



RONALDO ELIAS DE MELLO JÚNIOR

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FIGO (*Ficus carica L.*) VERDE CULTIVADO NO SUDOESTE DE MINAS GERAIS

LAVRAS - MG

2016

RONALDO ELIAS DE MELLO JÚNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FIGO (*Ficus carica L.*) VERDE
CULTIVADO NO SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

LAVRAS – MG

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mello Júnior, Ronaldo Elias de.

Desidratação osmótica de figo (*Ficus carica L.*) verde cultivado
no sudoeste de Minas Gerais / Ronaldo Elias de Mello Júnior. –
Lavras : UFLA, 2016.

96 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Figo (*Ficus carica L.*). 2. Desidratação osmótica. 3.
Modelagem matemática. 4. Cinética de desidratação osmótica. 5.
Superfície de respostas. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

RONALDO ELIAS DE MELLO JÚNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FIGO (*Ficus carica L.*) VERDE
CULTIVADO NO SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2016.

Dr. Jaime Vilela Resende	UFLA
Dr. Maurício Henriques Louzada Silva	IF Sudeste MG
Dra. Vanessa Riani Olmi Silva	IF Sudeste MG

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Orientador

LAVRAS – MG

2016

A minha família e a todos que abraçaram e contribuíram para a construção dos meus sonhos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Ao professor-orientador e amigo, Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa, por todo seu profissionalismo, pelos ensinamentos científicos e principalmente humanos, transmitidos ao longo dessa jornada e, sobretudo pela paciência e confiança.

À banca examinadora, Dr. Jaime Vilela de Resende, Dr. Maurício Henriques Louzada Silva e Dra. Vanessa Riani Olmi Silva pela grandiosa troca de conhecimentos e sugestões.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos e ao Departamento de Ciência dos Alimentos por toda a estrutura fornecida para que o trabalho fosse realizado.

Aos funcionários do DCA, Tina, Cleuza, Paulo, Adriana, Suliani, Ana Elisa, Aline e a todos os demais por toda a ajuda e acima de tudo por tornarem os dias de trabalho mais leves e prazerosos.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Alimentos, Francemir, Kamilla, João Renato, Amanda, Kênia, Andreza e Letícia por todos os momentos de convivência, amizade e parceria.

Ao Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas e em especial ao amigo Guilherme Alves.

Às demais amigadas construídas ao longo dessa jornada, Renata, Michele, Nathane, Daniela, Heloísa, Marília, Mariana, Sérgio, Hugo, Júlia e Tainá.

Aos companheiros de república, Fabrício, Éder e Victor, pelos momentos de união e descontração. Extenso meus agradecimentos a Paulo e Lucas.

Aos amigos da 4ª Turma de Ciência de Tecnologia de Alimentos (IF Rio Pomba) e aos amigos de Ubá.

Aos meus pais que sonham, constroem e comemoram cada vitória em minha vida. Pelo amor, dedicação e carinho a mim concedidos.

À minha irmã Jordane por toda a alegria que transmite de onde tirei forças para concluir a jornada. Pelo apoio incondicional e pelo amor.

Ao meu irmão Jardel e sua família, Andressa e Pillar, pelo amor e carinho, toda a ajuda concedida durante a minha caminhada e risadas.

A todos os meus familiares, em especial aos meus avós e padrinhos (Vó Lozi e Vô Vadinho) e às tias Anigerlara e Alexsandra pelo carinho, apoio e pela torcida.

Á Gabriela por ser mais do que uma amiga. Pelo apoio nos momentos difíceis, pela torcida nos momentos de desafio, pelas alegrias diárias, carinho e amor dedicado a mim.

À Gisele por todo o apoio concedido desde o início, pelo carinho e amor que foram incondicionais e vitais fortalecendo-me durante a caminhada. Estendo os meus agradecimentos aos seus pais, Gilmar e Ângela.

A CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido.

À Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Agrário de São Sebastião do Paraíso (MG) e aos produtores de figo, em especial ao Senhor Marco Aurélio Alves de Paula (Assessor de Programas Agropecuários) e à Tozzi Alimentos® pela parceria.

A todos que de uma maneira especial participaram desta conquista.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.”

Esopo

RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi o estudo da desidratação osmótica de figos verdes cortados transversalmente, utilizando-se sacarose com e sem emprego de pulso de vácuo. Inicialmente, foram obtidas curvas de cinética de desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) de figos em soluções de sacarose em concentrações de 40, 50 e 60 °Brix à temperatura de 40°C com aplicação de pulso de vácuo (74 mm Hg) durante os primeiros 5 minutos, em tempo total de 240 minutos. Testou-se o ajuste dos modelos de Azuara e Peleg. Observaram-se maiores perdas de água e ganho de sólidos e menores valores de atividade de água do fruto com o aumento da concentração. Os modelos testados apresentaram bons ajustes, sendo que o de Azuara conduziu a valores mais próximos aos reais. Em uma segunda etapa, a PVOD foi estudada segundo um delineamento central composto rotacional (DCCR). Foi montado um fatorial completo 2^3 , com 6 pontos axiais e 4 pontos centrais, perfazendo 18 experimentos. Os fatores investigados foram à temperatura (31,6 a 48,4 °C), a concentração da solução desidratante (46,59 a 63,41°Brix) e o tempo de pulso de vácuo (0 a 40 minutos). A análise de variância avaliou a influência da temperatura na redução do teor de umidade e no aumento do teor de sólido solúvel das amostras osmoticamente desidratadas. Visando encontrar as condições operacionais capazes de fornecer menores teores de umidade e maiores de sólidos solúveis, a faixa de temperatura de 35°C com uma concentração de 60°Brix com aplicação de pulso de vácuo durante 32 min mostraram-se capaz de atender aos requisitos, fornecendo frutos com teor de umidade de 72,83% (b.u.) e teor de sólidos solúveis de 18,61°Brix.

Palavras - Chaves: Alimento desidratado, desidratação osmótica com pulso de vácuo, cinética.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this work was the study of osmotic dehydration of green figs cuted crosswise, using sucrose with and without vacuum pulse. Figs, in sucrose solutions at concentrations of 40, 50 and 60 ° Brix at 40 ° C, with vacuum pulse application (74 mm Hg) during the first 5 minutes in total time of 240 minutes, initially, obtained osmotic dehydration kinetic curves with pulsed vacuum (PVOD). It was tested the fit of models Azuara and Peleg. It were observed higher losses of water and solids gain and smaller fruit water activity values with increasing concentration. The tested models showed good fits, and the Azuara led to closer to actual values. In a second step, the PVOD were studied according to a central composite rotational design (CCRD). Was set up a full factorial 2^3 with 6 axial points and four central points, making 18 experiments. The factors investigated were the temperature (31.6 to 48.4 ° C), the concentration of the dehydrating solution (46.59 to 63,41°Brix) and vacuum pulse time (0 to 40 minutes). The variance analysis evaluated the influence of temperature on the reduction of the moisture content and in increasing the soluble solid content of osmotically dehydrated samples. In order to find the operating conditions capable of providing lower moisture and higher soluble solids, temperature range from 35 ° C with a concentration of 60 ° Brix by vacuum pulse application during 32 min proved capable of meeting the requirements, providing fruit with a moisture content of 72.83% (wb) and soluble solids content of 18.61 ° Brix.

Key - words: dehydrated food, osmotic dehydration with vacuum pulse, kinetics.

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 Desempenho nacional de produção de figo em 2013.....	20
Tabela 2 Composição in natura de figos (<i>Ficus carica L.</i>).....	22

SEGUNDA PARTE

Tabela 1 Valores médios dos componentes do figo <i>in natura</i>	53
Tabela 2 Parâmetros físico-químicos dos frutos <i>in natura</i>	54
Tabela 3 Parâmetros cinéticos de transferência de massa para PA e GS utilizando o modelo de Peleg e Azuara.....	58

TERCEIRA PARTE

Tabela 1 Matriz do planejamento experimental fatorial 2^3	76
Tabela 2 Composição centesimal dos figos <i>in natura</i>	77
Tabela 3 Valores reais e codificados das variáveis.....	80
Tabela 4 Estimativa dos p-valores (p) e dos efeitos estimados para Y_1 e Y_2	82
Tabela 5 Análise de variância (ANOVA) para as variáveis respostas.....	84

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico26
Figura 2 Representação do efeito da aplicação de pulso de vácuo na DO.....31

SEGUNDA PARTE

- Figura 1 Representação do corte dos figos47
Figura 2 Detalhamento do equipamento49
Figura 3 Cinética de perda de água de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações55
Figura 4 Cinética de ganho de sólidos de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações56
Figura 5 Cinética de PA de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações ajustada pelo modelo de Azuara60
Figura 6 Cinética de GS de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações ajustada pelo modelo de Azuara61
Figura 7 Cinética de a_w de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações62

TERCEIRA PARTE

- Figura 1 Figos branqueados e cortados.....72
Figura 2 Figos *in natura* utilizados nos experimentos82
Figura 3 Probabilidade normal dos resíduos para a variável Y_1 84

Figura 4 Probabilidade normal dos resíduos para a variável Y_2	85
Figura 5 Superfície de resposta para Teor de umidade em solução de sacarose, em termos de Concentração e Temperatura.....	86
Figura 6 Superfície de resposta para Teor de sólidos solúveis em solução de sacarose, em termos de Concentração e Temperatura	88

LISTA DE SIGLAS

DO	Desidratação osmótica
PVOD	Pulsed vacuum osmotic dehydration
FAO	Food and Agriculture Organization
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
PA	Perda de água
GS	Ganho de sólidos
Calc	Calculado
Tab	Tabelado
MHD	Mecanismo Hidrodinâmico

LISTA DE SÍMBOLOS

Mg	Miligramas
g	Gramas
X^w_0	Teor de umidade inicial (g água/100g de amostra)
X^w_f	Teor de umidade final (g água/100g de amostra)
X^{ST}_0	Teor de sólidos inicial (g sólidos/100g amostra)
X^{ST}_f	Teor de sólidos final (g sólidos/100g amostra)
M^0_0	Peso inicial da amostra (g)
M^0_f	Peso final da amostra (g)
S_1^t	Constante de Azuara
PA_{eq}	Perda de água no equilíbrio
GS_{eq}	Ganho de sólidos no equilíbrio
$k_1; k_2$	Constantes de Peleg
a_w	Atividade de água
D_{eff}	Difusividade efetiva
°Brix	Graus Brix

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	18
1 INTRODUÇÃO GERAL	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Figo (<i>Ficus carica L.</i>)	21
2.2 Desidratação osmótica (DO)	24
2.2.1 Variáveis do processo	27
2.3 Desidratação osmótica com pulso de vácuo	30
2.4 Modelos matemáticos	32
2.4.1 Modelo de Azuara	33
2.4.2 Modelo de Peleg	34
REFERÊNCIAS	37
SEGUNDA PARTE	43
ARTIGO 1	43
1 Introdução	45
2 Material e métodos	46
2.1 Matéria prima	46
2.2 Preparo da matéria prima	46
2.3 Caracterização da matéria prima	47
2.4 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)	48
2.5 Modelos de cinética de PVOD	51
3 Resultados e discussão	53
Caracterização dos figos <i>in natura</i>	53
Cinética de PVOD	55
4 Conclusão	63
Agradecimentos	64

Referências	65
TERCEIRA PARTE	68
ARTIGO 2	68
1 Introdução	70
2 Material e métodos	71
2.1 Matéria prima	71
2.2 Preparo da matéria prima	71
2.3 Caracterização das amostras	72
2.4 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) de figos verdes cortados transversalmente	73
3 Resultados e discussão	77
4 Conclusão	89
Referências	91
CONCLUSÃO GERAL	96

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os países de clima tropical, dentre eles, o Brasil, destacam-se pela grande produção de frutas de diversas variedades. Em contrapartida, as frutas nem sempre chegam com qualidade à mesa dos consumidores, pois, são matrizes naturalmente perecíveis. Além disso, as técnicas incorretas de colheita e de pós-colheita são os principais responsáveis pelo aumento da perda, gerando um desperdício significativo de toda produção frutífera.

O desperdício de alimentos gerado pelo atual modelo de desenvolvimento agrícola brasileiro é um desafio a ser resolvido devido ao fato de que aproximadamente 30% dos alimentos produzidos vão para o lixo, e se imaginarmos que para um produtor ou um empregado esse índice poderia melhorar sua qualidade de vida, vale a pena investir para reduzir essas perdas.

Vários estudos têm sido conduzidos para aumentar a vida de prateleira de produtos perecíveis. A secagem destaca-se como um método eficiente de conservação e a partir de sua aplicação torna-se possível a obtenção de alimentos menos susceptíveis à contaminação microbiológica por meio da redução do teor de umidade e da atividade de água (a_w). Tal redução minimiza os gastos com transporte, embalagem e armazenamento, devido à redução considerável do volume dos alimentos.

Embora o consumo de frutas frescas seja ainda apreciado por muitas pessoas, o seu processamento é uma forma de atender outros

grupos de consumidores devido principalmente à praticidade e qualidade. Além disso, a secagem é capaz de agregar valor ao produto.

A desidratação osmótica (DO), atuando como pré-tratamento à secagem de alimentos, vem sendo alvo de pesquisas importantes. Permite a redução do teor de umidade, e de a_w , mesmo que de forma reduzida.

O processo de secagem pode ter o binômio tempo/temperatura reduzido, quando precedido da DO, minimizando as perdas de compostos importantes, presentes nos alimentos. As vantagens do uso do tratamento osmótico podem ser ampliadas quando aplicado pulso de vácuo no início do processo.

O figo (*Ficus carica L.*) é uma fruta de destaque nos países do mediterrâneo. O Egito e principalmente a Turquia aparecem liderando os *rankings* de produção mundial. No entanto, a produção de figo não é uma exclusividade desses países. O Brasil apreça como o maior produtor do fruto no continente americano, destacando os estados de São Paulo e Minas Gerais. No estado de São Paulo, a produção se concentra no município de Valinhos. Em Minas Gerais, a região Sul/Sudoeste merece maior ênfase, principalmente os municípios de São Sebastião do Paraíso, Brazópolis e Santa Rita de Caldas. Importante notar que o figo seco consumido no Brasil é em sua grande maioria importado dos países orientais. O figo produzido em São Paulo é vendido *in natura* e o de Minas Gerais, verde cozido.

Os dados da produção nacional de figo encontram-se descrita na Tabela 1 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013).

Tabela 1 Desempenho nacional de produção de figo em 2013

Regiões e Estados	Área (ha)		Quantidade produzida [t]	Rendimento médio [kg/ha]	Valor x 1.000 [R\$]
	Destinada à colheita	Colhida			
Brasil	2814	2814	28253	10040	64427
Sudeste	1088	1088	16595	15253	43696
MG	513	513	5851	11405	12663
RJ	1	1	7	7000	21
SP	574	574	10737	18706	31012
Sul	1716	1716	11648	6788	20716
PR	142	142	1092	7690	3093
SC	44	44	339	7705	795
RS	1530	1530	10271	678	16828
Centro-Oeste	10	10	10	1000	15
GO	10	10	10	1000	1000

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013).

As qualidades sensoriais e nutricionais do figo favorecem sua comercialização, desde sua forma fresca (*in natura*), até as diversas variações de processamento. Devido à alta perecibilidade do figo, assim como de tantos outros vegetais, a técnica de secagem, acompanhada do pré-tratamento osmótico torna-se altamente importante no processamento de figo, com o objetivo de aumentar a vida de prateleira dos frutos e proporcionar ao mercado interno e externo, outra opção de produto de origem brasileira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os conhecimentos das propriedades do fruto e das etapas do processo de otimização da desidratação osmótica e secagem convectiva faz com que a revisão de literatura se torne indispensável.

2.1 Figo (*Ficus carica L.*)

O figo, erroneamente conhecido como fruto, é, na verdade, um receptáculo carnoso de casca fina e macia em cujo interior se encontram os verdadeiros frutos, as sementes e os restos das flores das figueiras, sendo todo o conjunto comestível (FLAISHMAN; RODOV; STOVER, 2008). É, provavelmente, originário da Ásia Oriental e ganhou a região mediterrânea, sendo cultivado atualmente em diversos países (DOYMAZ, 2005).

Os figos apresentam tamanhos distintos e formas variadas (oval ou de base achatada, com largura maior do que altura), dependendo de sua variedade. Podem apresentar casca e polpa de coloração pálida, verde ou roxa (ARREOLA; ROSAS, 2007).

Os figos têm uma grande importância na nutrição, por ser fonte de carboidratos e vitaminas A, B1, B2 e C, além disso, contêm aminoácidos essenciais (entre eles o ácido aspártico e a glutamina são encontrados em maiores concentrações) e sais minerais (DOYMAZ, 2005; LIANJU et al., 2003). A Tabela 2 traz a composição centesimal do vegetal *in natura* (TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2011).

Tabela 2 Composição *in natura* de figos (*Ficus carica L.*)

Componentes	Quantidade [g/100g]
Umidade	88,200
Proteínas	1,000
Lipídeos	0,200
Carboidratos	10,200
Fibra alimentar	1,800
Cinzas	0,400
Tiamina	$0,50 \times 10^{-4}$
Vitamina C	$0,80 \times 10^{-3}$
Niacina, riboflavina e piridoxina	Traços

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011).

A figueira (*Ficus carica L.*) é uma das mais antigas frutíferas cultivadas no mundo. Apresenta excelente adaptação a diferentes climas e é cultivada tanto em regiões subtropicais quentes, como em regiões de clima temperado (DALASTRA et al., 2009).

Em todo o mundo o cultivo de figo aparece como uma cultura importante e bastante abrangente, estando presente na dieta mediterrânea, na forma fresca e seca. Além disso, é vastamente utilizado na culinária mundial (VIUDA-MARTOS et al., 2015).

Em relação à produção mundial de figo, os países do mediterrâneo (Turquia e Egito) aparecem como os maiores produtores. Segundo a *Food Agriculture Organization of the United Nations*, a Turquia lidera o *rankig* mundial, com cerca de 274500 toneladas, seguido pelo Egito com pouco mais de 171000 toneladas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2012). No que diz respeito à exportação de figos em sua forma fresca (*in natura*) o Brasil exportou 144,58 toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS, 2010).

No Brasil existem mais de 25 variedades de figueira, das quais a única cultivada comercialmente era o ‘Roxo de Valinhos’ (MEDEIROS, 2002). No entanto, atualmente deve existir um maior número de variedades, trazida por muitas pessoas da Europa e Estados Unidos. Essas variedades encontram-se em algumas propriedades agrícolas e quintais (MAIORANO, 2010).

Em Minas Gerais, o cultivo de figueira concentra-se na região sul do estado, destacando-se pela produção, os municípios de São Sebastião do Paraíso, Brazópolis e Santa Rita de Caldas. Há um

predomínio no estado para a produção de figos verdes para a indústria, com grande produção de figos em calda e cristalizados (MAIORANO, 2010). A industrialização do fruto produz uma variedade de produtos, agregando maior valor econômico ao mesmo e permitindo ao consumidor encontrar produto rico em nutrientes e compostos bioativos (VIUDA-MARTOS et al., 2015).

Os figos frescos são muito sensíveis à contaminação microbiológica, mesmo em condições a armazenagem a frio; assim, devem ser preservadas de algum modo. O fruto geralmente é consumido fresco ou em formas secas, enlatados e em conserva. Vários países importam figos ou pasta de figo seco (DOYMAZ, 2005). Trata-se de uma fruta sensorialmente atrativa e nutritiva com propriedades medicinais que podem reduzir os riscos de câncer e de doenças cardíacas. Figos frescos e secos são especialmente ricos em polifenóis, antioxidantes, fibras, minerais, proteínas, açúcares e ácidos orgânicos (OUCHEMOUKH et al. 2012).

2.2 Desidratação osmótica (DO)

A DO consiste na introdução de um alimento em uma solução hipertônica de açúcares, sais ou álcoois (SRITONGTAE; MAHAWANICH; DUANGMAL, 2011; MENDES et al., 2013). Uma diferença de potencial químico entre o alimento e a solução resulta em uma diferença de pressão osmótica entre as fases com a retirada parcial da água através das membranas semipermeáveis do produto e a

incorporação de solutos oriundos da solução osmótica pelo alimento (LENART; PIOTROWSKI, 2001).

Trata-se de um dos pré-tratamentos mais empregados em processos de secagem, para reduzir a atividade de água dos alimentos (FITO, 1994; MARTIN; WASZCZYNSKYJ; MASSON, 2007; FALADE; SHOGAOLU, 2010; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; FANTE et al., 2011; RUIZ-LÓPES et al., 2011).

São criados dois fluxos simultâneos em contracorrente, causado pela diferença de concentração entre o agente que compõe a solução osmótica e o alimento, através das paredes celulares: um da água que sai da fruta para a solução (o mais importante do ponto de vista da desidratação) e outro de soluto (sal ou açúcar) da solução para a fruta (MORENO; SIMPSON; BAEZA, 2012). Além desses, é importante ressaltar que existe ainda um terceiro fluxo de lixiviação de alguns solutos naturais (açúcares, ácidos, minerais, entre outros nutrientes) que migram do produto para a solução osmótica, mesmo que seja pouco significativa, pode causar perdas na qualidade sensorial (cor, aroma e textura) e nutricional do produto (NAHIMANA; ZHANG; MUJUMDAR, 2011).

A Figura 1 representa os fluxos simultâneos decorrentes do processo de DO.

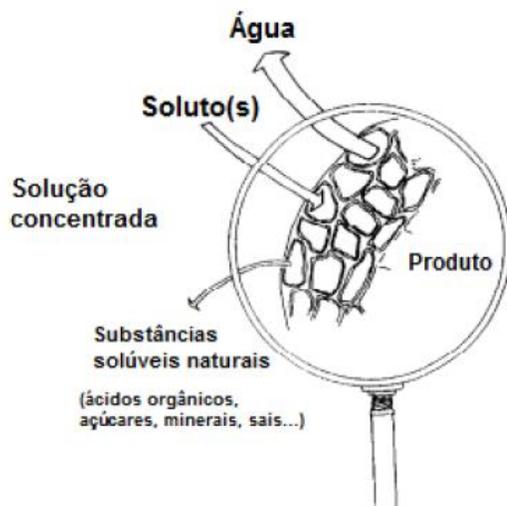


Figura 1 Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico

Fonte: (TORREGGIANI, 1993).

A desidratação osmótica tem sido alvo de vários estudos como pré-tratamento de alimentos perecíveis como abacaxi, melão, acerola, goiaba, figo entre outros, como abóbora e tomate (PIGA et al., 2004; FERRARI et al., 2005; FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; LOMBARD et al., 2008; CORRÊA et al., 2010, 2014, 2015). Para obtenção de produtos desidratados estáveis, a desidratação osmótica como pré-tratamento combinada com outros métodos de secagem pode ser muito útil e eficiente, além disso, quando a secagem convectiva é precedida de desidratação osmótica ocorre uma melhoria na qualidade do produto final, uma vez que retarda as reações de escurecimento, minimiza as perdas de coloração e de componentes voláteis aromatizantes, e ainda, pode causar redução na acidez do fruto e

diminuição do colapso estrutural durante a secagem do ar (GARCIA; MAURO; KIMURA, 2007; NAIKWADI et al., 2010).

No processo de desidratação osmótica, a perda de água e de sólidos naturais do alimento e a incorporação de sólidos são responsáveis por modificações nas propriedades viscoelásticas do tecido, devido à plasticidade da estrutura da amostra após o tratamento, sendo que entre as principais alterações decorrentes do processo, está a perda de turgor da célula, alteração na lamela média e na resistência da parede celular, mudanças nas frações de volume de ar e líquido na amostra, variações de tamanho e forma do alimento (CHIRALT et al., 2001; ITO et al., 2007).

2.2.1 Variáveis do processo

Diversos fatores como o tipo do fruto, natureza e concentração da solução osmótica, tempo e temperatura do processo influenciam diretamente na transferência de massa de água e de solutos durante a desidratação osmótica, sendo que o último fator é um dos mais importantes parâmetros da cinética de desidratação osmótica (CAMPOS et al., 2012). De uma forma geral, quanto maior a temperatura do processo, maior será a taxa de transferência de massa (isso se deve principalmente ao aumento da permeabilidade das células), no entanto, temperaturas superiores a 45 °C podem alterar de forma indesejável a cor, sabor, aroma e a estrutura da parede celular do alimento. A temperatura do processo exerce uma influência direta na cinética, assim como, no produto final. O acréscimo na temperatura proporciona maiores taxas de desidratação, devido ao aumento na mobilidade da

água, favorecendo sua remoção e por consequência reduzindo o tempo de processo (TORREGGIANI, 1993; CLEMENTE et al., 2014).

A concentração da solução osmótica e o tipo de soluto empregados influenciam diretamente no processo de DO devido ao gradiente de potencial químico que resulta em um gradiente de pressão osmótica, favorecendo a transferência de massa (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011).

Arballo et al. (2012), destacaram que, de um modo geral, o aumento na concentração pode favorecer a transferência de massa, de tal forma, que xaropes altamente concentrados, próximos a saturação, têm capacidade de aumentar a perda de água e favorecer o ganho de sólidos. Entretanto, com o aumento da concentração da solução osmótica, pode ser formada uma camada de soluto na superfície do produto, impedindo sua entrada na matriz, acarretando em um menor ganho de sólidos (CORRÊA et al., 2010).

Os agentes osmóticos amplamente utilizados são os açúcares e sais, embora muitos estudos apontem o uso de álcoois (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; CHAUAN et al., 2011). Existe uma relação entre o peso molecular desses agentes com o nível de impregnação de sólidos na matriz do alimento, sendo que quanto menor o peso molecular, maior o efeito positivo de impregnação no alimento. Entretanto, o uso desses solutos diminui o gradiente de pressão osmótica entre o alimento e a solução, influenciando negativamente no fluxo de perda de água. Já os solutos com alto peso molecular são bloqueados na superfície do produto, gerando uma desidratação superficial. Tal efeito se deve a difusividade do soluto no alimento, sendo que maiores difusividades do soluto proporcionam maior ganho de sólidos e menor perda de água (CHAUHAN et al., 2011).

Um soluto que apresente alta solubilidade em água, baixo custo e efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e a estabilidade final do produto, pode ser utilizado como agente osmótico, sendo a sacarose uma das melhores soluções osmóticas, principalmente quando o processo é empregado como pré-tratamento à secagem (DIONELLO et al., 2007; SILVA et al., 2013).

A sacarose é um carboidrato de baixo peso molecular, formada por uma unidade de α -D-glicopiranosil e uma unidade de β -D-frutofuranosil unidas “cabeça a cabeça” (extremidade redutora com extremidade redutora, sendo classificada com açúcar não redutor). Como a maioria dos carboidratos de baixo peso molecular, caracteriza-se pela alta capacidade hidrofílica e alta solubilidade, podendo formar soluções altamente concentradas que não necessitam de aditivos antimicrobianos para manter-se em boas condições microbiológicas, sendo que essas características mencionadas conferem, ainda, propriedades umectantes e conservantes (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Portanto, devido aos fatores já mencionados, a sacarose é tida como um ótimo agente osmótico, especialmente quando a desidratação osmótica é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva, por ter a capacidade de prevenir o escurecimento enzimático e a perda de aromas e esta prevenção é devido à presença de uma camada do dissacarídeo, formada na superfície do produto desidratado, que constitui um obstáculo ao contato com o oxigênio, minimizando ou impedindo o escurecimento enzimático, além da influência positiva sobre a manutenção de substâncias aromatizantes do alimento (LENART; PIOTROWSKI, 2001).

No que diz respeito ao tempo de processo, estudos apontam que durante os primeiros 120 minutos ocorrem as maiores perdas de água,

porém, cada processo deve ser estudado com detalhes, pois, as taxas de transferências de massa podem continuar crescente até que seja atingido o equilíbrio (FERRARI et al., 2011; SILVA; FERNANDES; MAURO, 2014).

Tempos muito elevados de exposição do alimento ao processo de desidratação osmótica, pode acarretar em perdas nutricionais e sensoriais (RATTI; KETATA; DESJARDINS, 2013).

2.3 Desidratação osmótica com pulso de vácuo

O processo de desidratação osmótica pode ser realizado à pressão atmosférica (DO) ou com a aplicação de pulsos de vácuo no início do processo e em um período curto (CORRÊA et al., 2010). A desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD – *pulsed vacuum osmotic dehydration*) consiste na aplicação de vácuo no sistema sólido-solução, por um curto período no início do processo, para retirar parte do ar presente no interior dos poros dos alimentos (ITO et al., 2007). Com a recuperação da pressão do sistema, o líquido que se encontra em contato com o alimento atinge o interior dos poros, por causa dos gradientes macroscópicos de pressão e à capilaridade, gerando uma rápida alteração na composição do alimento com consequências nas propriedades físicas e de transporte do tecido do alimento, sendo esse fenômeno conhecido como mecanismo hidrodinâmico (MHD) (FITO, 1994; ITO et al., 2007). A Figura 2 ilustra o efeito do pulso de vácuo durante a desidratação osmótica.

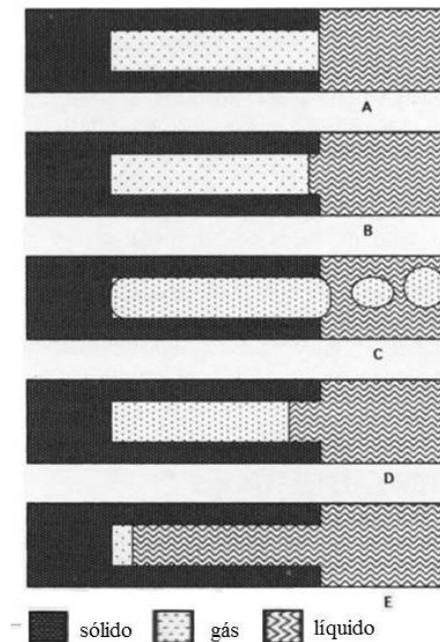


Figura 2 Representação do efeito da aplicação de pulso de vácuo na DO

Fonte: Fito (1994).

No primeiro estágio (A) o sistema encontra-se sob pressão ambiente, tendo início de aplicação do pulso de vácuo no estágio subsequente (B). Os gases oclusos dentro dos poros do alimento são expandidos (C e D). No último estágio (E) a pressão ambiental é reestabelecida no sistema e a solução desidratante penetra no interior dos poros.

Durante a utilização de pulsos de vácuo na desidratação osmótica de alimentos, poderá ocorrer inicialmente um ganho rápido de água e soluto, resultando num aumento da massa total inicial. Após certo período, esse ganho de água e perda de soluto poderá tornar-se mais

lento, praticamente constante, além de alcançar a estabilidade no que se diz à retração (encolhimento), resultante da deformação da matriz sólida devido ao gradiente de pressão imposto pelo sistema (ATARÉS; CHIRALT GONZÁLES-MARTÍNEZ, 2008).

Os trabalhos relacionados à técnica de PVOD indicam melhora no processo de transferência de massa, maior economia quando comparado ao uso de pressão atmosférica ou pressão contínua de vácuo, além de proporcionar tempos mais curtos para a impregnação de solutos (DENG; ZHAO, 2008; CORRÊA et al., 2010; CORRÊA et al., 2014; MENDONÇA et al.; 2015).

2.4 Modelos matemáticos

A modelagem de processos de desidratação é fundamental para a seleção e otimização dos mesmos. Entretanto, as equações de transferência de calor e massa demandam considerável conhecimento de cálculo numérico para sua solução analítica (PARK; YADO; BROD, 2001).

A DO é um processo difusivo com variações de concentração de uma ou mais espécies com relação ao tempo e com relação as coordenadas espaciais, conforme apresentado na Equação 1 para coordenadas cartesianas. Em geral o tratamento é feito nas geometrias em que se considera que a difusão seja preponderante em uma das dimensões. Tal consideração foi assumida por Crank (1975), sendo utilizada em diversos modelos.

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{eff} \frac{\partial m(t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{eff} \frac{\partial m(t)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff} \frac{\partial m(t)}{\partial z} \right) \quad (1)$$

em que: D_{eff} corresponde a difusividade efetiva.

Crank (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Entretanto, essas soluções aplicam-se aos sólidos de formas geométricas simples (esfera, cilindro e placa plana).

2.4.1 Modelo de Azuara

Conforme Azuara et al. (1992), as equações que descrevem a cinética durante o processo de desidratação osmótica são extremamente complexas e geralmente específicas para certas condições do processo e configurações geométricas, além de não predizerem o ponto de equilíbrio do produto. Tais autores encontraram uma equação com condições de predizer a cinética de desidratação osmótica, assim como, determinar o ponto de equilíbrio, sem a necessidade de se chegar, de fato, ao equilíbrio, usando apenas um curto período de processo.

Além disso, o modelo proposto pode ser aplicado para descrever o comportamento de produtos osmoticamente desidratados, sem restrições geométricas.

Partindo-se de um balanço de massa no material desidratado, obtém-se as seguintes equações para perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) em função do tempo (FERRARI et al., 2005).

$$PA = \frac{S_1 t (PA_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (2)$$

$$GS = \frac{S_1 t (GS_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (3)$$

em que: S_1 é uma constante relacionada à perda de água ou ganho de sólido; PA_{eq} corresponde à perda de água no equilíbrio [%]; e GS_{eq} corresponde ao ganho de sólidos no equilíbrio [%].

Os valores da constante S_1 e dos termos PA_{eq} e GS_{eq} podem ser calculados a partir da linearização das equações 2 e 3, obtendo-se as seguintes equações (AZOUBEL; MURR, 2000) :

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{S_1 (PA_{eq})} + \frac{t}{PA_{eq}} \quad (4)$$

$$\frac{t}{GS} = \frac{1}{S_1 (GS_{eq})} + \frac{t}{GS_{eq}} \quad (5)$$

Em busca da predição dos valores de PA e GS no equilíbrio durante a DO, Brandelero et al. (2005); Ferrari et al. (2005); Schmidt; Carciofi; Laurindo (2008) utilizaram o modelo proposto por Azuara et al. (1992).

2.4.2 Modelo de Peleg

Peleg (1993) propôs um modelo empírico na tentativa de simplificar a descrição da absorção da água nos grãos e cereais. O modelo foi introduzido a princípio para descrever a sorção de umidade pelo arroz e leite em pó.

A Equação 5 descreve o modelo empírico e não exponencial.

$$X(t) = X_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (5)$$

em que: X_0 corresponde a umidade inicial; $X(t)$ corresponde a umidade em função do tempo; e k_1 e k_2 correspondem as constantes do modelo.

Para determinar a perda de água e o ganho de sólidos a partir do modelo proposto por Peleg têm-se as seguintes equações (MALDONADO et al., 2008).

$$PA = \frac{t}{\frac{M_0}{100} (k_1 - k_2 t)} \quad (6)$$

$$GS = \frac{t}{\frac{M_0}{100} (k_1 + k_2 t)} \quad (7)$$

onde: PA representa a perda de água; GS representa o ganho de sólidos; e M_0 representa a massa inicial da amostra.

Os trabalhos de Deng; Zhao (2008); Atarés; Chiralt; González-Martínez (2008); Maldonado et al. (2008); Corrêa et al. (2010); Mercali

et al. (2010) utilizaram os modelos de Peleg para D.O de maçã, goiaba, yacon e mirtilo e obtiveram bons ajustes.

Visando comparar os ajustes dos modelos de Azuara et al. (1992) e Peleg (1993) Corzo; Bracho; Rodríguez (2012) encontraram ajustes satisfatórios durante a desidratação osmótica de carne.

REFERÊNCIAS

- ARBALLO, J. R. et al. Mass transfer kinetics and regression-desirability optimisation during osmotic dehydration of pumpkin, kiwi and pear. **International Journal of Food Science & Technology**, Londres, v. 47, n. 2, p. 306–314, 2012.
- ARREOLA, S. I.; ROSAS, M. E. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*Ficus carica*). **Información Tecnológica**, La Serena, v. 18, n. 2, p. 43–48, 2007.
- ATARÉS, L.; CHIRALT, A.; GONZÁLES-MARTÍNEZ, C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (cv. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 89, p. 49–56, 2008.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 228–232, 2000.
- AZUARA, E. et al. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science & Technology**, Londres, v. 27, n. 4, p. 409–418, 1992.
- BRANDELERO, R. P. H. et al. Aplicação de revestimentos comestíveis em abacaxis processados por métodos combinados: isoterma de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 285–290, 2005.
- CAMPOS, C. D. M. et al. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit Slices. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 357–365, 2012.
- CHAUAN, O. P. et al. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. **International Journal of Food Properties**, Filadélfia, v. 14, p. 1037–1048, 2011.
- CHAUHAN, O. P. et al. Effects of Osmotic Agents on Colour, Textural, Structural, Thermal, and Sensory Properties of Apple Slices. **International Journal of Food Properties**, Filadélfia, v. 14, n. 5, p. 1037–1048, 2011.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNES-MONZÓ, J. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes Cryoprotectant effect. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 49, p. 129–135, 2001.

CLEMENTE, G. et al. Influence of temperature, air velocity, and ultrasound application on drying kinetics of grape seeds. **Drying Technology**, Nova York, v. 32, n. 1, p. 68–76, 2014.

CORRÊA, J. L. G. et al. Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 49, p. 2008–2014, 2014.

CORRÊA, J. L. G. et al. Osmotic dehydration of tomato assisted by ultrasound: evaluation of the liquid media on mass transfer and product quality. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 11, n. 4, p. 505–516, 2015.

CORRÊA, J. L. G. et al. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498–504, 2010.

CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRÍGUEZ, J. Comparison of Peleg and Azuara et al. models in the modeling mass transfer during pile salting of goat sheets. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 46, n. 2, p. 448–452, 2012.

DALASTRA, I. M.; PIO, R.; CAMPAGNOLO, M. A. Épocas de poda na produção de figos verdes “Roxo de Valinhos” na região oeste do Paraná. **Rev. Bras. Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 447–453, 2009.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 1, p. 84–93, 2008.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B. D. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 701–709, 2007.

DOYMAZ, I. Sun drying of figs : an experimental study. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 71, p. 403–407, 2005.

FALADE, K. O.; SHOGAOLU, O. T. Effect of Pretreatments on Air-Drying

Pattern and Color of Dried Pumpkin (*Cucurbita Maxima*) Slices. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 33, n. 6, p. 1129–1147, 2010.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 46, p. 1080–1085, 2011.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 41, n. 4, p. 604–610, 2008.

FERRARI, C. C. et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 46, p. 436–443, 2011.

FERRARI, C. C. et al. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 55, n. 19, p. 564–570, 2005.

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 22, n. 1-4, p. 313–328, 1994.

FLAISHMAN, M. A.; RODOV, V.; STOVER, E. The Fig: botany, horticulture, and breeding. In: J. JANICK (Org.); **Horticultural Reviews**. 34. ed. Lovânia: John Wiley e Sons, 2008. p.113–197

GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, p. 284–291, 2007.

ITO, A. P. et al. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 54–63, 2007.

LENART, A.; PIOTROWSKI, D. Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. **Drying Technology**, Nova York, v. 19, n. 5, p. 849–877, 2001.

LIANJU, W. et al. The production and research of fig (*Ficus carica* L.) in China. **Acta Hortic**, Lovânia, v. 605, p. 191–196, 2003.

- LOMBARD, G. E. et al. Osmotic dehydration – a pre-treatment for pineapple drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, p. 2–3, 2008.
- MAIORANO, J. A. A cultura de figo no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA FIGUEIRA, 2, 2010. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- MALDONADO, S. et al. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 251–256, 2008.
- MARTIN, N. S. P. P.; WASZCZYNSKYJ, N.; MASSON, M. L. Cálculo das variáveis na desidratação osmótica de manga cv. Tommy Atkins. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1755–1759, 2007.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 103, n. 1, p. 29–37, 2011.
- MEDEIROS, A. R. M. Figueira (*Ficus carica* L.) do plantio ao processamento caseiro. **Circular Técnica Embrapa**, Pelotas, p. 1–16, 2002.
- MENDES, G. R. L. et al. Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1210–1216, 2013.
- MENDONÇA, K. S. et al. Optimization of osmotic dehydration of yacon slices. **Drying Technology**, Nova York, v. 34, n. 4, p. 386–394, 2015.
- MERCALI, G. D. Estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica de mirtilo. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 91–97, 2010.
- MORENO, J.; SIMPSON, R.; BAEZA, A. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmodehydration kinetics and microstructure of strawberries (cv. Camarosa). **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 45, p. 148–154, 2012.
- NAHIMANA, H.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Mass transfer modeling and shrinkage consideration during osmotic dehydration of fruits and vegetables. **Food Reviews International**, Nova York, v. 27, p. 331–356, 2011.

NAIKWADI, P. M. Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 47, n. 4, p. 442–5, 2010.

OUCHEMOUKH, S. et al. Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 49, n. 2, p. 329–332, 2012.

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

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 16, n. 1, p. 21–37, 1993.

PIGA, A. et al. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica L.*): drying kinetics and quality loss. **Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 39, p. 793–799, 2004.

RATTI, C.; KETATA, M.; DESJARDINS, Y. Effect of liquid nitrogen pretreatments on osmotic dehydration of blueberries. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 116, n. 1, p. 202–212, 2013.

RUIZ-LÓPES, I. I. et al. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola L.*) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 204, p. 218–226, 2011.

SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 366–372, 2008.

SILVA, J. M. et al. Influence of Osmotic Pre-treatment on Convective Drying Kinetics of Figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 9, n. 2, p. 187–196, 2013.

SILVA, K. S.; FERNANDES, M. A.; MAURO, M. A. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. **Journal Food Engineering**, Essex, v. 134, n. 134, p. 37–44, 2014.

SRITONGTAE, B.; MAHAWANICH, T.; DUANGMAL, K. Drying of Osmosed Cantaloupe : Effect of Polyols on Drying and Water Mobilit. **Drying Technol.**, Nova York, p. 527–535, 2011.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, Toronto, v. 26, p. 59–68, 1993.

VIUDA-MARTOS, M.; BARBER, X.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Assessment of chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of fig (*Ficus carica* L.) powder co-products. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 69, p. 472–479, 2015.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

**Cinética de desidratação osmótica com pulso de vácuo em figo (*Ficus carica*
L.) verde**

Artigo submetido à International Journal of Food Engineering, sendo
apresentado segundo as normas do periódico.

Resumo: O figo é uma fruta originária da região do mediterrâneo, porém, difundida em todo o mundo. A desidratação osmótica (DO) atua na redução do teor de umidade de produtos imersos em soluções hipertônicas. O trabalho objetivou a obtenção das cinéticas de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água (a_w) de figos verdes, cortados transversalmente e osmoticamente desidratados em diferentes soluções de sacarose (40, 50 e 60°Brix). A PVOD ocorreu a 40°C com aplicação de pulso de vácuo nos primeiros 5 minutos a uma pressão de 74mmHg, perfazendo 240 minutos. A proporção de solução:fruto de 10:1 (massa/massa) foi mantida durante todo o experimento. Amostras foram retiradas em tempos pré-determinados para obtenção das cinéticas de PA, GS e A_w . Os modelos de Peleg e Azuara foram testados para predição das cinéticas. As condições com as maiores concentrações de sacarose promoveram maiores valores de PA e GS e maiores reduções de A_w . O modelo de Azuara apresentou melhores ajustes devido aos R^2 (>0,990) e as condições de equilíbrio preditas mais próximas dos valores experimentais.

Palavras-chave: Figo, desidratação osmótica, cinética.

1 Introdução

Figo (*Ficus carica L.*) é uma cultura oriunda da região do Mediterrâneo, porém com destaque em todo o mundo. Em alguns países, o fruto é consumido tanto em sua forma fresca, quanto industrializado. Estes co-produtos aparecem como uma alternativa para os consumidores, evitando perdas pós-colheita dos frutos e além disso, surge como um novo potencial de agregação de valor para as empresas processadoras deste fruto [1].

A desidratação osmótica (DO) é um pré-tratamento comumente aplicado antes das operações de secagem. A técnica consiste na imersão de frutas e demais alimentos em uma solução hipertônica para remoção parcial do teor de água presente no sólido, devido a diferença de pressão existente entre o alimento e a solução hipertônica [2].

O processo pode ser realizado a pressão osmótica ou com aplicação de pulsos de vácuo no início da operação (PVOD) [3]. Tal aplicação promove a expansão dos poros do tecido vegetal, facilitando a saída dos gases presentes no interior deles. Quando a pressão do sistema é retomada, os poros encontram-se livres, proporcionando uma maior liberação de água e melhor difusão dos solutos [4]. Este processo envolve uma rápida alteração na composição do alimento com consequências físicas do tecido do alimento [5].

O mecanismo hidrodinâmico é responsável por uma expressiva perda de água e ganho de sólidos no início do processo de PVOD, devido ao gradiente de pressão, gerado pela ação simultânea do fluxo capilar e as variações de pressões submetidas sobre as estruturas porosas do tecido vegetal [6].

Este trabalho teve por objetivo estudar a transferência de massa em processos de desidratação osmótica com pulso de vácuo em figo (*Ficus carica L.*) verde sem soluções de sacarose e a aplicação de modelos matemáticos, assim como a caracterização físico-química dos vegetais.

2 Material e métodos

2.1 Matéria prima

Os figos foram obtidos da Associação de Família de Produtores Rurais da Queimada Velha no município de São Sebastião do Paraíso (MG) e com apoio da Secretaria de Desenvolvimento Agrário do município mencionado. Após a coleta os frutos foram transportados para o Laboratório de Engenharia de Alimentos (Departamento de Ciência dos Alimentos/ Universidade Federal de Lavras – UFLA).

2.2 Preparo da matéria prima

Ocorreu uma seleção, observando a presença de injúrias físicas, desenvolvimento incorreto e deterioração. Logo em seguida, foram lavados e sanitizados com solução clorada (200 mg.L^{-1} por 15 minutos) seguindo para armazenamento em câmara climática com controle de temperatura ($8 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidade relativa ($90 \pm 1\%$).

Antes do início do processo de PVOD, os frutos foram branqueados a 97 °C/8 segundos [7]. Após, os mesmos foram cortados transversalmente com auxílio de uma faca de aço inoxidável para facilitar a transferência de massa, conforme Figura 1.

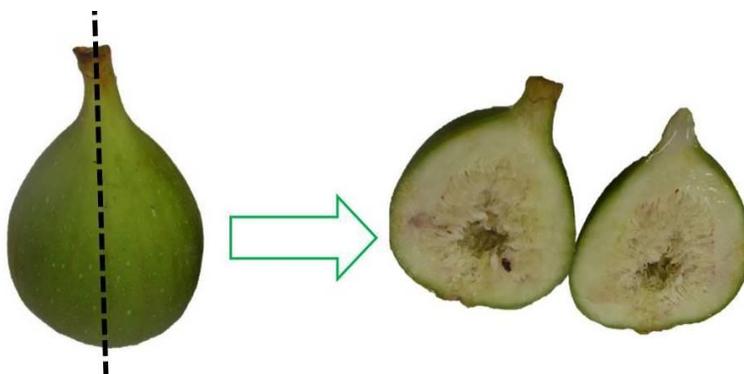


Figura 1 Representação do corte dos figos

Em estudo preliminar os figos foram mantidos inteiros, sendo apenas cozido e perfurados (5furos/cm²) de acordo com [7]. Porém as taxas de transferência de massa foram extremamente reduzidas e como alternativa adotou-se o corte transversal dos frutos.

2.3 Caracterização da matéria prima

Para a caracterização da matéria-prima, realizou-se a análise da composição centesimal (umidade, carboidratos, lipídios, proteínas e cinzas), de acordo com metodologia proposta [8].

O teor de sólidos solúveis foi realizado após maceração em água dos frutos e filtração, seguindo leitura direta com auxílio de refratômetro digital de bancada (HANNA Instruments, modelo HI 96801). A atividade de água foi determinada a 25 °C com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (DecagonDevices Inc., Pullman, WA, EUA). Além disso, a coloração das amostras foi mensurada com colorímetro eletrônico Minolta CR 400 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan) de acordo com os padrões L* (luminosidade), a* (intensidade de vermelho) e b* (intensidade do amarelo).

2.4 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)

Os processos de PVOD ocorreram em um equipamento projetado para operar à pressão atmosférica e também a vácuo. O desidratador é composto por uma câmara de camisa dupla de aço inox (A-240-304) com volume útil de 50 litros, sendo o volume mínimo de operação de 10 litros (Biasinox LTDA). O controle da temperatura de trabalho foi realizado por um banho termostático acoplado à camisa da câmara, permitindo faixa de temperatura de trabalho de 5 a 70 °C. Foi acoplada no equipamento uma bomba de vácuo, para modificação da pressão em diferentes valores reduzidos (até 250 mbar). O equipamento também é provido por uma hélice de 4 pás para controle da agitação [3,6,9,10]. A Figura 2 representa o detalhamento do sistema instalado no Laboratório de Engenharia de Alimentos/ Departamento de Ciência dos Alimentos/UFLA.

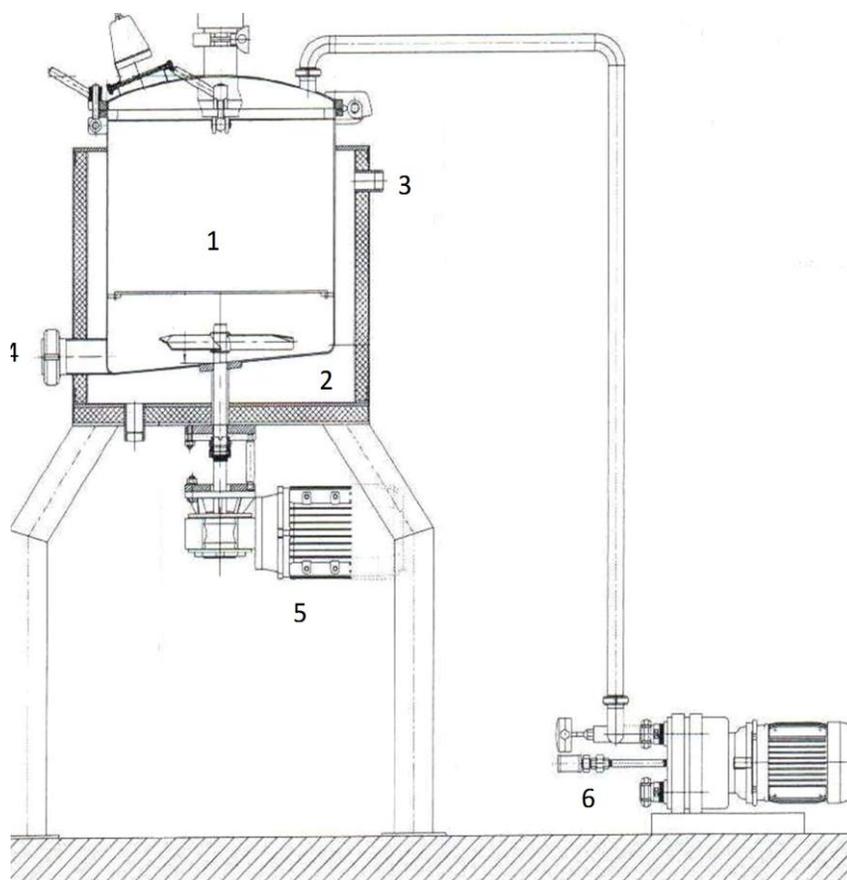


Figura 2 Detalhamento do equipamento: sendo 1 - interior do desidratador osmótico; 2 - interior da camisa do equipamento; 3 - comunicação da camisa do desidratador com o banho termostatizado; 4 - saída para retirada da solução osmótica; 5 - motor acoplado à pá no interior do desidratador para promover agitação; 6 - bomba de vácuo.

As soluções osmóticas foram preparadas com sacarose comercial da marca Guarani® e água destilada. Os figos foram acondicionados em vidrarias tipo becker para imersão em solução

osmótica. A proporção de solução:amostra 10:1 (massa:massa) foi mantida para que não houvesse diluições significativas nas concentrações das soluções osmóticas. Cada experimento ocorreu durante 280 minutos a uma pressão de 74 mmHg [9].

Após o final de cada teste, os frutos foram imersos em um banho de gelo com o objetivo de cessar o fenômeno de transferência de massa e secos em papel toalha para absorção do excesso de água [6].

Os experimentos seguiram sob temperatura de 40°C e 5 minutos de pulso de vácuo. As concentrações das soluções foram 40, 50 e 60°Brix.

As amostras foram retiradas em tempos pré-determinados para construções das cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), conforme Equações 1 e 2. Além disso, ocorreu a determinação da cinética de atividade de água.

$$PA = \frac{X_0^w M_0^0 - X_f^w M_f^0}{M_0^0} \times 100 \quad (1)$$

$$GS = \frac{X_f^{ST} M_f^0 - X_0^{ST} M_0^0}{M_0^0} \times 100 \quad (2)$$

em que: M_0^0 = peso inicial da amostra [kg], M_f^0 = peso final da amostra [kg], X_0^w = umidade inicial da amostra [%], X_f^w =

umidade final da amostra [%], X_0^{ST} = teor de sólidos inicial da amostra [%] e X_f^{ST} = teor de sólidos final da amostra.

2.4 Modelos de cinética de PVOD

Os dados das cinéticas de PA e GS foram ajustados por dois modelos matemáticos para obtenção das condições de equilíbrio e obtenção dos parâmetros de cada modelo. Foram testados e comparados os modelos de Azuara [11] e de Peleg [12].

O modelo de Azuara parte de um balanço de massa no material desidratado, obtendo as seguintes equações para perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) em função do tempo [13].

$$PA = \frac{S_1 t (PA_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (3)$$

$$GS = \frac{S_1 t (GS_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (4)$$

onde: S_1 é uma constante relacionada à perda de água ou ganho de sólido; PA_{eq} corresponde à perda de água no equilíbrio [%]; e GS_{eq} corresponde ao ganho de sólidos no equilíbrio [%].

A linearização das Equações 3 e 4 permitem calcular os valores da constante S_1 e dos termos PA_{eq} e [14] :

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{S_1 (PA_{eq})} + \frac{t}{PA_{eq}} \quad (5)$$

$$\frac{t}{GS} = \frac{1}{S_1(GS_{eq})} + \frac{t}{GS_{eq}} \quad (6)$$

O modelo de Peleg é descrito pela Equação 7.

$$X(t) = X_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (7)$$

onde X_0 corresponde a umidade inicial; $X(t)$ corresponde a umidade em função do tempo; e k_1 e k_2 correspondem as constates do modelo.

Para determinar a perda de água e o ganho de sólidos a partir do modelo proposto por Peleg têm-se as seguintes equações [15].

$$PA = \frac{t}{\frac{M_0}{100} (k_1 - k_2 t)} \quad (8)$$

$$GS = \frac{t}{\frac{M_0}{100} (k_1 + k_2 t)} \quad (9)$$

onde: PA representa a perda de água; GS representa o ganho de sólidos; e M_0 representa a massa inicial da amostra.

3 Resultados e discussão

Caracterização dos figos *in natura*

O resultado da composição centesimal dos frutos frescos encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 Valores médios dos componentes do figo *in natura*

Composição centesimal [g/100g de amostra]	
Umidade	83,870±1,014
Carboidratos	12,384±1,377
Lipídeos	1,210±1,370
Proteínas	0,610±0,096
Cinzas	0,226±0,015

Conforme se observa na Tabela 1 o figo fresco é um produto com elevado teor de umidade. Além disso, os carboidratos apresentam maior destaque em relação aos demais constituintes sólidos do fruto.

De acordo com [16] os figos *in natura* apresentam 88,200% de umidade, 10,200g de carboidratos, 1,000g de proteína, 0,200g de lipídeos, 0,400g de cinzas, por 100g de produto fresco. Tais valores apresentam-se próximos aos mencionados na Tabela 1.

Os resultados das análises físico-químicas encontram-se dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros físico-químicos de figos verde *in natura*

Parâmetros	Médias
Atividade de água [a_w]	0,988±0,002
Sólidos solúveis totais [°Brix]	1,143±0,426
L*	41,636±0,259
a*	-20,673±1,422
b*	32,795±1,103

Vale notar que os valores encontrados para a_w , sólidos solúveis totais e os parâmetros de cor demonstram que os figos estudados encontravam-se verdes, sendo um objetivo deste estudo. De acordo com os dados da Tabela 2, em relação ao teor de sólidos solúveis totais, os figos apresentaram valores bem abaixo dos encontrados na literatura por [17,18] que relataram valores entre 20,600 a 31,201 °Brix e 55,010 °Brix, respectivamente. Tal discrepância pode ser explicada tanto pela variedade de figo utilizada, quanto pelo grau de maturação dos frutos.

O valor elevado de atividade de água é compatível ao de produtos frescos com alto teor de umidade e bem próximo dos valores relatados na literatura [19].

Dentre os parâmetros de cor avaliados, os figos apresentaram uma luminosidade voltada para o branco, devido ao alto valor de L^* com tonalidades verde e amarelo característicos dos figos frescos, justificados pelos valores de a^* e b^* .

Cinética de PVOD

Os resultados obtidos para perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) nas amostras desidratadas osmoticamente em diferentes soluções de sacarose, encontram-se nas Figuras 3 e 4.

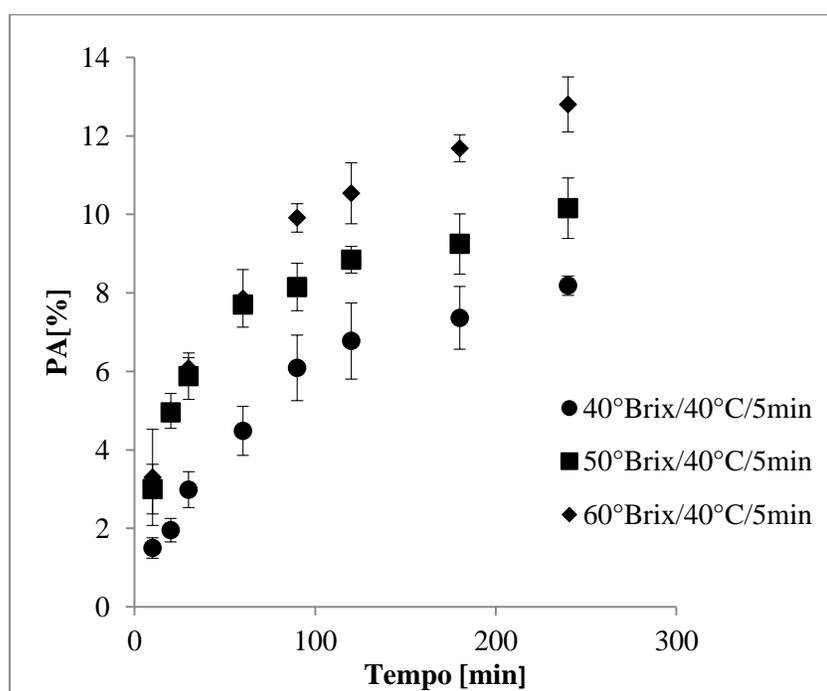


Figura 3 Cinética de perda de água de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações

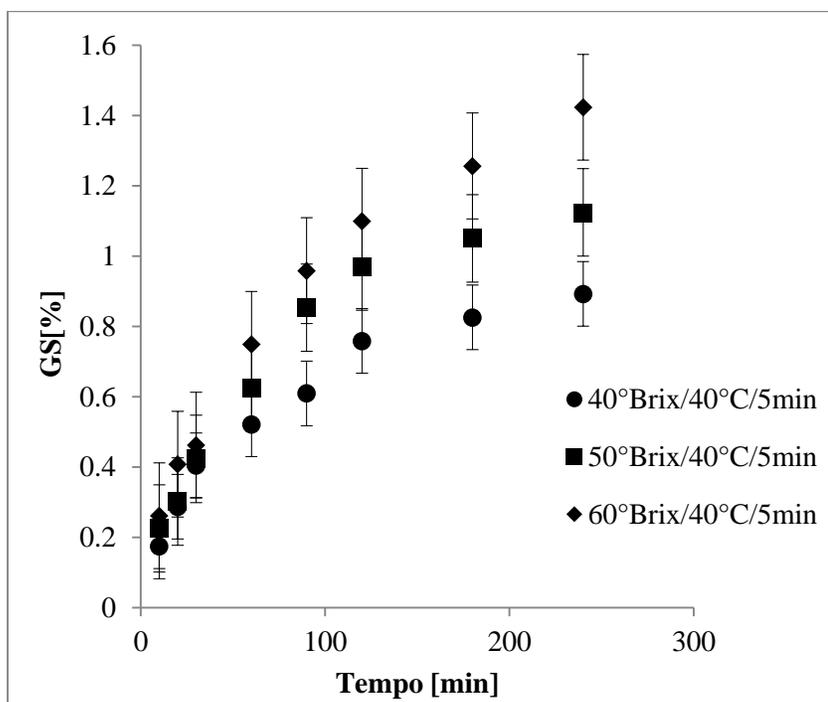


Figura 4 Cinética de ganho de sólidos de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações

As Figuras 3 e 4 permitem observar que as maiores PA e GS foram encontrados nos experimentos com soluções mais concentradas. Estudos anteriores observaram resultados similares durante a PVOD de goiaba, manga e kiwi, respectivamente [3,5, 20].

O efeito observado é justificado, principalmente, pelo maior gradiente de pressão osmótica na interface produto/solução causado pelo aumento na concentração das soluções desidratantes [20].

Além disso, nos primeiros 120 minutos as taxas de transferência de massa foram maiores. Para os estudos realizados com soluções a 40 e 50 °Brix, após este tempo, observou-se uma tendência a valores

constantes de PA e GS, indicando que o processo tende ao equilíbrio após este período. Trabalhos da literatura confirmam que as maiores taxas de transferência de massa ocorrem no início da desidratação osmótica [2, 3,13, 21].

O fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, porosidade, forma e tamanho). Os estudos anteriores de PVOD utilizam geometrias com raios inferiores do que os utilizado no presente trabalho sendo possível atingir maiores taxas de transferência de massa, por se tratar de um processo difusivo [5].

As curvas de cinética de PVOD foram ajustadas pelos modelos de Peleg (1993) e Azuara (1992). Os parâmetros obtidos no ajuste para estes modelos para PA e GS encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 Parâmetros cinéticos de transferência de massa para PA e GS utilizando o modelo de Peleg e Azuara

Perda de Água (PA)								
Parâmetros	Peleg (1993)				Azuara et al. (1993)			
	K	PA _{eq}	R ²	SE	S ₁	PA _{eq}	R ²	SE
40°Brix/40°C/5min	1,409	0,709	0,970	2,230x10 ⁻¹	2,200x10 ⁻⁴	10,776	0,992	6,500x10 ⁻²
50°Brix/40°C/5min	1,182	0,845	0,981	1,360 x10 ⁻¹	6,000x10 ⁻⁴	10,846	0,991	4,400 x10 ⁻²
60°Brix/40°C/5min	0,968	1,033	0,927	6,110 x10 ⁻¹	6,700x10 ⁻⁴	14,451	0,990	1,550 x10 ⁻¹
Ganho de Sólidos (GS)								
Parâmetros	Peleg (1993)				Azuara et al. (1993)			
	K	GS _{eq}	R ²	SE	S ₁	GS _{eq}	R ²	SE
40°Brix/40°C/5min	13,895	0,072	0,987	2,710x10 ⁻¹	2,880x10 ⁻⁴	1,093	0,987	8,610x10 ⁻⁴
50°Brix/40°C/5min	8,907	0,112	0,990	4,244x10 ⁻¹	2,450x10 ⁻⁴	1,452	0,992	1,185x10 ⁻³
60°Brix/40°C/5min	7,666	0,130	0,991	5,791 x10 ⁻¹	2,180x10 ⁻⁴	1,824	0,996	1,185x10 ⁻³

em que: S₁ e K representam os parâmetros dos modelos; PA_{eq} representa a perda de água no equilíbrio; GS_{eq} representa o ganho de sólidos no equilíbrio; SE representa o erro padrão; R² representa o coeficiente de determinação.

Os dados expostos na Tabela 3 permitem estabelecer uma relação entre parâmetro S_1 estabelecido pelo modelo de Azuara com as taxas de transferência de massa. Os maiores valores de S_1 indicam maiores taxas de transferência de massa. Obteve-se uma relação entre perda de água e S_1 , sendo que o aumento de S_1 acontece com a elevação da concentração da solução desidratante. O inverso aconteceu durante o ganho de sólidos. A relação entre tal parâmetro do modelo com as taxas de transferência de massa foi também estudada por [14].

Os parâmetros do modelo de Peleg foram estudados por [17] estabelecendo que quanto maiores os valores da constante K , menores são as taxas de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica, sendo também observado no presente estudo.

O incremento nas concentrações das soluções favoreceu também o aumento das condições de equilíbrio. Uma vez que é esperado maiores taxas de ganho de sólido e perda de água em condições mais saturadas. A evidência pode ser comprovada pelos estudos de [18,19].

Os valores obtidos por R^2 indicam um ajuste satisfatório para os modelos aplicados, concordando com [17] que comparou os ajustes para o modelo de Peleg e Azuara.

Os ajustes obtidos pelo modelo de Azuara foram mais satisfatórios, por apresentarem os maiores coeficientes de correlação (R^2), os menores erros padrões (SE) e por predizer de maneira mais próxima os valores das condições de equilíbrio. Tais comportamentos foram observados para PA e GS.

As Figuras 5 e 6 apresentam o ajuste do modelo de Azuara para PA e GS.

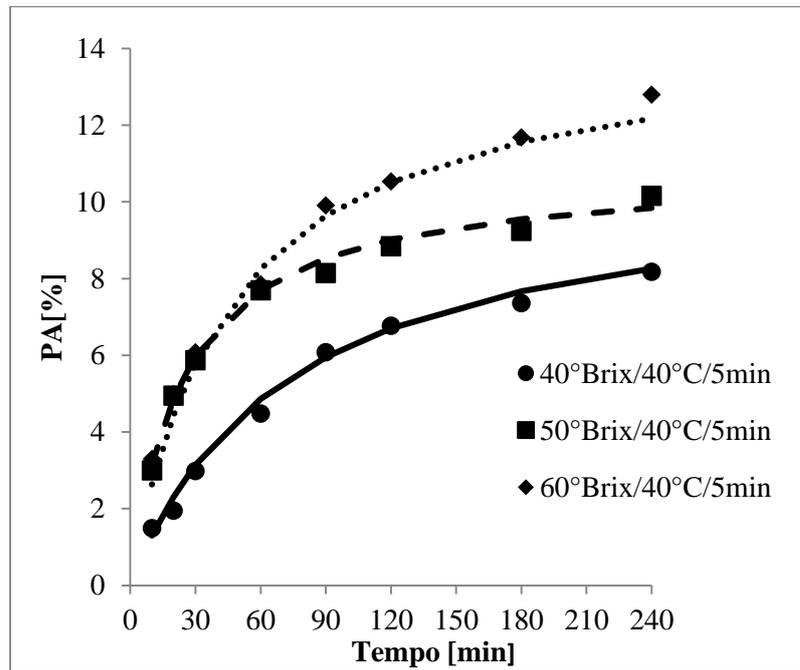


Figura 5 Cinética de PA de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações ajustada pelo modelo de Azuara

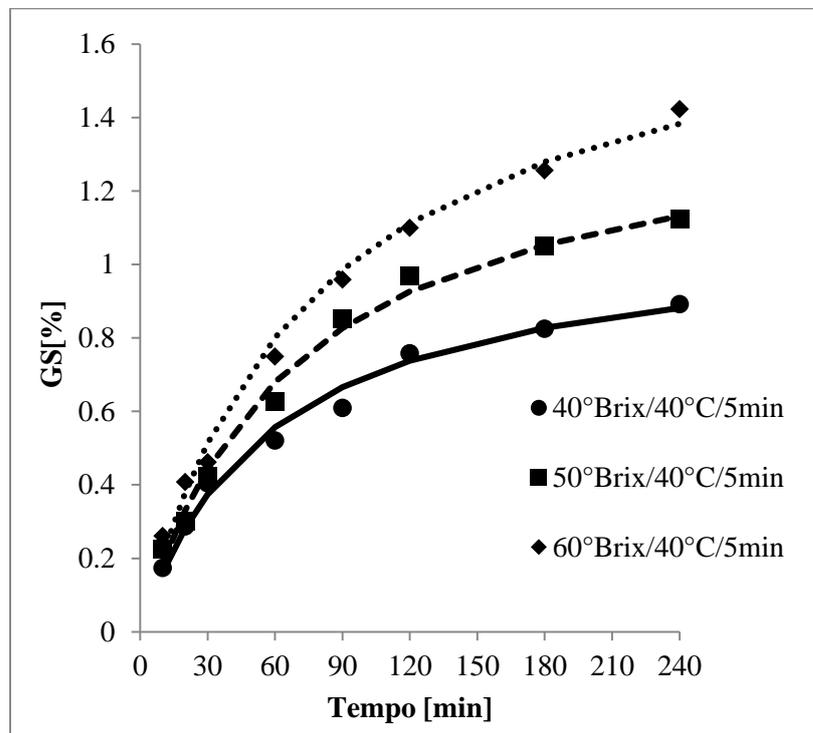


Figura 6 Cinética de GS de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações ajustada pelo modelo de Azuara

A cinética de redução da atividade de água encontra-se representada na Figura 7.

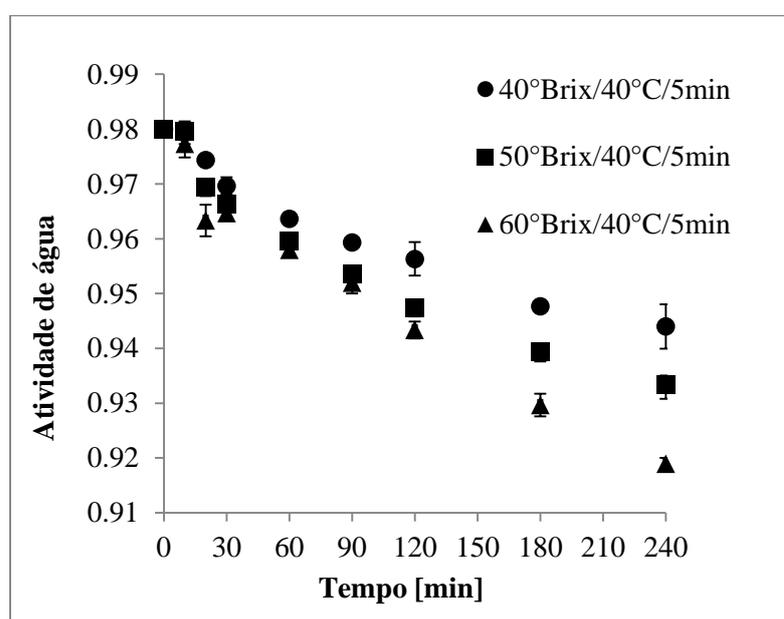


Figura 7 Cinética de a_w de figos verdes em processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo a diferentes concentrações

Em relação à a_w a Figura 7 evidencia que em torno dos primeiros 120 minutos ocorrem as maiores reduções tendendo a uma estabilidade até o final do processo. Ademais, é possível verificar que as maiores reduções de atividade de água tiveram relação direta com a concentração à solução osmótica.

O aumento da concentração da solução, além de promover uma maior saída de água, também ocasiona uma maior incorporação do soluto pelo produto e por consequência reduz a a_w [21]. Resultados similares foram encontrados por [22, 23] na desidratação osmótica de diferentes produtos.

A atividade de água é um dos fatores intrínsecos aos alimentos, representando a água livre. Tal água livre possibilita a multiplicação microbiana e acelera reações bioquímicas comprometendo a qualidade dos produtos [24]. Portanto, a redução da a_w torna-se indispensável para maior conservação dos alimentos.

4 Conclusão

Altos valores de perda de água e ganho de sólidos foram observados principalmente na primeira parte de processo de PVOD. Além disso, os tratamentos com maiores concentrações de soluções osmóticas apresentaram valores superiores de PA e GS.

O aumento das concentrações das soluções osmóticas de sacarose promoveram maiores reduções nos valores de atividade de água, fato importante no que diz respeito a conservação dos produtos.

Devido principalmente ao elevado teor de umidade e atividade de água dos frutos em sua forma fresca, a desidratação osmótica com aplicação de pulsos de vácuo mostrou-se efetiva quando aplicada nos figos transversalmente cortados, podendo ser uma alternativa de conservação do produto, sendo ainda mais eficaz quando aplicada como um pré-tratamento à secagem convencional.

Além disso, foi possível observar o efeito da concentração da solução osmótica em relação à perda de água, ganho de sólidos e redução da atividade de água.

O modelo de Azuara apresentou melhores ajustes quando comparado com o modelo de Peleg em todas as condições estudadas, tanto para PA, quanto para GS. Além disso, os valores preditos pelo modelo de Azuara para as condições de equilíbrio foram mais condizentes com os valores experimentais, do que os valores encontrados com os ajustes do modelo de Peleg.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e FAPEMIG, pelo apoio financeiro, a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário de São Sebastião do Paraíso (MG), a empresa Tozzi Alimentos e a Universidade Federal de Lavras.

REFERÊNCIAS

1. VIUDA-MARTOS M, BARBER X, PÉREZ-ÁLVAREZ JA, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J. Assessment of chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of fig (*Ficus carica* L.) powder co-products. 2015;69:472–9.
2. SILVA MAC, SILVA ZE, MARIANI VC. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *Food Sci Technol*. 2012;45(2):246–52.
3. CORRÊA JLG, PEREIRA LM, VIEIRA GS, HUBINGER MD. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *J Food Eng*. 2010;96(4):498–504.
4. FITO P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *J Food Eng*. 1994;22(14):313–28.
5. ITO AP, CAVENAGHI M, BERTOLDO C, PARK KJ., HUBINGER MD. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2007;27:54–63.
6. CORRÊA JLG, ERNESTO DB, JOSÉ GLF, ANDRADE RS. Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. *Int J Food Sci Technol*. 2014;49:2008–14.
7. PACCO CH. Secagem de figo da variedade (*Ficus carica* L.) “Gigante de Valinhos” em secador de bandejas. Campinas. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Alimentos] - Universidade Estadual de Campinas; 2003.
8. ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL (Rockville - Estados Unidos da América). Official methods of analysis. 18^oed. Rockville (MD): Association of oficial analytical chemists international; 2007.
9. OLIVEIRA LF de. Desidratação osmótica com pulso de vácuo e secagem à vácuo de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Universidade Federal de Lavras; 2014.
10. FANTE C, CORRÊA JLG, NATIVIDADE M, LIMA J, LIMA L.

Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. *Int J Food Sci Technol*. 2011;46:1080–5.

11. AZUARA E, CORTÉS R, GARCIA HS, BERISTAIN CI. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *Int J Food Sci Technol*. 1992;27(4):409–18.

12. PELEG M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *J Food Process Eng*. 1993;16(1):21–37.

13. FERRARI CC, RODRIGUES LK, TONON R V., HUBINGER MH. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2005;55(19):564–70.

14. AZOUBEL PM, MURR FEX. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Ciência e Tecnol Aliment*. 2000;20(2):228–32.

15. MALDONADO S, SANTAPAOLA JE, SINGH J, TORRES M, GARAY A. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência e Tecnol Aliment* 2008;28(1):251-6.

16. TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (Campinas - Brasil). Tabela Brasileira de Composição Alimentos. 4o ed. Campinas (SP). Universidade Estadual de Campinas; 2011.

17. SILVA JM, CANTU MG, RODRIGUES V, MAZUTTI MA. Influence of osmotic pre-treatment on convective drying kinetics of figs. *Int J Food Eng*. 2013;9(2):187–96.

18. NAIKWADI PM, CHAVAN UD, PAWAR VD, AMAROWICZ R. Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments. *J Food Sci Technol* 2010;47(4):442–5.

19. CAMPOS CDM, SATO ACK, TONON R V., HUBINGER MD, CUNHA RLD. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit Slices. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2012;32(2):357–65.

20. TALENS P, MARTÍNEZ-NAVARRETI N, FITO P, CHIRALT A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of Kiwi fruit. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2002;3(2):191–9.

21. TONON R V., BARONI AF, HUBINGER MD. Estudo da desidratção osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2006;26(3):715–23.
22. GONÇALVES AA, BLUME AR. Efeito da desidratção osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. *Estud Tecnológicos*. 2008;4:124–34.
23. KOTOVICZ V, ELLENDERSEN LSN, CLARINSO MM, MASSON ML. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia sonchifolia*) in fructose solution. *J Food Process Preserv*. 2014;38:1385–97.
24. MACHADO A V., SOUZA JA, NOVAES RF da. Estudo cinético da secagem da uva Isabel para produção de uva passa. *Rev Verde Agroecol e Desenvolv Sustentável*. 2015;10:47–51.

TERCEIRA PARTE

ARTIGO 2

Desidratação osmótica de figos (*Ficus carica L.*) verdes em soluções de sacarose: Estudo das variáveis do processo

Artigo submetido à Journal of Food Processing and Preservation, sendo apresentado segundo as normas do periódico.

RESUMO

Devido ao elevado teor de umidade e atividade de água, encontrados nos figos frescos, assim como, a diversidade de nutrientes, os mesmos encontram-se susceptíveis a degradação, em especial por micro-organismos. A desidratação osmótica atua na redução parcial do teor de umidade dos produtos e da atividade de água, sendo aplicada como um excelente pré-tratamento aos métodos de secagem convencionais. O objetivo deste trabalho foi otimizar a PVOD de figos, considerando a temperatura (31,6 a 48,4°C), concentração da solução osmótica (46,59 a 63,41°Brix) assim como, o tempo de pulso de vácuo empregado (0 a 40 minutos). O experimento seguiu um planejamento fatorial 2³ com pontos axiais e repetições no ponto central. O tempo total em cada teste foi de 300 min a uma pressão de 74 mmHg. A condição que proporcionou um menor teor de umidade e maior teor de sólidos solúveis final aos figos osmoticamente desidratados foi de 35°C, 60°Brix e 32 min de pulso de vácuo.

Palavras-chave: Umidade. Sólidos Solúveis. Pulso de vácuo.

1 INTRODUÇÃO

Figo (*Ficus carica L.*) é um vegetal nativo do sudoeste asiático e da região do Mediterrâneo. A figueira foi uma das primeiras plantas cultivadas por seres humanos, sendo uma das principais culturas utilizadas para consumo fresco e seco em todo o mundo DUEÑAS et al. (2008).

A secagem de alimentos é uma das técnicas mais importantes e amplamente utilizadas para processamento de alimentos. Grande parte da produção mundial de alimentos é perdida anualmente, principalmente por perdas pós-colheita e em países em desenvolvimento. Visando reduzir as perdas e aumentar a vida de prateleira, a secagem recebe um destaque por ser um método já difundido e relativamente simples (Karim e Hawlader 2005; Koyuncu et al. 2007; Guiné et al. 2010; Alibas 2007).

O processo de desidratação osmótica consiste na imersão do produto em uma solução hipertônica, para redução parcial do teor de umidade do alimento (Botha et al. 2011). Os agentes osmóticos mais amplamente utilizados são os açúcares, sais e álcoois, usados isoladamente ou em combinações (Fante et al. 2011; Corrêa et al. 2014).

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) vem sendo empregada, a fim de acelerar as taxas de transferência de massa, reduzindo o tempo de processo e por consequência o custo energético. A aplicação do pulso de vácuo no início do processo promove a retirada parcial do ar presente nos poros dos alimentos. Com a retomada da pressão ambiente, a solução osmótica penetra mais facilmente no interior dos poros aumentando as taxas de perda

de água e ganho de sólidos, principalmente (Ito et al. 2007; Fito 1994; Fante et al. 2011; Corrêa et al. 2014).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da concentração e temperatura da solução osmótica de sacarose e o tempo de pulso de vácuo aplicado durante a desidratação osmótica de figos verdes cortados transversalmente obedecendo a um planejamento fatorial, baseado na metodologia de Superfície de Resposta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria prima

Os figos foram obtidos no município de São Sebastião do Paraíso (MG) através de parceria estabelecida com a da Secretaria de Desenvolvimento Agrário (SEDEAGRO) e a Associação de Família de Produtores Rurais da Queimada Velha . Após a coleta os frutos foram transportados para o Laboratório de Engenharia de Alimentos (Departamento de ciência dos Alimentos/ Universidade Federal de Lavras – UFLA).

2.2 Preparo da matéria prima

Os frutos foram selecionados quanto a presença de injúrias físicas, desenvolvimento incorreto e deterioração. Em seguida, foram lavados e sanitizados em solução clorada (200 mg.L⁻¹ por 15

minutos) sendo armazenados em câmara climática com controle de temperatura (8 ± 1 °C) e umidade relativa ($90\pm 1\%$).

Antes de cada experimento os figos foram branqueados a 97 °C/8 segundos conforme Pacco (2003) e cortados transversalmente com auxílio de uma faca inoxidável (Figura1).



Figura 1 Figs branqueados e cortados

2.3 Caracterização das amostras

Foi realizada composição centesimal dos frutos *in natura*, conforme metodologia descrita pela AOAC (Association Of Official Analytical Chemists, 2007), sendo o teor de umidade analisado também após a desidratação osmótica.

O teor de sólidos solúveis totais e umidade foram analisados nas amostras frescas e osmoticamente tratados. Os métodos utilizados encontram-se descritos a seguir: A atividade de água e os parâmetros de coloração foram caracterizados nos frutos *in natura*.

- a) Sólidos solúveis totais: após maceração das amostras em água e filtração em papel quantitativo,

procedeu-se a leitura direta do filtrado em refratômetro digital de bancada HANNA Instruments, modelo HI 96801;

- b) Teor de umidade: determinada através do método gravimétrico de secagem em estufa, a 65°C, até peso constante (Association Of Official Analytical Chemists, 2007).
- c) Atividade de água: determinada a 25 °C com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA).
- d) Coloração: mensurada com colorímetro eletrônico Minolta CR 400 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan) de acordo com os padrões L * (luminosidade), a * (intensidade de vermelho) e b* (intensidade do amarelo).

2.4 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) de figos verdes cortados transversalmente

Preparo das soluções osmóticas

As soluções osmóticas utilizadas nos experimentos foram preparadas com água destilada e sacarose comercial (Guarani®).

Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)

O processo foi conduzido em um equipamento projetado para operar à pressão atmosférica e também à vácuo com controle de temperatura e pressão. Os experimentos tiveram tempo total de 300 minutos com pulso de vácuo de 74 mmHg aplicado nos primeiros minutos (Corrêa et al. 2010; Corrêa et al. 2014).

Os figos foram transferidos para um becker contendo solução osmótica de sacarose. Para todos os ensaios foi estabelecida uma proporção solução:amostra superior a 10:1 (m/m) evitando uma diluição significativa da solução devido a saída de água das amostras (Garcia-Noguera et al. 2010).

Após cada experimento, as amostras foram imersas em banho de gelo para cessar transferência de massa, tendo o excesso de água retirado em papel absorvente (Fante et al. 2011).

Planejamento experimental

Foi conduzido um delineamento composto central rotacional (DCCR), sendo um fatorial completo 2^3 , com quatro repetições no ponto central e $2n$ pontos axiais (onde n é o número de variáveis independentes), perfazendo 18 experimentos. Foi utilizada a técnica de superfície de respostas para verificar a influência das variáveis estudadas (Rodrigues e Iemma, 2012). As variáveis independentes foram a temperatura (X_1) e concentração da solução osmótica (X_2), assim como o tempo de pulso de vácuo aplicado (X_3) e seus valores foram definidos com base no planejamento fatorial.

Foram estudadas como variáveis resposta o teor final de umidade (%b.u) (Y_1) e o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) (Y_2) dos figos osmoticamente tratados.

Os valores das variáveis respostas foram submetidos a análises estatísticas com o auxílio do programa Statistica 8.0 a um nível de significância de 5%.

O seguinte modelo polinomial foi gerado para ajuste dos dados experimentais, conforme Equação 2.

$$Y_n = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad (2)$$

A Tabela 1 apresenta a matriz do planejamento fatorial com as condições experimentais utilizadas, seguidas dos valores reais e codificadas de cada variável.

Os valores reais referentes aos codificados (-1; 0; +1) para temperatura e concentração da solução osmótica foram baseados no estudo de Souza (2008). Em relação ao tempo de pulso de vácuo, foi fixado o valor real 0 (-1,68) visando estabelecer uma possível diferença entre os processos sob pressão atmosférica e pressão de vácuo. O tempo total de cada ensaio (300min) e a pressão de pulso de vácuo (74mmHg) foram baseadas na literatura (Oliveira, 2014).

Tabela 1 Matriz do planejamento experimental fatorial 2³

Ensaio	X ₁ [°C]	X ₂ [°Brix]	X ₃ [min]
1	35,00 (-1)	50,00 (-1)	8,00 (-1)
2	35,00 (-1)	50,00 (-1)	32,00 (1)
3	45,00 (1)	50,00 (-1)	8,00 (-1)
4	45,00 (1)	50,00 (-1)	32,00 (1)
5	35,00 (-1)	60,00 (1)	8,00 (-1)
6	35,00 (-1)	60,00 (1)	32,00 (1)
7	45,00 (1)	60,00 (1)	8,00 (-1)
8	45,00 (1)	60,00 (1)	32,00 (1)
9	40,00 (0)	46,59 (-1,68)	20,00 (0)
10	40,00 (0)	63,41 (1,68)	20,00 (0)
11	31,60 (-1,68)	55,00 (0)	20,00 (0)
12	48,40 (1,68)	55,00 (0)	20,00 (0)
13	40,00 (0)	55,00 (0)	0,00 (-1,68)
14	40,00 (0)	55,00 (0)	40,00 (1,68)
15	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)
16	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)
17	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)
18	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)

X₁[temperatura]; X₂ [concentração]; X₃ [tempo de pulso de vácuo]

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na caracterização dos figos *in natura* e osmoticamente tratados, assim como a otimização do processo de PVOD encontram-se apresentados a seguir.

Caracterização dos figos *in natura*

Os resultados da composição centesimal dos frutos frescos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Composição centesimal dos figos *in natura*

Componente	[g/100g de amostra]
Umidade	83,870±1,014
Carboidratos	12,380±1,377
Extrato Etéreo	1,210±1,370
Fibra Bruta	0,920±0,121
Proteínas	0,610±0,096
Resíduo Mineral Fixo	0,220±0,015

Os resultados encontrados para composição centesimal dos frutos apresentam-se de forma similar aos relatados pela TACO (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2011).

Os dados apresentados evidenciam o elevado teor de umidade dos frutos em sua forma fresca. Tal característica é de extrema importância no âmbito de sua conservação, uma vez que produtos com alta umidade estão mais susceptíveis a degradação microbiana. Os resultados encontrados corroboram com Pacco (2003) para o teor de umidade de figos *in natura*, além disso, os valores de proteína e de resíduo mineral fixo assemelham-se quando comparados os dois trabalhos.

Além do alto teor de umidade, os figos frescos apresentam valores médios de atividade de água elevada ($0,988 \pm 0,002$). Tal parâmetro é extremamente importante no que diz respeito à estabilidade e conservação de alimentos, sendo extremamente importante o conhecimento destes valores para o processamento e análise dos alimentos (Silva et al. 2007).

Os figos frescos apresentaram valores de sólidos solúveis totais ($1,143 \pm 0,426$) inferiores aos encontrados na literatura (Pacco 2003; Naikwadi et al. 2010). Tal fato pode ser explicado pela provável diferença de maturação e/ou variedades estudadas.

Os valores médios dos encontrados para L^* ($41,64 \pm 0,26$), a^* ($-20,67 \pm 1,42$) e b^* ($32,79 \pm 1,10$) são justificados pelas tonalidades verde e amarelo característicos dos figos, conforme Figura 2.



Figura 2 Figs *in natura* utilizados nos experimentos

O máximo valor de L^* (luminosidade) é 100, e representando uma perfeita reflexão difusa, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. A coordenada a^* varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), e a coordenada b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$).

Estudo das variáveis do processo dePVOD

Os valores das variáveis respostas Y_1 (teor de umidade final) e Y_2 (teor de sólidos solúveis totais) em cada experimento encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 Valores reais e codificados das variáveis

Testes	X ₁ [°C]	X ₂ [°Brix]	X ₃ [min]	Y ₁ [% b.u]	Y ₂ [°Brix]
1	35,00 (-1)	50,00 (-1)	8,00 (-1)	77,29	13,94
2	35,00 (-1)	50,00 (-1)	32,00 (1)	76,46	14,34
3	45,00 (1)	50,00 (-1)	8,00 (-1)	76,72	14,67
4	45,00 (1)	50,00 (-1)	32,00 (1)	75,33	15,06
5	35,00 (-1)	60,00 (1)	8,00 (-1)	75,33	13,25
6	35,00 (-1)	60,00 (1)	32,00 (1)	72,82	18,61
7	45,00 (1)	60,00 (1)	8,00 (-1)	77,32	13,29
8	45,00 (1)	60,00 (1)	32,00 (1)	77,92	14,36
9	40,00 (0)	46,59 (-1,68)	20,00 (0)	79,50	12,62
10	40,00 (0)	63,41 (1,68)	20,00 (0)	74,07	16,09
11	31,60 (-1,68)	55,00 (0)	20,00 (0)	80,90	14,45
12	48,40 (1,68)	55,00 (0)	20,00 (0)	79,53	16,78
13	40,00 (0)	55,00 (0)	0,00 (-1,68)	76,09	14,70
14	40,00 (0)	55,00 (0)	40,00 (1,68)	75,30	13,86
15	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)	77,38	12,85
16	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)	77,85	13,59
17	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)	77,23	13,89
18	40,00 (0)	55,00 (0)	20,00 (0)	77,51	13,70

Segundo a Tabela 3 o menor teor de umidade foi de 72,826 que corresponde a uma redução de 16,168% do teor inicial. Esta condição foi objetiva no ensaio 6 a 35°C, 60°Brix e 32 min.

O maior teor de umidade obtido após a desidratação foi de 80,908 representando uma redução de apenas de 3,531% do teor inicial de umidade. Tal condição foi alcançada no ensaio 11 com uma temperatura de 31,600°C, 55,00°Brix e 20 min.

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais o menor valor encontrado foi de 12,617 durante o ensaio 9 (40°C; 46,59°Brix; 20min). Já o maior valor de sólidos solúveis foi de 18,610. Esta condição foi obtida no ensaio 6 (35°C; 60°Brix; 32min).

As reduções dos teores de umidade e o acréscimo no teor de sólidos solúveis totais é uma característica dos processos de desidratação osmótica. Este fenômeno causado pela transferência de massa durante a PVOD foi observado por Sritongtae et al. (2011), Corrêa et al. (2010) e Silva et al. (2013).

Os efeitos estimados para as respostas Y_1 e Y_2 , após o processo de PVOD encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 Estimativa dos p-valores (p) e dos efeitos estimados para Y_1 e Y_2

Fator	Efeitos (Y_1)	p-valor	Efeitos (Y_2)	p-valor
Mean/Interc.	61,12	0,05	18,44	0,40
X_1 (L)	-1,78	0,04*	1,95	0,01*
X_1 (Q)	-4,61	0,87	-22,74	0,33
X_2 (L)	1,10	0,18	-0,80	0,20
X_2 (Q)	75,45	0,03*	14,17	0,54
X_3 (L)	-0,40	0,60	-0,01	0,98
X_3 (Q)	-40,28	0,19	1,46	0,94
X_1X_2	1,13	0,15	-1,48	0,05
X_1X_3	0,15	0,83	1,25	0,05
X_2X_3	1,76	0,04*	-1,30	0,05

(*) indicam variáveis estatisticamente significativas; [Y_1 e Y_2] correspondem as variáveis resposta; [X_1 , X_2 e X_3] correspondem a temperatura, concentração e tempo de pulso de vácuo, respectivamente.

A temperatura da solução osmótica apresentou influência significativa no processo de PVOD no que diz respeito ao teor de umidade final e teor de sólidos solúveis dos figos, sendo que um aumento de tal temperatura leva aos menores teores de umidade e maiores teores de sólidos. Os dados obtidos corroboram com Souza et al. (2003) no estudo da desidratação osmótica de banana e Andrade et al. (2003), Mendes et al. (2013), Silva et al. (2015) relataram também as maiores reduções de umidade em cagaita desidratadas osmoticamente nos tratamentos com a elevação da temperatura. Houve também uma influência significativa do termo quadrático da variável concentração em relação ao teor de umidade final.

Efeito positivo para interação entre concentração e o tempo de pulso de vácuo, ou seja, o aumento de ambas as variáveis tende a causar uma menor redução no teor de umidade. Tal fato também foi verificado por (Viana 2014). O uso do pulso de vácuo resulta em uma expansão dos poros dos alimentos e liberação dos gases ali presentes, possibilitando uma melhor transferência de massa (Corrêa et al. 2014; Ferrari et al. 2011). Porém, no presente estudo o efeito combinado com a elevação da concentração mostrou-se de forma contrária, corroborando com Oliveira (2014) durante a PVOD de yacon. As transferências estão também relacionadas a demais fatores, como a concentração da solução osmótica, tipo de soluto, geometria e porosidade dos frutos entre outros (Arreola e Rosas 2007).

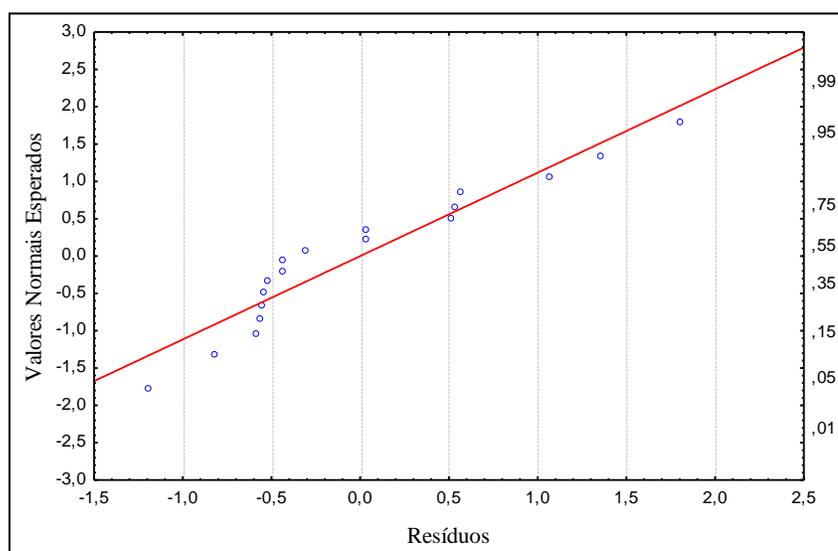
O ajuste das regressões foi analisado a partir dos resultados experimentais por meio do teste F e os resultados encontram-se descritos na Tabela 5.

Tabela 5 Análise de variância (ANOVA) para as variáveis respostas

Regressão	SQ	GL	QM	F _{cal}
Y ₁ (R ² =0,830)	35,768	9	35,768	25,5008
Y ₂ (R ² =0,820)	26,325	8	0,840	31,500

$F_{\text{tab}}(5\%, 9, 8) = 3,388$

Além disso, um pressuposto importante que foi verificado é a normalidade dos resíduos da regressão para as duas variáveis respostas, através das Figuras 3 e 4.

**Figura 3** Probabilidade normal dos resíduos para a variável Y₁

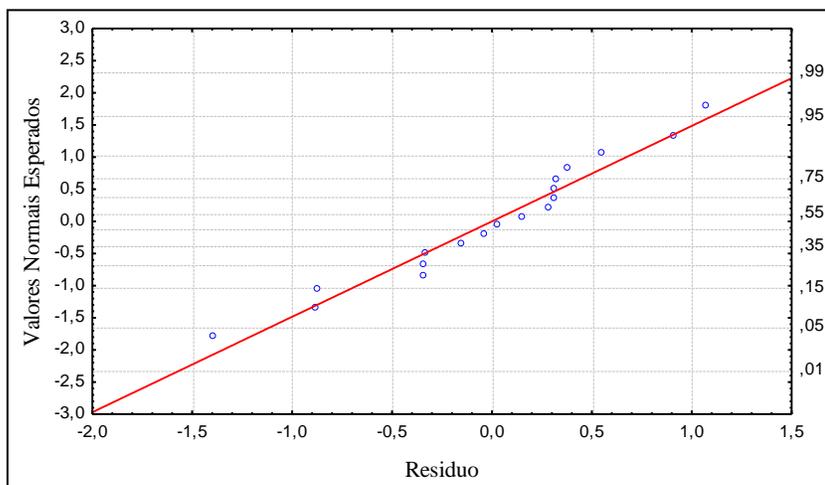


Figura 4 Probabilidade normal dos resíduos para a variável Y_2

As figuras evidenciam que os resíduos encontram-se próximos da normalidade, representada pela reta, não comprometendo o pressuposto de normalidade da ANOVA.

O valor de F_{calc} deve ser aproximadamente 3 a 5 vezes maior do que o F_{tab} , para o modelo descrever com precisão os dados da desidratação osmótica com pulso de vácuo, além disso, possuir coeficiente de determinação (R^2) maiores do que 0,70 (Box e Wetz, 1973).

Todas as respostas apresentaram um bom ajuste a regressão a 95% de confiança e F_{calc} superiores aos valores de F_{tab} , possibilitando gerar as superfícies de respostas.

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de pulso de vácuo, para estimar o teor final de umidade, é apresentado na Equação 3.

$$Y_1 = 77,815090 + 0,05873 X_1 - 0,00089 X_1^2 - 1,46757 X_2 + 0,01450 X_2^2 + 0,751890 X_3 - 0,007740 X_3^2 + 0,000220 X_1 X_2 + 0,00003 X_1 X_3 - 0,000034 X_2 X_3 \quad (3)$$

O modelo apresentado na Equação 4 pode ser apresentado como preditivo, pois, foi obtida uma relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ maior do que três e coeficiente de determinação de ajuste superior a 0,70 ($R^2_{\text{ajustado}}=0,830$).

As superfícies de respostas permitem observar a influência exercida pelas variáveis independentes em relação ao teor de umidade dos figos tratados, conforme Figura 5.

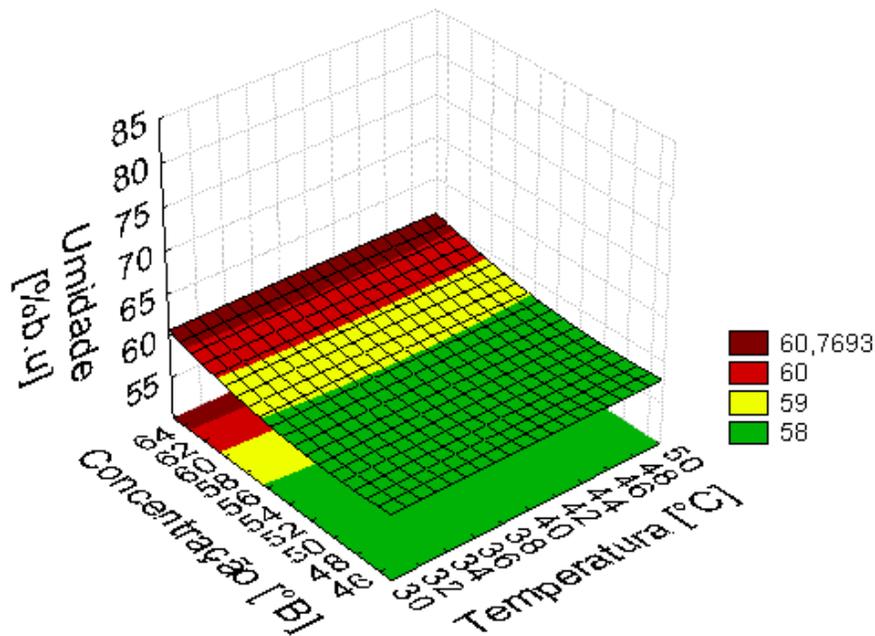


Figura 5 Superfície de resposta para Teor de umidade em solução de sacarose, em termos de Concentração e Temperatura

Foi possível verificar o efeito da temperatura e da concentração da solução desidratante na redução do teor de umidade. Estudos relatam efeito similar durante o processo de desidratação osmótica (Tonon, Baroni, e Hubinger 2006; Kotovicz et al. 2014)

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de pulso de vácuo, para estimar o teor final de sólidos solúveis totais é representado pela Equação 4.

$$Y_2 = 13,73706 + 0,45847 X_1 - 0,00437 X_1^2 - 10,25347 X_2 + 0,00272 X_2^2 - 0,02791 X_3 + 0,00028 X_3^2 + 0,00029 X_1 X_2 + 0,00024 X_1 X_3 - 0,00025 X_2 X_3 \quad (4)$$

O modelo apresentado na Equação 3 pode ser apresentado como preditivo, pois, foi obtida uma relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ maior do que três e coeficiente de determinação de ajuste superior a 0,70 ($R^2_{\text{ajustado}}=0,818$).

As superfícies de respostas permitem observar a influência exercida pelas variáveis independentes em relação ao teor de sólidos solúveis totais dos figos tratados, conforme a Figura 6.

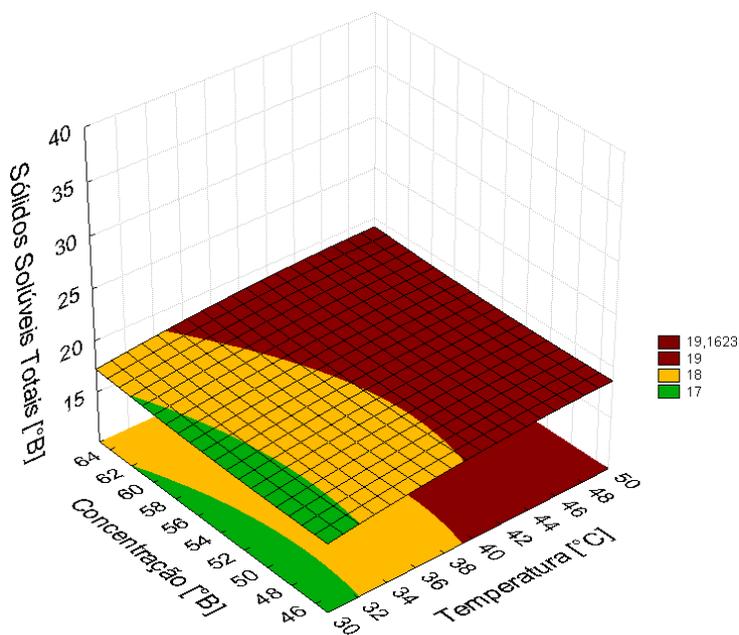


Figura 6 Superfícies de resposta para Sólidos Solúveis Totais em solução de sacarose, em termos de Concentração e Temperatura

Foi possível verificar que com o aumento da temperatura houve um incremento no teor de sólidos solúveis totais dos figos osmoticamente desidratados. Estudos relatam efeito similar durante o processo de desidratação osmótica (Azoubel; Murr 2003; Deng; Zhao 2008; Sritongtae et al. 2011).

Durante o estudo da desidratação osmótica de tomate utilizando a metodologia de superfície de resposta. Tonon, Baroni, e Hubinger (2006) apresentaram resultados similares. Segundo os autores a temperatura foi a variável que apresentou maior influência ao processo. Este fato se deve ao possível inchaço e plasticização sofridos pela membrana celular durante a desidratação osmótica a temperaturas mais

altas, que acarretam um aumento de sua permeabilidade, além disso, o aumento da temperatura acarreta uma redução da viscosidade da solução osmótica, o que faz com que a resistência externa à transferência de massa seja menor (Lazarides, Gekas, e Mavroudis 1997).

Levando em consideração os resultados obtidos para os teores de umidade e sólidos solúveis dos figos verdes cortados transversalmente e tratados osmoticamente é possível avaliar que as condições operacionais que possibilitam a obtenção de figos com o menor teor de umidade e maior ganho de sólidos (principalmente por se tratar de frutos verdes) encontra-se no ensaio 6 (35°C/60°Brix/32 min).

4 CONCLUSÃO

A sacarose se mostra um excelente agente osmótico, levando a reduções do teor de umidade e aumento do teor de sólidos solúveis aos figos osmoticamente tratados.

Em relação ao teor de umidade final e de sólidos solúveis, a variável temperatura exerceu influência significativa ao processo. A técnica de superfície de resposta apresentou-se satisfatória para a otimização da PVOD de figo em soluções de sacarose.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do DCCR e a metodologia de superfície de respostas foi possível verificar a influência das variáveis do processo durante a desidratação osmótica.

Visto que o objetivo do processo era reduzir ao máximo possível o teor de umidade dos figos osmoticamente tratados, e possibilitar uma maior incorporação de sólidos ao produto, uma vez que os frutos encontravam-se no início do estágio de maturação (verde), com um teor sólidos solúveis inicial muito reduzido, o ensaio 6 conferiu o menor de

teor de umidade a maior teor de sólidos ao produto. Tal condição operacional foi de 35°C, 60°Brix e 32 minutos de pulso de vácuo.

REFERÊNCIAS

- ALIBAS, I. 2007. “Microwave , air and combined microwave – air-drying parameters of pumpkin slices.” *Food Science and Technology International* 40: 1445–51.
- ANDRADE, S. A. C., J. C. METRI, B. de BARROS NETO, e N. B. GUERRA. 2003. “DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO JENIPAPO (*Genipa americana* L.).” *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 23(2): 276–81.
- ARREOLA, S. I., e M. E. ROSAS. 2007. “Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*Ficus carica*).” *Información Tecnológica* 18(2): 43–48.
- AZOUBEL, P. M., e F. E.X. Murr. 2003. “Optimisation of Osmotic Dehydration of Cashew Apple (*Anacardium Occidentale* L.) in Sugar Solutions.” *Food Science and Technology International* 9(6): 427–33.
- BOTHA, G. E., J. C. OLIVEIRA, e L. AHRNÉ. 2011. “Quality optimisation of combined osmotic dehydration and microwave assisted air drying of pineapple using constant power emission.” *Food and Bioprocess Processing* 90(2): 171–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2011.02.006>.
- BOX, G. E. P., e J. WETZ. 1973. “Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function.” *University of Wisconsin Technical Report* 9.
- CORRÊA, J. L. G., D. B. Ernesto, G. L. F. José, e R. S. Andrade. 2014. “Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin.” *International Journal of Food Science and Technology* 49:

2008–14.

CORRÊA, J. L. G., L. M. PEREIRA, G. S. VIEIRA, e M. D. HUBINGER.

2010. “Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas.” *Journal of Food Engineering* 96(4): 498–504..

DENG, Y., e Y. ZHAO. 2008. “Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji).” *Journal of Food Engineering* 85(1): 84–93.

DUEÑAS, M., J. J. PÉREZ-ALONSO, C. SANTOS-BUELGA, e T.

ESCRIBANO-BAILÓN. 2008. “Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L .).” *Journal of Food Composition and Analysis* 21: 107–15.

FANTE, C. et al. 2011. “Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfbreeze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration.” *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1080–85.

FERRARI, C. C., J. R. ARBALLO, R. H. MASCHERONI, e M. D.

HUNINGER. 2011. “Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum.” *Internacional Journal of Food Science and Technology* 46: 436–43.

GARCIA-NOGUERA, J., M. I. GALLÃO, e C. L. WELLER. 2010.

“Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries : effect of pretreatment time and ultrasonic frequency.” *Biological Systems Engineering* 1(1): 294–303.

GUINÉ, R. P. F., S. PINHO, e M. J BARROCA. 2010. “Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*).” *Food and Bioproducts Processing* 9(9): 422–28.

- ITO, A. P. et al. 2007. “Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga.” *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 27: 54–63.
- KARIM, A. M., e M. N. A. HAWLADER. 2005. “Drying characteristics of banana : theoretical modelling and experimental validation.” *Journal of Food Engineering* 70: 35–45.
- KOTOVICZ, V., L. S. N. ELLENDERSEN, M. M. CLARINSO, e M. L. MASSON. 2014. “Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*polymnia sonchifolia*) in fructose solution.” *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 1385–97.
- KOYUNCU, T., I. TOSUN, e Y. PINAR. 2007. “Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*).” *Journal of Food Engineering* 78: 735–39.
- LAZARIDES, H. N., V. GEKAS, e N. MAVROUDIS. 1997. “Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing.” *Journal of Food Engineering* 31: 315–24.
- MENDES, G. R. L. et al. 2013. “Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(11): 1210–16.
- NAIKWADI, P. M., U. D. CHAVAN, V. D. PAWAR, e R. AMAROWICZ. 2010. “Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments.” *Journal of food science and technology* 47(4): 442–45..
- OLIVEIRA, L. F. de. 2014. “Desidratação osmótica com pulso de vácuo e secagem à vácuo de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*).” Universidade

Federal de Lavras.

PACCO, C. H. 2003. “Secagem de figo da variedade (Ficus carica L.) ‘Gigante de Valinhos’ em secador de bandejas”. Universidade Estadual de Campinas.

RODRIGUES, M. I, e A. F. IEMMA. Planejamento de Experimentos e otimização de processos. 2. ed. Campinas, SP: Editora Casa do Pão, 2007. 325 p.

SILVA, C. D. M. da et al. 2015. “Desidratação osmótica para obtenção de cagaita passa.” *Journal of bionergy and food science* 02(4): 226–33.

SILVA, F., K. J. PARK, e P. M. MAGALHÃES. 2007. “Isotermas de desorção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática.” *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 9: 21–28.

SILVA, J. M., M. G. CANTU, V. RODRIGUES, e M. A. MAZUTTI. 2013. “Influence of Osmotic Pre-treatment on Convective Drying Kinetics of Figs.” *International Journal of Food Engineering* 9(2): 187–96.

SOUZA, P. H. M. de et al. 2003. “Influência da concentração e da proporção fruto : xarope na desidratação osmótica de bananas processadas.” *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 23: 126–30.

SOUZA, S. 2008. “Obtenção de Figos Secos por Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva.” Universidade Estadual de Campinas.

SRITONGTAE, BURACHAT, THANACHAN MAHAWANICH, e KIATTISAK DUANGMAL. 2011. “Drying of Osmosed Cantaloupe : Effect of Polyols on Drying and Water Mobilit.” *Drying Technol.*: 527–35.

- TONON, R. V., A. F. BARONI, e M. D. HUBINGER. 2006. “Estudo da desidração osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta.” *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 26(3): 715–23.
- VIANA, A. D. 2014. “Desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate cultivar carmen.” Universidade Federal de Lavras.

CONCLUSÃO GERAL

Através dos resultados obtidos durante a desidratação osmótica de figos verdes cortados transversalmente foi possível constatar que a sacarose pode ser considerada um bom agente osmótico.

A variação da concentração causou influência direta no aumento da perda de água e ganho de sólidos e na redução da atividade de água das amostras desidratadas.

Posteriormente foi possível verificar a influência da temperatura na redução do teor de umidade final e no aumento do teor de sólidos solúveis totais dos figos osmoticamente desidratados, obedecendo um DCCR.

Dentre as condições estudadas no planejamento fatorial 2^3 com adições de pontos axiais e centrais, a temperatura de 35°C, concentração de 60°Brix e 32 minutos de pulso de vácuo proporcionaram as maiores reduções do teor de umidade e maior incremento no teor de sólidos solúveis, sendo apontada como a condição operacional mais adequada.