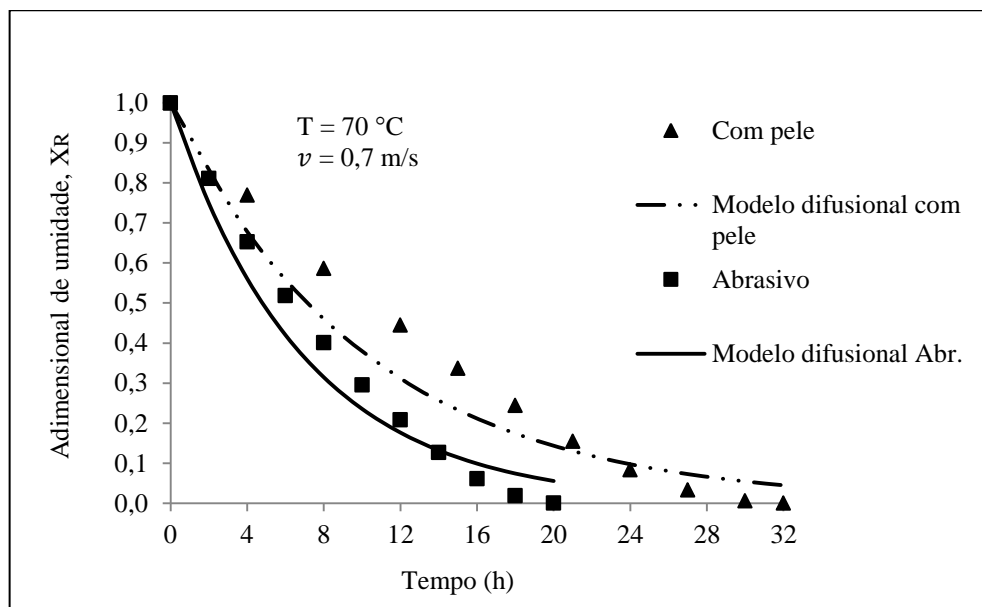


Figura 5.15 – Curvas da cinética de secagem de um minitomate a 70 °C com pele e tratado, e o ajuste ao modelo de Fick.

Fonte: Do autor.

5.4 DEGRADAÇÃO DA VITAMINA C

A Vitamina C é frequentemente utilizada como indicador de alterações gerais de qualidade em alimentos desidratados e processados. A Vitamina C é termolábil e é considerada um dos nutrientes mais sensíveis às condições adversas (KOH; CHAROENPRASERT; MITCHELL, 2011).

Durante a secagem o fruto está submetido a temperatura mais alta por um certo período de tempo e a degradação do ácido ascórbico é uma função do binômio tempo/temperatura.

5.4.1 Perda de Vitamina C durante o pré-tratamento

A degradação de Vitamina C durante o processo de lixamento foi monitorada, e o resultado obtido está apresentado na Figura 5.16. A curva na Figura 5.16 é a média de três ensaios para cada tempo especificado e indica um taxa de degradação linear com o tempo de processamento.

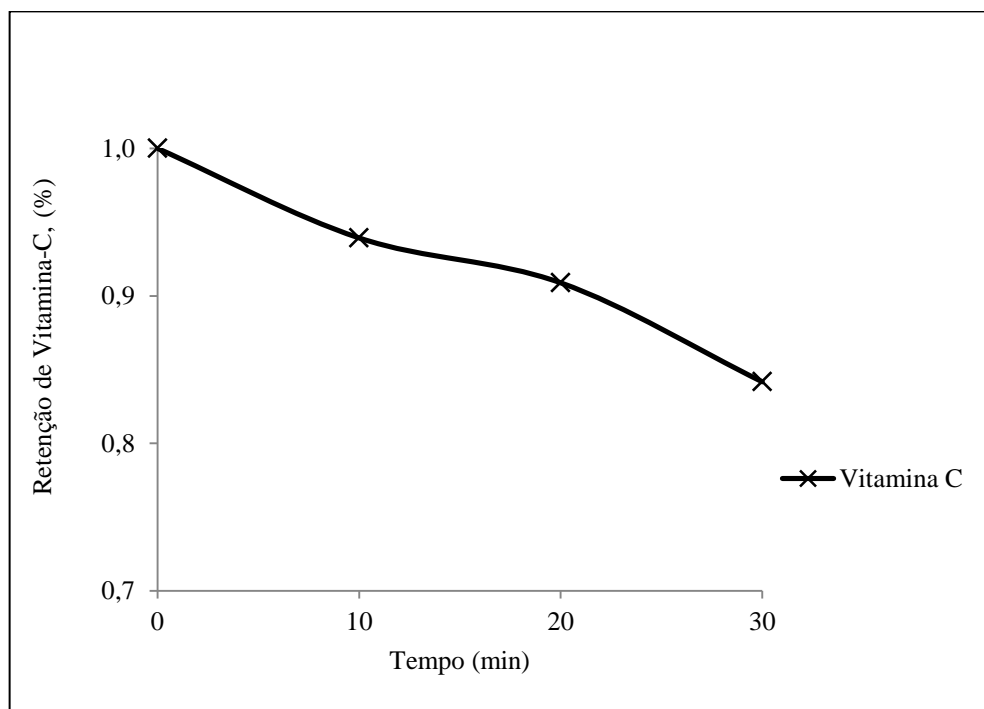


Figura 5.16 – Curva de retenção de Vitamina C durante o tratamento abrasivo.
Fonte: Do autor.

Com 30 minutos de lixamento o conteúdo de Vitamina C diminuiu cerca de 15% do valor médio inicial. Esse nível de degradação não era esperado e deve ser atribuído a compressões mecânicas sobre o mesocarpo do tomate, promovendo danos na estrutura celular, e expondo o ácido ascórbico como substratos a enzimas. Observou-se ainda um leve aquecimento da pele do minitomate durante o processamento fato que deve ter ativado a degradação.

5.4.2 Efeito do tratamento abrasivo sobre o teor de Vitamina C

Com o objetivo de avaliar a qualidade do minitomate seco foram realizados estudos para verificar a influência do pré-tratamento abrasivo na preservação da Vitamina C durante a secagem. O teor de Vitamina C em minitomates *Sweet Grape* secos inteiros, em três condições da casca, isto é, com pele, expostos ao pré-tratamento e descascados, foi avaliada no fim da secagem. A temperatura de secagem foi 70 °C e velocidade do ar 0,7 m/s. Os ensaios foram feitos em triplicata e os resultados de todos os ensaios são apresentados na Tabela 5.11.

Os estudos revelaram que os minitomates secos com pele apresentaram maior percentual de retenção de Vitamina C do que minitomates tratados e minitomates sem pele, com um valor médio de $19,39 \pm 0,50$ mg de Vitamina C/100 g de massa seca. A maior manutenção de Vitamina C em tomates com pele provavelmente ocorre devida a proteção exercida pela pele e ao fato de todo o fruto ter permanecido intacto. Esse resultado chega a surpreender, entretanto, pois o tempo de secagem foi maior e a temperatura do fruto durante a secagem dever ter se elevado a níveis próximos a temperatura do ar, pois não ocorre o efeito evaporativo de resfriamento (ROMERO-PEÑA, 1999).

O minitomate tratado com abrasivo reteve, após a desidratação $18,78 \pm 0,91$ mg de Vitamina C/100 g de massa seca e o minitomate seco sem pele $13,46 \pm 0,36$ mg de Vitamina C/100 g de massa seca. A diferença na retenção de Vitamina C entre o tomate tratado e o tomate com pele é de cerca de 3%. Considerando que o tomate tratado perde cerca de 15% de Vitamina C durante o tratamento abrasivo, pode-se concluir que o processo mais brando de secagem de tomates com a pele lixada favorece a retenção desse nutriente em relação ao tomate com a pele intacta.

A menor concentração residual de Vitamina C em tomates descascados se explica pela remoção prévia da pele durante o descascamento, pois é no epicarpo que se concentra a maior parte de Vitamina C (HOLMAN, 1956).

Essa comparação relativa entre os diferentes processamentos, entretanto, perde importância quando a retenção é comparada ao conteúdo original de Vitamina C, que é de 4,96 mg Vitamina C/g de massa seca. Os valores são apresentados na Tabela 5.11 indicando que a retenção de Vitamina C é menor do que 4% do conteúdo inicial.

Tabela 5.11 – Retenção de Vitamina C em minitomates secos com ar a 70 °C

Tratamento da Pele	Ensaio	mg vit.C / g massa seca
Com pele	I	0,189
	II	0,195
	III	0,198
Trat. Abrasivo	I	0,178
	II	0,181
	III	0,185
Sem Pele	I	0,131
	II	0,135
	III	0,138

Fonte: Do autor.

Não foram encontrados trabalhos na literatura científica, avaliando a retenção de Vitamina C durante a secagem de tomates cereja *in natura*. Santos (2008) secou tomates industriais da variedade Pera, inteiros com a 70 °C por 15 horas e obteve uma retenção em torno de 10% da Vitamina C em frutos que sofreram descascamento químico.

5.4.3 Efeito de diferentes temperaturas de secagem na retenção de Vitamina C

O efeito de diferentes temperaturas de secagem, 55, 70 e 85°C, usando o secador com ar na velocidade de 0,7 m/s na degradação do ácido-ascórbico em minitomates *Sweet Grape* também foi avaliado em triplicata, e a média dos resultados está apresentada na Tabela 5.12. Ao analisar os valores da Tabela 5.12 é possível verificar maior degradação do ácido-ascórbico quando o processo de secagem foi realizado em 85°C. De acordo com Araújo (2011) o aumento da temperatura provoca maior degradação de Vitamina C, pois ele resulta na maior remoção da água de hidratação, protetora dos sítios reativos das moléculas, promovendo a degradação dos ácidos orgânicos durante a desidratação.

Tabela 5.12 – Conteúdo de Vitamina C em minitomates tratados e secos sob diferentes temperaturas do ar

Temperatura	mg vit.C / g massa seca
55 °C	0,196
70 °C	0,181
85 °C	0,108

Fonte: Do autor.

Na desidratação de tomates inteiros descascados da variedade Pera, com ar a 50 °C, Santos (2008) obteve uma retenção de 70% de Vitamina C, após 17 horas de secagem. A maioria dos trabalhos que avaliaram a retenção de Vitamina C na secagem de tomates usaram tomates cortados ao meio, como por exemplo, Cruz, Braga e Grandi (2012) e Zanoni et al. (1999). Esses autores obtiveram conteúdos finais de Vitamina C um pouco superiores aos encontrados na presente pesquisa. Zanoni et al. (1999), ao secar fatias de tomates com ar a 110 °C, não conseguiu detectar a presença de Vitamina C no produto final, que tinha um conteúdo de umidade de 10%.

Para obter maiores retenções de Vitamina C em tomates cereja, é necessário encerrar o processo quando o conteúdo de umidade atingir 25% da umidade inicial (LOURENÇO; FINZER, 2013; MURATORE et al., 2008).

6 CONCLUSÕES

O equipamento rotativo desenvolvido para o tratamento abrasivo da pele de minitomates é funcional e eficiente, permitindo o monitoramento constante do processo. O tratamento abrasivo realizado por 30 minutos à velocidade de rotação de 50 rpm com a utilização de lixa de grana 180 mostrou ser eficaz e não confere dano físico aparente à estrutura celular no mesocarpo dos minitomates. O tratamento abrasivo confere uma degradação de Vitamina C no minitomate de cerca de 0,5% do conteúdo original / minuto.

O efeito do pré-tratamento abrasivo sobre a cinética de secagem é mensurável pelo fluxo inicial de remoção de umidade. Assumindo o valor de 100 para a secagem a 70 °C de minitomates com a pele tratada abrasivamente, as relações da influencia do pré-tratamento no fluxo inicial a diferentes temperaturas são apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Efeito do tratamento abrasivo sobre o fluxo inicial de remoção de umidade

Temperatura do ar	Pele Tratada	Pele Intacta
55 °C	72	9
70 °C	100	73
85 °C	259	142

Fonte: Do autor.

A solução analítica em série da 2ª Lei de Fick se ajustou muito bem aos dados experimentais de perda de água, na secagem de um único minitomate inteiro sem pele, obtendo-se uma difusividade efetiva de $2,8 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$. Não foi possível ajustar os dados de secagem de um único minitomate inteiro com a pele intacta e com a pele tratada abrasivamente ao modelo da difusão de Fick.

A Equação de Page se ajustou muito bem aos dados de secagem em camada delgada de minitomates inteiros com ou sem pele e de minitomates com a pele tratada. Podendo ser utilizada para descrever o processo de secagem.

O conteúdo de ácido ascórbico, com e sem tratamento, encontrado ao final de secagem demonstrou que o processo de desidratação não permitiu a manutenção da Vitamina C contida no minitomate *in natura*. O fruto desidratado apresentou 4% do conteúdo inicial de Vitamina C.

A isoterma obtida pelo Modelo de GAB se ajustou muito bem aos dados de equilíbrio de sorção de umidade, definindo um valor de 0,131 gH₂O/g massa seca de minitomate para o conteúdo de umidade da monocamada.

REFERÊNCIAS

- ADILETTA, G. et al. The influence of abrasive pretreatment on hot air drying of grape. **Food and Nutrition Sciences**, v.6, p.355-364, 2015.
- ADILETTA, G. et al. Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. **Journal of Food Engineering**, v.172, p.9-18, 2016.
- AGUIAR, F.P.C. et al. Determinação da vida útil de tomate tipo cereja e *Sweet Grape*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: CIIC, 2012. p.56-60.
- AKANBI, C.T.; ADEYEMI, R.S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. **Journal of Food Engineering**, v.73. p.157-163, 2006.
- ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004.
- ANDREOLA, K. **Secagem de cenoura (*Dacus carota L.*) assistida por micro-ondas**. 2013. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 2013.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC international, 2006. 1165p.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e pratica**. 5. Ed. Viçosa: UFV, 2011.
- AYVAZ, H.; SANTOS, A.M.; SAONA, L.E.R. Understanding tomato peelability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.15, p. 619-632, 2016.
- AZOUBEL, P.M. **Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*)**. 1999. 116f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 1999.
- BARATI, E.; ESFAHANI, J.A. Mathematical modeling of convective drying: lumped temperature and spatially distributed moisture in slab. **Energy**, v.36, n.4, p.2294-2301, 2011.
- BARONI, A.F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2004.
- BARRETT, R L. **Conservação pós-colheita de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) do cultivar gigante Kada submetido a choque a frio e armazenado com filme de PVC**. 1990. 114f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, ESAL, Lavras, 1990.
- BAUER, S.; SCHULTE, E.; THEIR, H. Composition of the surface wax from tomatoes. I. Identification of the components by GC/MS. **European Food Research Technology**, v.219, n.3, p.219:223, 2004.

BELGHITH, A.; AZZOUZ, S.; CAFSI, A.E. Desorption isotherms and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato, **Heat Mass Transfer**, v.52, p. 407-419, 2016.

BENAMOUN, L.; KHAMA, R.; LÉONARD, A. Convective drying of a single cherry tomato: modeling and experimental study. **Food and Bioproducts Processing**, v.94, p.114-123, 2015.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades físicas II: ópticas y color in. **Temas em Tecnologia de Alimentos**, v.1, p.261-288, 1997.

CAMARGO, G.A. **Secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) para conserva: estudo de parâmetros com base na qualidade final**. 2000. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 2000.

CAMARGO, G.A. **Novas tecnologias e pré-tratamentos: tomate seco embalado a vácuo**. 2005. 162f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2005.

CHEN, C.S.; JOHNSON, W.H. Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials II. **Transaction of the ASAE**, v.12, n.4, p.109-113, 1969.

CINQUANTA, L.; DI MATTEO, M.; ESTI, M. Physical pre-treatment of plums (*Prunus domestica*). Part 2. Effect on the quality characteristics of different prune cultivars. **Food Chemistry**, v.79, p.233-238, 2002.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

COELHO, K.D.; PINTO, L.A.A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) em camada delgada. **Vetor**, v.21, n.2, p.5-21, 2011.

CORRÊIA, A. DE F. K. **Variáveis relacionadas ao processamento de mini tomates inteiros desidratados em secador convectivo adiabático e liofilizados**. 2015. 150f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura, USP, Piracicaba, 2015.

CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. 2. ed. Clarendon Press: Oxford, 1975.

CRUZ, P.M.F.; BRAGA, G.C.; GRANDI, A.M. Composição química, cor e qualidade sensorial do tomate seco a diferentes temperaturas. **Ciências Agrárias**, v.33, n.4, p.1475-1486, 2012.

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

DI MATTEO, M. et al. Effect of a novel physical pretreatment process on the drying kinetics of seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, v.46, p.83-89, 2000.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para medida da atividade de água**. 2000. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DOMÍNGUEZ, E. et al. Development of fruit cuticle in cherry tomato (*Solanum lycopersicum*). **Funct Plant Biol**, v.35, p.403–411, 2008.

DOYMAZ, I. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.591–596, 2007.

FAGUNDES, A.F. et al. Influência do grau de umidade na textura de tomate seco refrigerado ou envasado em óleo. **Ciências Exatas Terra**, v.11, n.1, p.35-42, 2005.

FEMENIA, A. et al. Effects of drying pretreatments on the cell wall composition of grape tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.271-276, 1998.

FERRARI, A.A. **Caracterização química de tomates (*Lycopersicon esculentum mill.*) empegando análise por ativação neutrônica instrumental**. 2008 150f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrícolas) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba, 2008.

FILGUEIRA, F.A. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1982.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2008.

FOOD MAGAZINE. **Brasileiros se rendem ao tomate *Sweet Grape***. 2014. Disponível em: <<http://www.foodmagazine.com.br/food-service-noticia-produtos/brasileiros-se-rendem-ao-tomate-sweet-grape>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

GAWARE, T.J.; SUTAR, N.; THORAT, B.N. Drying of tomato using different methods: comparison of dehydration and rehydration kinetics. **Drying Technology**, v.28, p.651–658, 2010.

GIOVANELLI, G. et al. Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.135-141, 2002.

HEREDIA, A. Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1620, p.1-7, 2003.

HOLMAN, W.I. The distribution of vitamins within the tissues of common foodstuffs. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.26, n.2, p.277-304, 1956.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **O tomate**. Vitória, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4.ed São Paulo, 2008.

JARDIM, D. C. P. **Concentrado de tomate auto estável pelo efeito combinado da atividade de água e acidez**. 1991. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 1991.

JEN, J. J.; MUDAHAR, G. S.; TOLEDO, R. T. Chemistry and processing of high-quality dehydrated vegetable products. **American Chemical Society**, p.239-248, 1989.

JUNQUEIRA, A.H.; PEETZ, M.S.; ONODA, S.M. **Sweet Grape um modelo de inovação na gestão da cadeia de produção e distribuição de hortaliças diferenciadas no Brasil**. São Paulo: Central de Cases, 2011. 19p. Disponível em: <<http://www.organicnet.com.br/wp-content/uploads/sweetgrape.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

KHAMA, R. et al. Convective drying of cherry tomato: study of skin effect. **Journal of Engineering Science and Technology**, v.11, n.3, p.443-457, 2016.

KOH, E.; CHAROENPRASERT, S.; MITCHELL, A.E. Effects of industrial tomato paste processing on ascorbic acid, flavonoids and carotenoids and their stability over one-year storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, p.23-28, 2011.

LINSTER, C.L.; SCHAFTINGEN, E.V. Vitamin C: biosynthesis, recycling and degradation in mammals. **The Febs Journal**, v.274, n.1, p.1-22, 2007.

LOURENÇO, G.A.; FINZER, J.R.D. Secagem de tomate-cereja em secador de bandejas vibradas com reciclo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.16, n.4, p.334-345, 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA (MAPA). **Classificação de Hortaliças**. Portaria 553, 1.995.

MELO, K.S. et al. Determinação das propriedades físicas da semente de mamona. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.22, n.2, p.54-58, 2007.

MINAMI, K.; FONSECA, R. **Tomate: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1982.

MINAMI K.; HAAG H. P. **O tomateiro**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1989.

MÔNACO, L. Melhoramento do tomateiro. **Boletim do campo**, v.193, p.79-85, 1964.

MUNHOZ, C.L. et al. Caracterização do tomate seco. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.5, n.1, p.252-262, 2011.

MUNHOZ, K.A.S. **Estudo da cinética de degradação da cor, ácido ascórbico e consistência ao longo da cadeia de processamento industrial de polpa concentrada de tomate**. 2016. 99f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas 2016.

MURATORE, G. et al. Partial dehydration of cherry tomato at diferente temperature, and nutritional quality of the products. **Food Chemistry**, v.111, p.887-891, 2008.

- PADOVANI, M.I. **Tomate: o fruto do amor que conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1986.
- PANGAVHANE, D.R.; SAWHNEY, R.L.; SARSAVADIA, P.N. E effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, v.39, p.211-216, 1999.
- PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Nutrição mineral do tomate para mesa. **Informe Agropecuário**. v.24, n.219, p.27-34, 2003.
- PRECZENHAK, A.P. et al. Caracterização agrônômica de genótipos de minitomate. **Horticultura Brasileira**, v.32, p.348-356, 2014.
- PURKAYASTHA, M.D. et al. Thin layer drying of tomato slices. **Journal Food Scientists e Technologists**. v.50, n.4, p.642-653, 2013.
- REIS, R.C. et al. Modelagem matemática da secagem de pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.347-353, 2011.
- ROMERO-PEÑA, L.M. **Estudo de pré-tratamentos para a obtenção de tomates desidratados em fatias**. 1999. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 1999.
- ROMERO-PEÑA, L.M.; KIECKBUSCH, T.G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.1, p.69-76, 2003.
- SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B. **Postharvest biotechnology of vegetables**. Florida: CRC Press, 1984.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J. et al. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicum esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, n.2, p.308-312, 2011.
- SANTOS, E. M. **Secagem de tomates inteiros submetidos a descascamento químico**. 2008. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Biociências, UNESP, São José do Rio Preto, 2008.
- SHI, J.X. et al. Application of osmotic treatment in tomato processing: effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, v.30, n.9, p.669-674, 1997.
- SHI, J.X.; MAGUER. M.L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Food Science and Nutrition**, v.40, n.1, p.1-42, 2000.
- SICHERI, R. et al. Recomendações de alimentação e nutrição saudável para a população brasileira. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v.44, n.3, p.227-232, 2000.

SOUSA, A.A. et al. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em cada de vegetação. **Agro Ambiente**, v.5, n.2, p.113-118, 2011.

SPIES, W.E.L.; WOLF, W.R. The results of the cost 90 project on water activity. In: **PHYSICAL PROPERTIES OF FOODS**, 1983, New York, **Anais...** New York: Applied Science Publishers, p.65-97, 1983.

STEVENS, R. et al. Technique for rapid, small-scale analysis of Vitamin C levels in fruit and application to a tomato mutant collection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.6159-6165, 2006.

TSOTSAS, E.; MUJUMDAR, A. S. **Modern drying technology - volume 3: product quality and formulation**. 1. ed. New York: Wiley, 2011.

TRIPATHI, R. N.; NATHI, N. Effect of starch dipping on quality of dehydrated tomato slices. **Journal of Food Science and Technology**, v.26, n.3, p.137-149, 1989.

XANTHOPOULOS, G.; YANNIOTIS, S.; TALAIPOROU, E. Influence of salting on drying kinetics and water diffusivity of tomato halves. **International Journal of Food Properties**, v.15, n.4, p.847-863, 2012.

XANTHOPOULOS, G.; YANNIOTIS, S.; BOUDOUVIS, A.G. Numerical simulation of variable water diffusivity during drying of peeled and unpeeled tomato. **Journal of Food Science**, v.77, n.10, p.287-296, 2012.

WONGSA-NGASRI, P.; SASTRY, S.K. Effect of ohmic heating on tomato peeling. **LWT-Food Science and Technology**, v.61, p.269-274, 2015.

ZANONI, B. et al. Oxidative heat damage o tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v.31, n.5, p.395-401, 1999.

ZAPATA, L.M. et al. Estudio de los componentes antioxidantes y actiovidad antioxidante em tomates. **Ciencia, Docencia y Tecnología** n.35, p.173-193, 2007.

APÊNDICE A – Dados de secagem de minitomate *Sweet Grape* seco a 70 °C e velocidade do ar de secagem de 0,7

Tabela A.1 – Dados da secagem de minitomates com pele secos a 70°C e $v = 0,7$ m/s

Tempo (h)	Massa (g)	X_R	Base seca	Base úmida
0	17,584	1,000	0,00%	0,00%
1	16,762	0,949	4,90%	4,67%
2	15,686	0,881	12,10%	10,80%
3	14,852	0,829	18,39%	15,54%
4	13,894	0,770	26,56%	20,98%
5	13,152	0,723	33,70%	25,20%
6	12,366	0,674	42,20%	29,67%
7	11,667	0,631	50,72%	33,65%
8	10,960	0,586	60,45%	37,67%
9	10,408	0,552	68,96%	40,81%
10	9,789	0,513	79,64%	44,33%
11	9,265	0,480	89,80%	47,31%
12	8,689	0,445	102,38%	50,59%
13	8,088	0,407	117,41%	54,00%
14	7,506	0,371	134,28%	57,32%
15	6,962	0,337	152,59%	60,41%
16	6,482	0,307	171,30%	63,14%
17	5,938	0,273	196,15%	66,23%
18	5,473	0,244	221,32%	68,88%
19	4,926	0,210	256,96%	71,99%
20	4,496	0,183	291,15%	74,43%
21	4,047	0,155	334,49%	76,98%
22	3,601	0,127	388,31%	79,52%
23	3,266	0,106	438,48%	81,43%
24	2,909	0,084	504,47%	83,46%
25	2,577	0,063	582,48%	85,35%
26	2,321	0,047	657,60%	86,80%
27	2,092	0,033	740,54%	88,10%
28	1,892	0,020	829,39%	89,24%
29	1,715	0,009	925,31%	90,25%
30	1,657	0,005	961,52%	90,58%
31	1,608	0,002	993,87%	90,86%
32	1,570	0,000	1020,00%	91,07%

Tabela A.2 – Dados da secagem de minitomates tratados secos a 70°C e $v = 0,7$ m/s

Tempo (h)	Massa (g)	X_R	Base Seca	Base úmida
0	19,505	1,000	0,00%	0,00%
1	17,279	0,871	12,88%	11,41%
2	15,172	0,748	28,56%	22,21%
3	13,463	0,649	44,88%	30,98%
4	11,957	0,562	63,13%	38,70%
5	10,536	0,479	85,13%	45,98%
6	9,315	0,408	109,39%	52,24%
7	8,181	0,343	138,42%	58,06%
8	7,159	0,283	172,45%	63,30%
9	6,322	0,235	208,53%	67,59%
10	5,478	0,186	256,06%	71,91%
11	4,832	0,148	303,66%	75,23%
12	4,222	0,113	361,98%	78,35%
13	3,704	0,083	426,59%	81,01%
14	3,275	0,058	495,57%	83,21%
15	2,908	0,037	570,74%	85,09%
16	2,647	0,021	636,87%	86,43%
17	2,453	0,010	695,15%	87,42%
18	2,362	0,005	725,70%	87,89%
19	2,291	0,001	751,50%	88,26%
20	2,279	0,000	755,97%	88,32%

Tabela A.3 – Dados da secagem de minitomates sem pele secos a 70°C e $v = 0,7$ m/s

Tempo (h)	Massa (g)	X_R	Base Seca	Base úmida
0	22,265	1,000	0,00%	0,00%
1	12,640	0,515	76,15%	43,23%
2	8,596	0,311	159,02%	61,39%
3	6,164	0,188	261,20%	72,31%
4	4,348	0,971	412,11%	80,47%
5	3,241	0,414	586,94%	85,44%
6	2,796	0,189	696,29%	87,44%
7	2,552	0,664	772,49%	88,54%
8	2,473	0,268	800,16%	88,89%
9	2,436	0,077	814,17%	89,06%
10	2,420	0,000	819,96%	89,13%

APÊNDICE B – Fluxo mássico inicial de minitomates Sweet Grape submetidos à secagem com ar a 55 °C e 85 °C

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates com pele, secos a 55 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

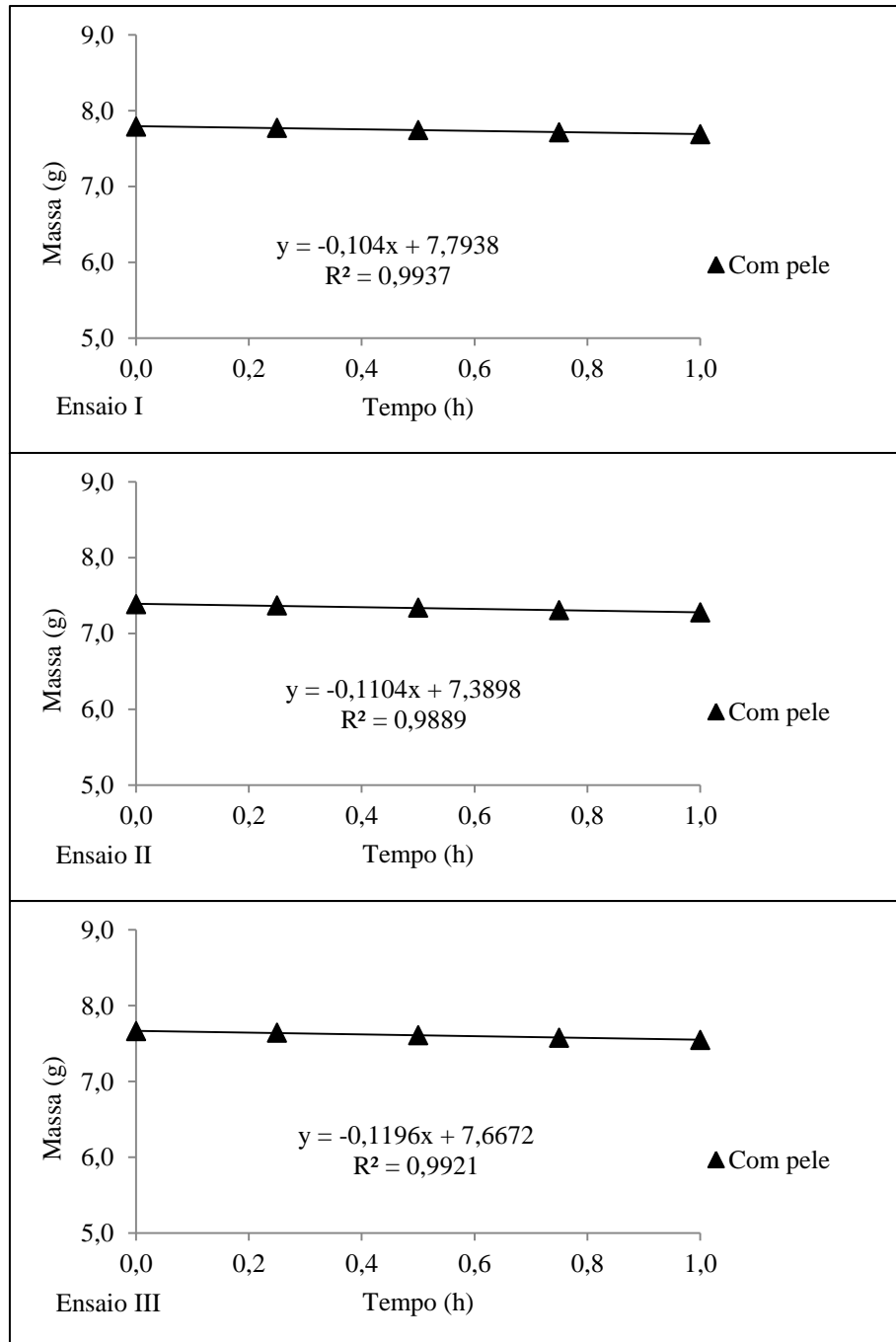


Figura B.1 – Cinética inicial de secagem de minitomates com pele, $T_{ar} = 55\text{ °C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta de ajuste linear.

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates tratados abrasivamente, secos a 55 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

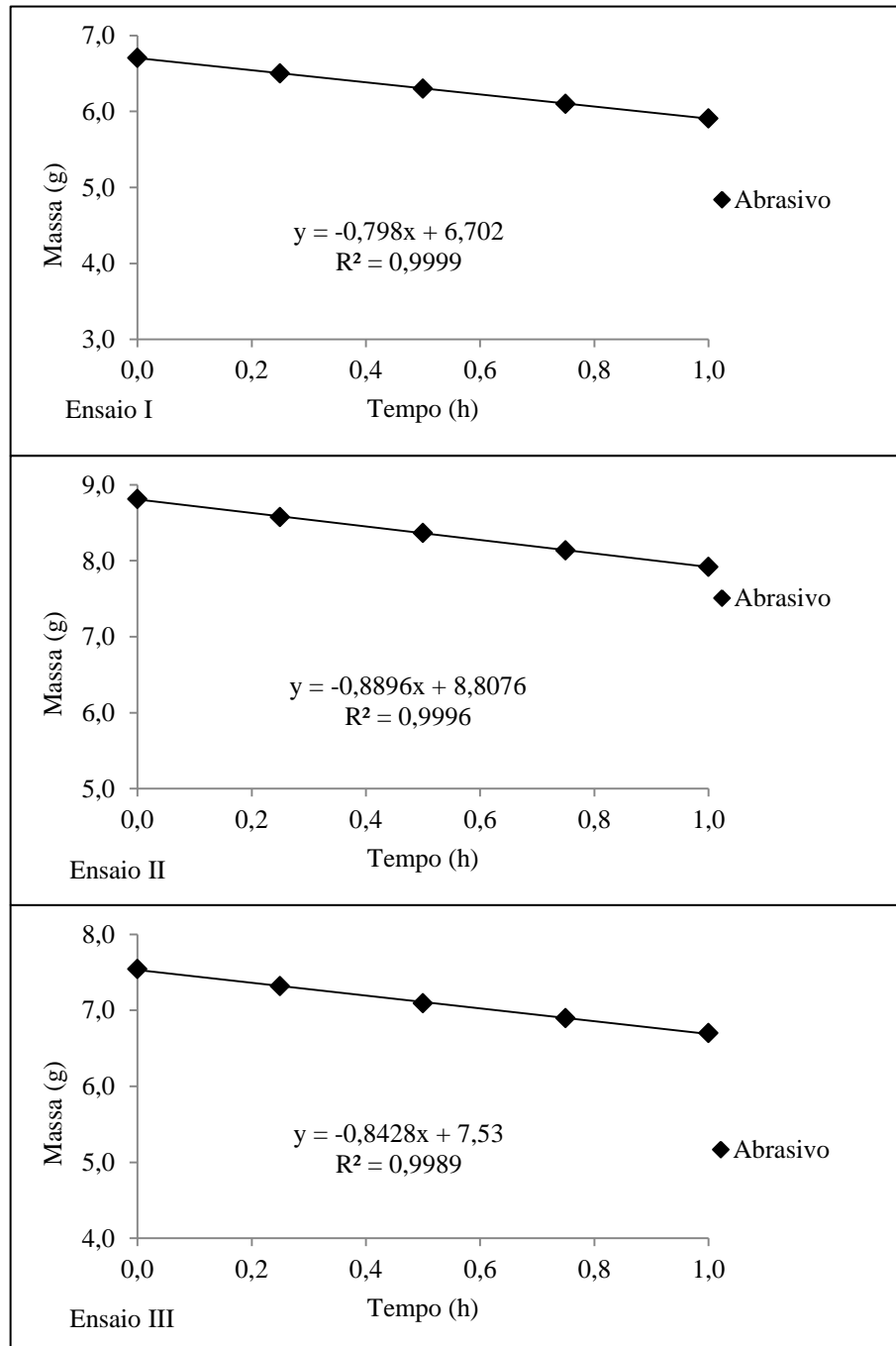


Figura B.2 – Cinética inicial de secagem de minitomates tratados, $T_{ar} = 55$ °C, $v_{ar} = 2,8$ m/s e a reta de ajuste linear.

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates sem pele, secos a 55 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

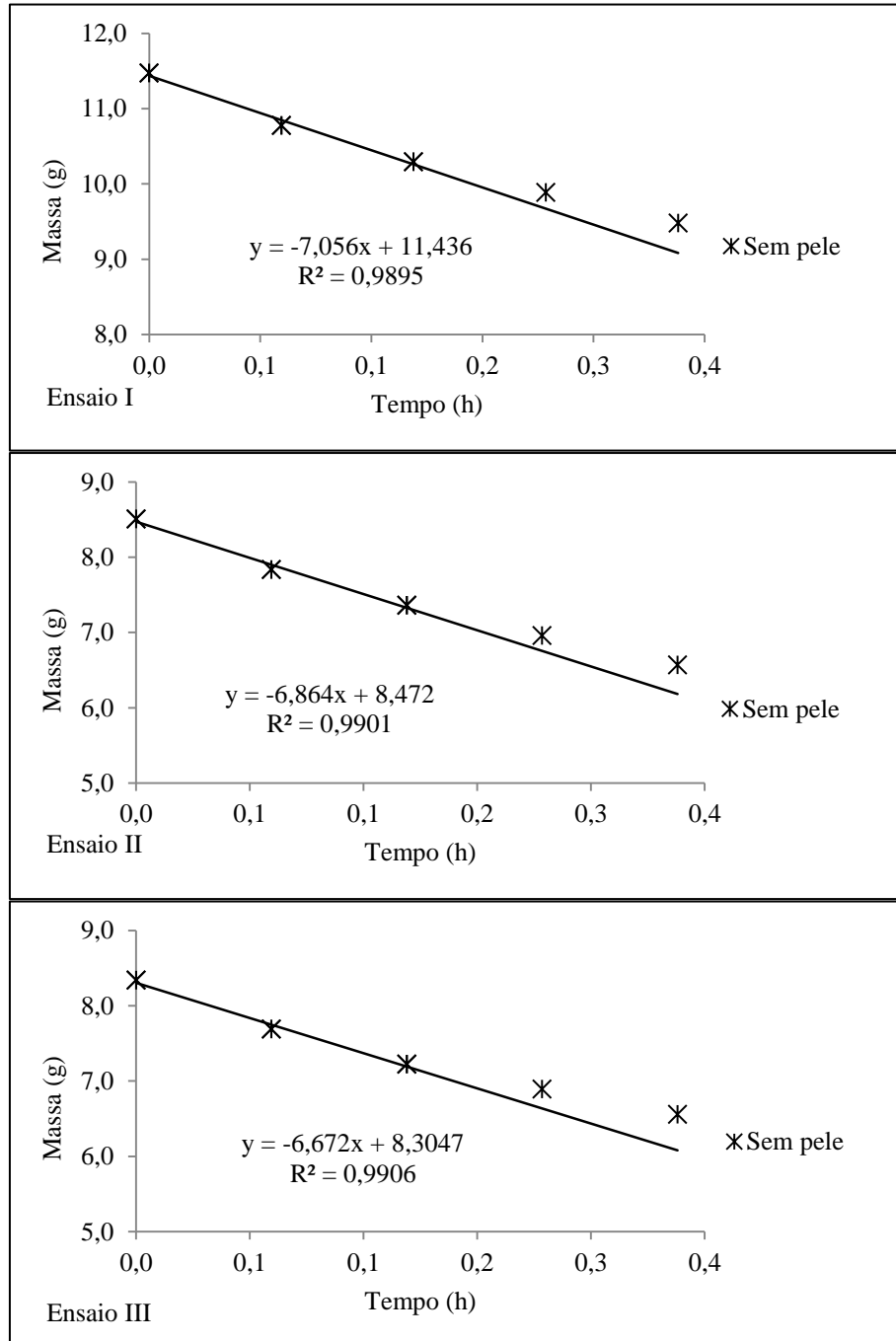


Figura B.3 – Cinética inicial de secagem de minitomates sem pele, $T_{ar} = 55\text{ °C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta de ajuste linear.

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates com pele, secos a 85 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

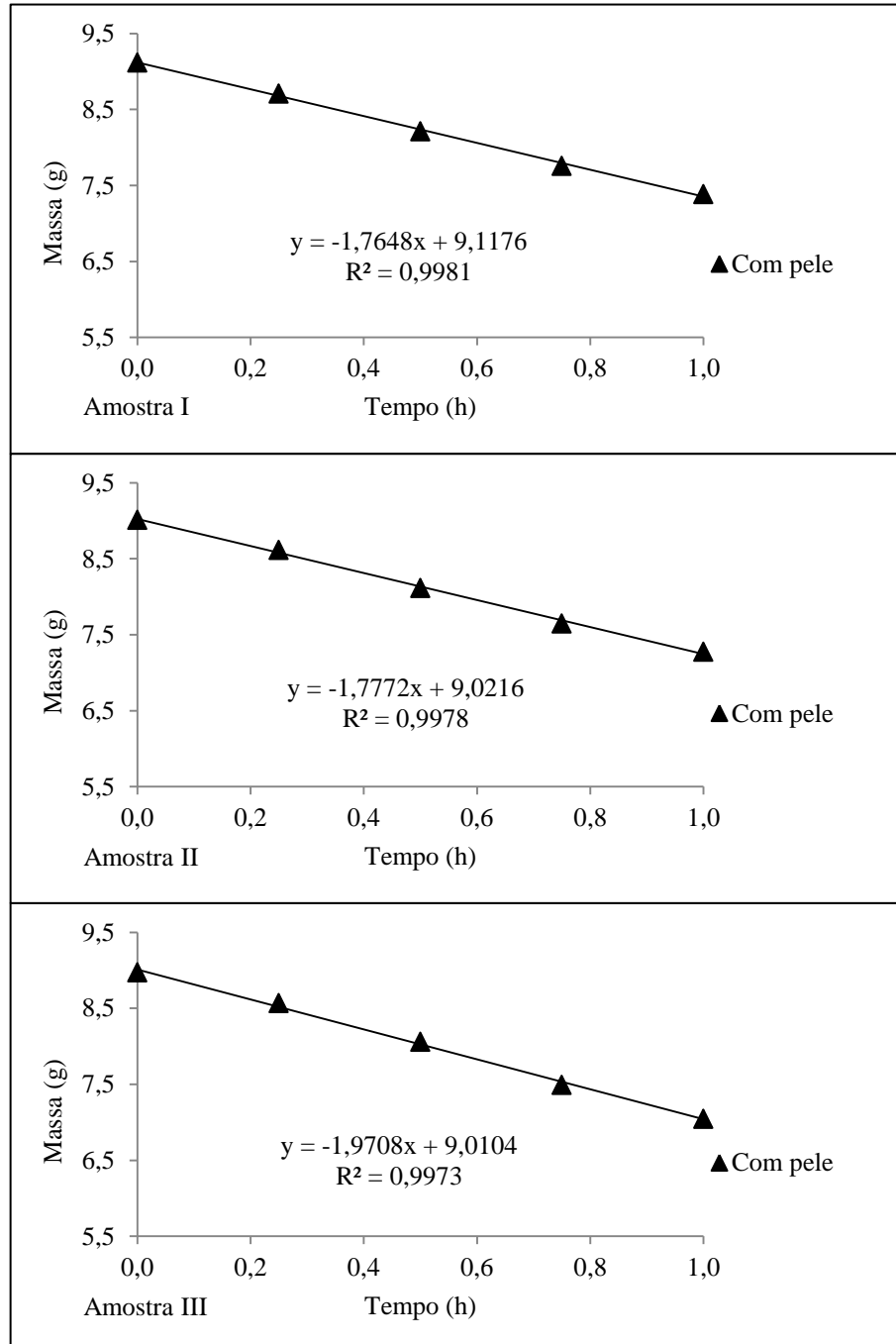


Figura B.4 – Cinética inicial de secagem de minitomates com pele, $T_{ar} = 85\text{ °C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta de ajuste linear.

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates tratados abrasivamente, secos a 85 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

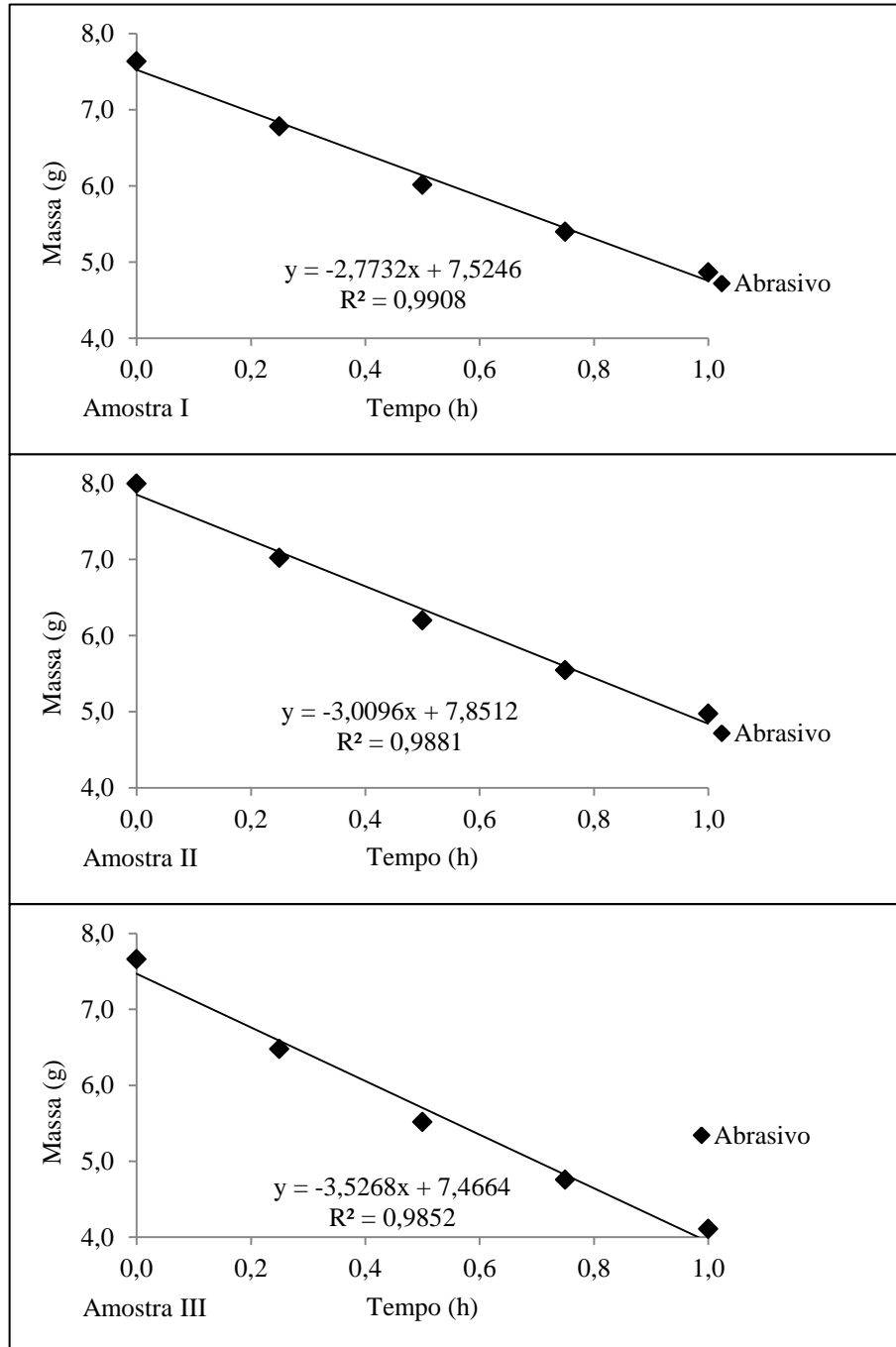


Figura B.5 – Cinética inicial de secagem de minitomates tratado, $T_{ar} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{ar} = 2,8 \text{ m/s}$ e a reta de ajuste linear.

Fluxo inicial da secagem de três amostras de tomates sem pele, secos a 85 °C e velocidade do ar de secagem de 2,8 m/s.

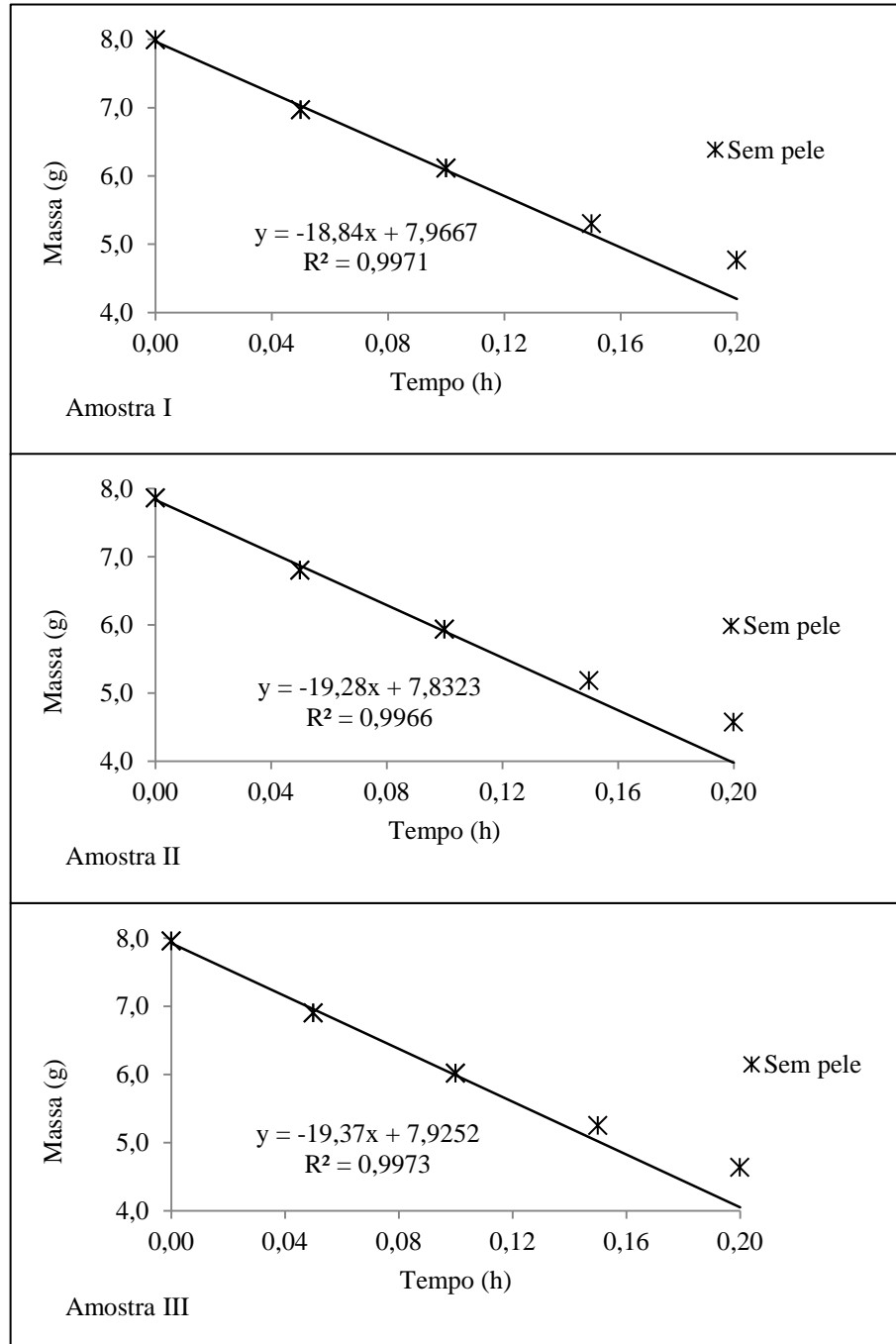


Figura B.6 – Cinética inicial de secagem de minitomates sem pele, $T_{ar} = 85\text{ °C}$, $v_{ar} = 2,8\text{ m/s}$ e a reta de ajuste linear.