



DOVEL BRANQUINHO ERNESTO

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE ABÓBORA
COM USO DO PULSO DE VÁCUO:
OTIMIZAÇÃO E CINÉTICA**

LAVRAS – MG

2013

DOVEL BRANQUINHO ERNESTO

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE ABÓBORA COM USO DO PULSO
DE VÁCUO: OTIMIZAÇÃO E CINÉTICA**

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

Coorientador

Prof. Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Ernesto, Dovel Branquinho.

Desidratação osmótica de abóbora com uso do pulso de vácuo :
otimização e cinética / Dovel Branquinho Ernesto. – Lavras : UFLA,
2013.

160 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. *Cucurbita moschata*. 2. Desejabilidade. 3. Parâmetros de
qualidade. 4. Difusividade efetiva. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 664.80562

DOVEL BRANQUINHO ERNESTO

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE ABÓBORA COM USO DO PULSO
DE VÁCUO: OTIMIZAÇÃO E CINÉTICA**

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 28 de janeiro de 2013.

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges UFLA

Profa. Dra. Lanamar de Almeida Carlos UFSJ

Prof. Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves
Presidente da banca

LAVRAS – MG

2013

À minha mãe **Rosa**, aos meus avós paternos **Munhiça** e **Torina**, também aos avós maternos **Mungawela** e **Alifita** e o meu tio **Cuboio** (todos *in memoriam*), pelo vínculo sublime na minha vida. O exemplo que deixaram é o que impulsiona-me a seguir, mesmo sentindo tanto a ausência física de todos vocês;

Ao **Branquinho**, meu pai, por todo o amor e dedicação, e por sempre acreditar nos meus sonhos;

Às minhas filhas **Rosa**, **Rinalda** e **Arianna** fazendo votos para que este trabalho lhes sirva de exemplo de inspiração para uma carreira estudantil cheia de êxitos

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus todo poderoso por me ter dado a vida e força para nunca desistir de meus sonhos;

Ao Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa, por sua orientação ao longo desse trabalho, por compartilhar o seu conhecimento e experiências, com paciência, carinho e amizade;

Ao Prof. Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves, pela coorientação e atenção em transmitir seus conhecimentos estatísticos;

Às professoras; Soraia Vilela Borges e Lanamar de Almeida Carlos, por fazerem parte da banca e enriquecerem este trabalho com suas sugestões;

Ao Programa Estudante-Convênio (PEC-PG) estabelecido pelo governo moçambicano por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique (MCT-MZ) e pelo governo brasileiro por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI-BR) administrado e ao Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq),
pela concessão da bolsa de estudos;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de
Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro;

Ao Departamento de Ciência dos Alimentos
(DCA-UFLA), pela grata oportunidade de realizar o
curso de Mestrado;

Ao Departamento de Fitopatologia, pela
utilização do Laboratório de Microscopia Eletrônica e
Análise ultraestrutural (LME), em especial o Prof.
Eduardo e a Eloisa (técnica de laboratório), pela
colaboração na realização da análise de microscopia
eletrônica de varredura;

Aos funcionários do DCA, sempre atenciosos e
solícitos;

Ao Instituto Superior Politécnico de Manica
(ISPM-Moçambique), em especial o Prof. Dr. Rafael
Massinga, por todo o apoio que me deu do começo ao
fim;

À minha amada Maria, por ser muito mais que uma companheira. Obrigado por cuidar destas três flores que se alimentam da sua presença e da minha distância física.

À turma do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), em especial à Arianne, a Arianna, a Letícia, a Kamilla, o Gustavo e o Bruno, pela integração, convivência e amizade;

Aos meus irmãos; Francisco, Felisberto e Justo, por acreditarem em mim e sermos unidos na vida;

Aos amigos da moradia, nomeadamente, Armando, Bartolomeu e Moisés, pela enriquecedora experiência da vida em coletividade;

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a construção deste trabalho, **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

A abóbora (*Cucurbita moschata* Duch.), por ser um fruto perecível, necessita de técnicas de conservação pós-colheita para aumento de sua vida de prateleira. O processo de desidratação osmótica (DO) se baseia na redução da água disponível no alimento mediante a imersão deste em solução hiperconcentrada. Acredita-se que, a eficiência da DO pode ainda ser melhorada com o uso do pulso de vácuo (DOPV), no início do processo. Portanto, objetivou-se a desidratação osmótica e uso do pulso de vácuo através da otimização e suas curvas de cinética, avaliando-se os parâmetros de qualidade das fatias de abóbora previamente branqueadas. Na primeira etapa deste trabalho, o estudo foi realizado de acordo com um delineamento experimental do tipo Plackett-Burman (PB) com 12 ensaios para seleção das variáveis e melhores níveis que otimizam o processo, tendo como variáveis independentes a temperatura, concentração de NaCl e sacarose na solução de imersão, pressão e tempo do pulso de vácuo em que foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade: atividade de água (A_w), potencial hidrogeniônico (pH), encolhimento (E), perda de água (WL), ganho de sólidos (SG) e variação total de cor (ΔE). Na segunda etapa, o estudo foi conduzido usando-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) com 28 ensaios utilizando-se as variáveis independentes estatisticamente significativas na primeira etapa. O processo foi

otimizado usando-se a metodologia de superfície de resposta e função desejabilidade. Na última etapa foi conduzida a cinética de DOPV onde amostras submetidas ao melhor tratamento do processo foram desidratadas traçando-se curvas dos parâmetros de qualidade em função do tempo, além do comportamento dos carotenoides, textura, características estruturais e difusividade efetiva. Os resultados obtidos mostram que a temperatura não foi estatisticamente influente no processo. Na segunda etapa, permitiu-se obter as seguintes condições ótimas do processo: concentração de NaCl de 17,5%, concentração de sacarose de 50%, pressão do pulso de vácuo de 160 mbar e o tempo de aplicação do pulso de vácuo ficou em 10 minutos. Nestas condições foi obtido o encolhimento de (48,07%) e, a menor A_w (0,74), a maior WL (71,0%), menor incorporação de sacarose (3,77%) e pH de 5,75. O SG, a incorporação de NaCl e os parâmetros de cor não foram estatisticamente influenciados pela DOPV das fatias de abóbora. Para a última parte, as curvas de cinética apresentaram tendências similares aos dados descritos na literatura, e os coeficientes de difusão efetiva refletem a influência das variáveis do processo na cinética de transferência de massa. Além disso, a DOPV favoreceu a manutenção da cor das fatias, do teor de carotenoides inicialmente presente, características de textura e microestrutura.

Palavras-chave: *Cucurbita moschata*. Parâmetros de qualidade. Desejabilidade.
Difusividade efetiva.

ABSTRACT

For being a perishable fruit the pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) needs postharvest preservation techniques in order to increase their shelf life. The process of osmotic dehydration (OD) is based on the reduction of the available water in food by soaking it in concentrated solution. It is believed that the efficiency of OD can be further improved by using vacuum pulse (PVOD) at the beginning of the process. Therefore, the objective of this work was the optimization of osmotic dehydration process and vacuum pulse use through experimental design by evaluating both the quality parameters of previously bleached pumpkin slices and their kinetic curves. On the first stage of this work, the study was performed according to the Plackett-Burman design (PB) with 12 trials for the screening of variables and to determine the best levels to optimizing the process. The independent variables were: temperature, NaCl and sucrose concentration in the immersion solution, pressure and vacuum pulse time. The following quality parameters were evaluated: water activity (A_w), potential hydrogen (pH), shrinkage (E), water loss (WL), solid gain (SG) and total color variation (ΔE). In the second stage, the study was outlined in response surface methodology by central composite rotational design (DCCR) with 28 trials using statistically significant independent variables in the first stage. The process was optimized using the surface response

methodology in regard to the desirability. In the last stage, PVOD kinetics was performed in which samples submitted to the best treatment of the process were dehydrated, followed by the construction of parameter curves as a time function. Further analyses towards the behavior of carotenoids, texture, structural characteristics and the effective diffusivity were made. The results obtained in the first stage showed that the temperature was not statistically significant in the process. In the second stage, the following optimum conditions of the process were obtained: 17.5% of the NaCl concentration, 50% of the sucrose concentration, 160 mbar of pressure and 10 minutes of the vacuum pulse time. Under these conditions, the lowest A_w (0.74), the highest WL (71.0%), lowest incorporation of sucrose (3.77%), pH from 5.75 and 48.07% of shrinkage were obtained. The SG, the incorporation of NaCl and the color parameters were not statistically influenced by the PVOD of pumpkin slices. For the last stage, the kinetic curves of quality parameters showed similar tendencies as reported on literature, and the coefficients of effective diffusion reflect the influence of the variables of the process in the kinetics of mass transfer. In addition, the PVOD favored the maintenance of the pumpkin slices' color, initial content of carotenoids, texture characteristics and microstructure.

Keywords: *Cucurbita moschata*. Quality parameters. Desirability. Effective diffusivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Transferência de massa no processo de DO	32
Figura 2	Curvas de relaxação de tensão	68
Figura 3	Curva típica obtida de teste de relaxação de tensão para um modelo de Maxwell com uma mola em paralelo	69
Figura 4	Representação esquemática do Modelo de Maxwell Generalizado .	70
Figura 5	Coloração característica da abóbora JACARÉ utilizada nos experimentos.....	72
Figura 6	Detalhes do sistema experimental	92
Figura 7	Superfície de resposta para a A_w das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose com a pressão do pulso e o tempo de vácuo em seus níveis centrais.....	138
Figura 8	Superfície de resposta para o pH de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), concentração de sacarose e o tempo do pulso de vácuo (b) e, concentração de NaCl e o tempo (c)	143
Figura 9	Superfície de resposta para o encolhimento das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose	148
Figura 10	Superfície de resposta para a WL de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), pressão e tempo de vácuo (b), concentração de NaCl e o tempo (c) e concentração de sacarose e pressão do pulso de vácuo (d)	154

Figura 11 Superfície de resposta para a relação SG/WL das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose	165
Figura 12 Superfície de resposta para o teor de sacarose absorvido pelas fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), pressão e tempo de vácuo (b), concentração de sacarose e o tempo (c) e concentração de NaCl e a pressão do pulso de vácuo (d).....	176
Figura 13 Gráfico da função desejabilidade da desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo das fatias de abóbora	191
Figura 14 Cinética da atividade de água de fatias de abóbora osmoticamente desidratado com o uso do pulso de vácuo.....	197
Figura 15 Cinética de transferência de água nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo, onde: X - teor de água, WL - perda de água, WL - perda de peso.....	199
Figura 16 Cinética de transferência de solutos nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo, onde: SG - ganho de sólidos totais, NaCl - NaCl incorporado, Sacarose - sacarose incorporado nas fatias de abóbora.....	204
Figura 17 Cinética da cor das fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo	210
Figura 18 Cinética do pH das fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo	212
Figura 19 Comportamento do teor de carotenoides nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo. (a) carotenoides totais, (b) retenção de carotenoides.....	213
Figura 20 Curvas de relaxação de tensão de cada tempo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo	219

Figura 21 Microfotografia do tecido das fatias de abóbora submetidas à desidratação osmótica com o pulso de vácuo 230

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição nutricional média da abóbora.....	29
Tabela 2	Variáveis utilizadas na desidratação osmótica com pulso de vácuo em trabalhos da literatura	43
Tabela 3	Valores codificados e reais das variáveis independentes do planejamento de Plackett & Burman.....	77
Tabela 4	Valores codificados e reais das variáveis independentes do planejamento Composto Central Rotacional.....	82
Tabela 5	Valores e os níveis do ponto ótimo para a validação dos resultados e construção das curvas de cinética do processo	87
Tabela 6	Caracterização física da abóbora <i>in natura</i> variedade JACARÉ ...	109
Tabela 7	Composição química centesimal da abóbora <i>in natura</i> variedade JACARÉ.....	110
Tabela 8	Caracterização da fatia de abóbora antes e depois do branqueamento.....	111
Tabela 9	Valores de atividade de água (A_w), potencial hidrogeniônico (pH), encolhimento (E), perda de água (WL), ganho de sólidos (SG) e variação total de cor (ΔE) de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo	115
Tabela 10	Efeitos principais nos parâmetros de qualidade das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo*	116
Tabela 11	Valores codificados e as respostas (A_w , pH, E, WL, SG e SG/WL) dos ensaios do DCCR.....	131
Tabela 12	Valores codificados e as respostas dos sólidos incorporados (NaCl e sacarose) e da cor (ΔE , H^* e L^*) dos ensaios do DCCR ...	133
Tabela 13	Efeito das variáveis do DCCR sobre a A_w de fatias de abóbora* ..	136

Tabela 14	Análise de variância para atividade de água de fatias de abóbora submetidas à DOPV	137
Tabela 15	Efeito das variáveis do DCCR sobre o pH de fatias de abóbora*..	141
Tabela 16	Análise de variância para o pH de fatias de abóbora submetidas à DOPV	142
Tabela 17	Efeito das variáveis do DCCR sobre o encolhimento das fatias de abóbora*	146
Tabela 18	Análise de variância para o encolhimento de fatias de abóbora submetidas à DOPV	147
Tabela 19	Efeito das variáveis do DCCR sobre a WL de fatias de abóbora*..	151
Tabela 20	Análise de variância para a WL de fatias de abóbora submetidas à DOPV	152
Tabela 21	Efeito das variáveis do DCCR sobre o SG de fatias de abóbora*..	157
Tabela 22	Análise de variância para o SG de fatias de abóbora submetidas à DOPV	158
Tabela 23	Efeito das variáveis do DCCR sobre a relação SG/WL de fatias de abóbora*	162
Tabela 24	Análise de variância para a relação SG/WL de fatias de abóbora submetidas à DOPV	164
Tabela 25	Efeito das variáveis do DCCR sobre o NaCl incorporado pelas fatias de abóbora*	167
Tabela 26	Análise de variância para o teor de NaCl incorporado pelas fatias de abóbora submetidas à DOPV	168
Tabela 27	Efeito das variáveis do DCCR sobre a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora*	172
Tabela 28	Análise de variância para a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora submetidas à DOPV	174
Tabela 29	Efeito das variáveis do DCCR sobre a ΔE de fatias de abóbora* ..	179

Tabela 30	Análise de variância para a ΔE de fatias de abóbora submetidas à DOPV	180
Tabela 31	Efeito das variáveis do DCCR sobre o ângulo Hue das fatias de abóbora*	182
Tabela 32	Análise de variância para o ângulo Hue da cor das fatias de abóbora submetidas à DOPV	184
Tabela 33	Efeito das variáveis do DCCR sobre a claridade das fatias de abóbora*	186
Tabela 34	Análise de variância para a claridade (L^*) da cor das fatias de abóbora submetidas à DOPV	187
Tabela 35	Faixa de valores das variáveis independentes que melhor otimizam o processo	189
Tabela 36	Resultados experimentais, preditos e erro relativo obtidos nas condições otimizadas de desidratação osmótica de fatias de abóbora com o uso do pulso de vácuo	193
Tabela 37	Difusividade efetiva calculados pelos métodos 1 e 2	206
Tabela 38	Parâmetros para o modelo de Peleg & Normand conforme o tempo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo	222
Tabela 39	Parâmetros para o modelo de Maxwell	224
Tabela 40	Parâmetros para o modelo de Maxwell de 2 elementos mais uma mola	225

LISTA DE ABREVIATURAS

Abs	Absorbância
Ct	Conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g/g}$)
D_{eff}	Difusividade efetiva
SI	Sólidos incorporados
t	tempo (s)
V	Volume (ml)

LISTA DE SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
CIE	Commission internationale de l'éclairage
DCCR	Delineamento composto central rotacional
DO	Desidratação osmótica
DOPV	Desidratação osmótica com uso do pulso de vácuo
FDR	Fenómeno de deformação e de relaxação
LME	Laboratório de microscopia e análise ultraestrutural
MDU	Modelo de difusão unidirecional
MHD	Mecanismo hidrodinâmico
UFLA	Universidade Federal de Lavras

LISTA DE SÍMBOLOS

a^*	parâmetro de cromaticidade (+ a^* -vermelho; - a^* -verde)
$A_{1\text{cm}}^{1\%}$	Absortividade
A_w	Atividade da água
b^*	parâmetro de cromaticidade (+ b^* -amarelo; - b^* -azul)
B	Sólidos (°Brix)
d	Desejabilidade individual
D	Desejabilidade global
E	Encolhimento (%); Constante de elasticidade (N/m) e também Erro padrão (%)
F	Teste de Fisher
$F(X_1, X_2, \dots, X_n)$	Função das variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_n
H^*	Ângulo Hue
i	número de termos da série
k	Parâmetro da equação de Peleg & Normand; também parâmetro da equação de Peleg
L^*	parâmetro de cromaticidade (0-preto; 100-branco)
MC	Quantidade de água ou sólido
m	Massa da amostra (g)
N	Normalidade (g/ml)
n	Número de observações
P	Desvio médio relativo
pH	Potencial hidrogeniônico
p-valor	significância estatística
R^2	Coefficiente de determinação

SG	Ganho de sólidos (%)
SG/WL	Relação entre ganho de sólidos e perda de água
WL	Perda de água (%)
WR	Perda de peso (%)
W	Peso (g)
X	Teor de água (kg/kg)
x_i	Valor codificado da variável X_i
X_i	Valor real da variável
Y	Força motriz reduzida; também Resposta predita
y	Fração mássica de sólidos na solução
z	Fração mássica de sólidos no alimento
Z	Valor real da variável no ponto central
ΔE	Varição total da cor
ΔX_i	Valor do intervalo de variação de x_i
α	Níveis axiais
σ	Erro padrão para melhor ajuste
σ	Tensão (Pa)
ε	Deformação do elemento elástico (m)
η	Viscosidade (Pa.s)
λ	Tempo de relaxação (s)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Objetivos Específicos	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	A abóbora (<i>Cucurbita moschata</i> Duch.)	27
2.2	A desidratação osmótica	30
2.2.1	Fatores que influenciam a desidratação osmótica	32
2.2.1.1	Agentes desidratantes	32
2.2.1.2	Temperatura do processo	34
2.2.1.3	Tempo de imersão	35
2.2.1.4	Forma do produto e presença de epiderme	37
2.3	O pulso de vácuo na desidratação osmótica	38
2.4	Antecedentes da desidratação osmótica de abóbora	43
2.5	Aspectos de qualidade dos alimentos processados	45
2.5.1	Textura e cor dos alimentos	47
2.5.2	Carotenoides	50
2.5.3	Avaliação Estrutural: Microscopia	53
2.6	Modelos matemáticos	54
2.6.1	Modelos de cinética	54
2.6.1.1	Modelo de difusão unidirecional (método 1)	55
2.6.1.2	Modelo hidrodinâmico (método 2)	58
2.6.2	Modelos de relaxação de tensão	61
2.6.2.1	Modelo de Peleg & Normand	64
2.6.2.2	Modelos de Maxwell	65
2.6.2.2.1	Modelo de Maxwell Generalizado	69
3	MATERIAL E MÉTODOS	70
3.1	Material	71
3.2	Métodos	73
3.2.1	Preparo das amostras	73
3.2.2	Caracterização da matéria-prima	74
3.2.3	Branqueamento das amostras	75
3.3	Planejamento experimental	76
3.3.1	Delineamento experimental de Plackett & Burman (PB)	76
3.3.2	Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)	78
3.3.3	Otimização e validação das condições do processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo de abóbora	83
3.3.4	Cinética de desidratação osmótica com uso de pulso de vácuo (DOPV)	86

3.3.4.1	Ajuste de modelos de cinética	87
3.4	Sistema experimental da desidratação osmótica	90
3.5	Experimentos de desidratação osmótica	92
3.6	Determinação dos parâmetros de qualidade	95
3.6.1	Determinação da cor	95
3.6.2	Determinação de pH.....	97
3.6.3	Determinação de sólidos solúveis	98
3.6.4	Atividade de água	98
3.6.5	Textura	98
3.6.5.1	Ajuste dos modelos de relaxação de tensão	99
3.6.6	Teor de carotenoides totais	101
3.6.7	Teor de NaCl	104
3.6.8	Teor de sacarose	105
3.6.9	Encolhimento.....	106
3.6.10	Imagem estrutural.....	106
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
4.1	Caracterização da matéria-prima.....	109
4.1.1	Caracterização da abóbora <i>in natura</i>	109
4.1.2	Caracterização das fatias branqueadas	111
4.2	Delineamento do tipo Plackett-Burman para escolha das variáveis.....	114
4.2.1	Atividade de água	117
4.2.2	Potencial hidrogeniônico	119
4.2.3	Encolhimento.....	121
4.2.4	Perda de água	122
4.2.5	Ganho de sólidos.....	124
4.2.6	Varição total da cor	127
4.2.7	Escolha das variáveis.....	129
4.3	Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).....	130
4.3.1	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a atividade de água.....	134
4.3.2	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o potencial hidrogeniônico	139
4.3.3	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o encolhimento.....	145
4.3.4	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a perda de água	149
4.3.5	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o ganho de sólidos.....	155
4.3.6	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a relação SG/WL.....	159

4.3.7	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o NaCl incorporado	166
4.3.8	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a sacarose incorporada.....	169
4.3.9	O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a cor das fatias de abóbora.....	177
4.3.9.1	Variação total de cor	178
4.3.9.2	Ângulo Hue.....	181
4.3.9.3	Clareza das fatias.....	184
4.3.10	Otimização das variáveis do processo.....	187
4.3.11	Validação experimental do processo otimizado.....	193
4.4	Avaliação da cinética de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo	194
4.4.1	Cinética da atividade de água de fatias de abóbora	195
4.4.2	Cinética de transferência de massa em fatias de abóbora.....	197
4.4.2.1	Cinética de transferência de água de fatias de abóbora.....	198
4.4.2.2	Cinética de transferência de solutos osmóticos de fatias de abóbora.....	203
4.4.2.3	Difusividade efetiva da água e dos sólidos	206
4.4.3	Cinética da cor das fatias de abóbora.....	208
4.4.4	Cinética do pH de fatias de abóbora.....	211
4.4.5	Comportamento do teor de carotenoides nas fatias de abóbora.....	212
4.4.6	Textura das fatias de abóbora.....	216
4.4.6.1	Relaxação de tensão.....	216
4.4.6.1.1	Modelo de Peleg & Normand	221
4.4.6.1.2	Modelo de Maxwell	223
4.4.7	Análise microestrutural das fatias de abóbora.....	229
5	CONCLUSÕES	235
	REFERÊNCIAS	238

1 INTRODUÇÃO

As frutas e hortaliças tropicais são bastante conhecidas em todas as partes do mundo. O interesse mundial por frutas e hortaliças do Brasil vem se intensificando a cada ano. Em um estudo da cadeia produtiva brasileira de hortaliças, Melo (2007) relata que as principais hortaliças cultivadas no Brasil são: abóbora, alface, alho, batata, batata-doce, berinjela, beterraba, cebola, cenoura, mandioquinha-salsa, moranga híbrida, pepino, pimentão e tomate.

A aboboreira (*Cucurbita moschata* Duch.) é uma planta de caule herbáceo rastejante, folhas grandes e de coloração verde escura. A cor da casca pode ser alaranjada, amarela, verde, branca e até roxa. A polpa geralmente é alaranjada ou amarela. Conforme a espécie apresenta formatos esféricos, esféricos achatados ou esféricos alongados (ESCALADA; CAMPOS; GERSCHENSON, 2010). A abóbora é um fruto rico em vitamina A e também fornece vitaminas

do complexo B, cálcio e fósforo; tem poucas calorias e é de fácil digestão (SOJAK; GLOWACKI, 2010).

Mannheim, Liu e Gilbert (1994) apontam a quantidade de água livre como uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e conservados. A diminuição da atividade de água pode ser obtida com a desidratação do alimento, contribuindo, conseqüentemente, para sua conservação e uso prolongado deste. Dos diversos processos para a conservação dos alimentos já em uso, a secagem, ou desidratação, é, sem dúvida, um dos mais antigos (ANDRADE; METRI; BARROS NETO, 2003). Além da diminuição da atividade de água acima citada, que resulta na conservação do alimento, apresenta como vantagens a redução do volume e do peso da fruta ou hortaliça de 50 a 80%, que possibilita melhor logística e menor custo de armazenamento e a disponibilidade do produto em períodos de entressafra.

Adicionalmente, a secagem agrega valor ao produto fresco.

A desidratação osmótica é um processo em que o alimento, imerso em uma solução hipertônica, perde água com um mínimo de prejuízo em relação ao uso de calor, pois costuma ser realizada em temperaturas próximas à temperatura ambiente (FALADE; IGBEKA, 2007). Resulta em alimentos de teor de água intermediário, porém com manutenção das suas qualidades, pois é um pré-tratamento alternativo para processos como secagem e congelamento.

Tradicionalmente, o processo osmótico é conduzido à pressão atmosférica. Entretanto, diversos autores como Ito et al. (2007a) e Moraga et al. (2009), entre outros, têm dado destaque a impregnação à vácuo como uma alternativa inovadora para os processos osmóticos difusivos. Portanto, acredita-se que, a eficiência da desidratação osmótica pode ainda ser melhorada com o uso do pulso de vácuo, no início do processo.

Investigou-se neste trabalho o processo de desidratação osmótica com e sem o uso do pulso de vácuo aplicado às fatias de abóbora. Foram obtidas curvas de cinética e testados ajustes com modelos matemáticos da literatura, com a determinação do coeficiente de difusão efetiva. O trabalho, baseado em uma estratégia sequencial de planejamento, resultou em uma condição ótima das variáveis independentes e essenciais ao processo de desidratação osmótica e uso

do pulso de vácuo, para melhorar o processo avaliando os parâmetros de qualidade das fatias de abóbora, nomeadamente, atividade de água (A_w), potencial hidrogeniônico (pH), encolhimento (E), perda de água (WL), ganho de sólidos (SG) e a cor.

1.1 Objetivos específicos

- a) Estudar o processo de desidratação osmótica à pressão atmosférica (DO) e com uso de pulso de vácuo (DOPV) de fatias de abóbora usando uma solução composta de cloreto de sódio e sacarose como agente osmótico e avaliar a influência do processo osmótico na qualidade do produto;
- b) Ajustar um modelo empírico e otimizar o processo de DOPV em fatias de abóbora utilizando um planejamento experimental,

fazendo a validação do modelo na melhor condição de processamento;

- c) Testar modelos matemáticos para ajuste de curvas de cinética de desidratação osmótica com a determinação de coeficiente de difusão efetiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A abóbora (*Cucurbita moschata* Duch.)

As abóboras são os frutos de espécies de maior variedade genética do gênero *Cucurbita*, da família da Cucurbitaceae. A Cucurbitaceae é sensível ao frio e se adapta melhor nas regiões tropicais e subtropicais. Apenas poucas espécies, nativas ou cultivadas em climas temperados, são produtoras de sementes (ESCALADA; CAMPOS; GERSCHENSON, 2010). Os frutos são de consistência carnosa, suculentos e revestidos por uma casca que pode variar de semidura a muito dura.

A forma mais encontrada dessa hortaliça é a redonda e ligeiramente achatada, mas são encontradas também formas alongadas, mais ou menos cilíndricas e até retorcidas. Existem três principais cultivares a saber: *cultivar abóbora*: amarela gigante, bahiana tropical, canhão gigante, caravela, carioca, goaininha,

jacarezinho, menina brasileira, menina clara, mini paulista, mocinha, nova caravela, pira-moita e redonda; *cultivar abóbora* japonesa (híbrido de *C. maxima* vs *C. moschata*): Ebisu, Lavras II, suprema, tetsukabuto e yakko e; *cultivar moranga* (*C. maxima*): alice, big moon, carijó, corroa, exposição e tropical (SILVA, 2009).

As espécies de abóbora, em geral, são lisas, mas algumas são rugosas. Existem mais de cem variedades com relação à forma, tamanho e cor. Podem ser verdes, amarelas, brancas, vermelhas, maculadas ou listradas. O peso pode oscilar de menos de 1 kg a 10 kg e podem ser encontradas por todo o mundo (ROCHA et al., 2003).

A Cucurbitaceae apresenta um papel significativo na nutrição humana, especialmente nos países tropicais onde o seu consumo é elevado (ROCHA et al., 2003). Mantuano (2004 citado por KALLUF, 2006) diz que as sementes da abóbora são ricas em ferro, devendo ser

utilizadas em regiões onde se verifica deficiência de ferro na alimentação, tendo função reconstituente para as crianças anêmicas, desnutridas e raquíticas. A composição centesimal da polpa da abóbora, em base seca, é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 Composição nutricional média da abóbora

Determinações	IBGE	TACO
Energia (kcal)	0,04	12
Umidade (%)	88,3	95,7
Proteína (g)	1,2	1,0
Lipídeos (g)	0,3	0,1
Glicídios (g)	9,6	2,7
Fibra (g)	0,6	1,7
Cinza (g)	0,4	0,4
Cálcio (mg/100 g)	12	18
Fósforo (mg/100 g)	27	27
Ferro (mg/100 g)	-	0,7
Zinco (mg/100 g)	-	2,7
Sódio (mg/100 g)	-	32
Vitamina A (mg/100 g)	-	100
Vitamina B1 (mg/100 g)	-	33
Vitamina B2 (mg/100 g)	-	59
Vitamina C (mg/100 g)	-	3

Fonte: Adaptada do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1999) e Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (2004)

Da tabela 1 pode-se ver que a abóbora possui baixa quantidade de sólidos em sua composição, cerca de 7 a 15%, onde, aproximadamente, 9,6% são glicídios (IBGE, 1999). É uma hortaliça que apresenta baixas calorias (40 calorias em 1 kg), além de ser fonte de vitaminas do complexo B e sais minerais como sódio, ferro, cálcio e fósforo (UNICAMP, 2004). Sua cor laranja indica alta concentração de α -caroteno e β -caroteno, carotenoides antioxidantes e precursores da vitamina A no corpo humano (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004).

2.2 A desidratação osmótica

A desidratação osmótica (DO) de alimentos consiste na remoção parcial de água pela pressão osmótica ocasionada quando se imerge o produto em uma solução hipertônica de solutos (açúcares ou sais), diminuindo, assim, a atividade de água e aumentando a sua estabilidade, em combinação com outros fatores

como controle de pH, adição de antimicrobianos etc. (AZOUBEL, 1999).

Devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e o alimento, são criados dois fluxos simultâneos em contra corrente, por meio das paredes celulares: um da água que sai do alimento para a solução – o mais importante do ponto de vista da desidratação – e outro de soluto (sal ou açúcar) da solução para o alimento (FALADE; IGBEKA, 2007). Há ainda, um terceiro fluxo de lixiviação de alguns solutos naturais (açúcares, ácidos, minerais, entre outros nutrientes) do produto para a solução de imersão, que embora seja insignificante, pode ser importante para as qualidades sensoriais (aroma, cor, textura) e nutricionais do produto (ARBALLO et al., 2012). Na figura 1 é esquematizado o processo da DO.

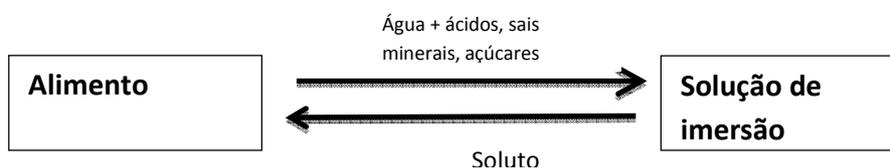


Figura 1 Transferência de massa no processo de DO

2.2.1 Fatores que influenciam a desidratação osmótica

A eficiência do processo de desidratação osmótica depende dos agentes desidratantes utilizados, a temperatura do processo, o tempo de imersão do material na solução osmótica, a forma do produto e presença de epiderme, e não menos importante, a agitação da solução visando eliminar os efeitos de resistência externa à transferência de massa.

2.2.1.1 Agentes desidratantes

A escolha do tipo e concentração da substância desidratante é uma questão complexa. A natureza do soluto osmoativo, como, por exemplo, seu peso molecular, determina a capacidade de reduzir a atividade de água da solução osmoativa, afetando a força motriz responsável pelo transporte de massa e da cinética de remoção de água e ganho de solutos. Segundo Borin (2006), a sacarose e/ou cloreto de sódio são muito utilizadas como agentes desidratantes dada à

disponibilidade, preço e costume. Mas, qualquer soluto ou solvente miscível com água pode ser usado, como dextrose, etanol, entre outros.

A sacarose é considerada a melhor substância osmótica, principalmente quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem, pois permite a eliminação da água sem depreciar o alimento pela eliminação de açúcares residuais durante o processo. Ou seja, a relação ideal de sacarose a ser usada na desidratação osmótica é determinada pela quantidade suficiente desta para conseguir a remoção de água desejada sem reduzir significativamente a taxa e a solubilidade dos açúcares residuais no ponto final. Entretanto, devido a sua doçura, seu uso na desidratação de hortaliças é limitado (FERRARI, 2005). O cloreto de sódio é, também, um excelente agente desidratante para vegetais, porém sua utilização em DO de frutas é limitada, devido ao sabor salgado conferido ao alimento (TONON, 2005).

Segundo Ferrari et al. (2011), a eficácia do tratamento dependerá da utilização adequada desses agentes. Ao se utilizar soluções mistas, quando os solutos se apresentam em quantidades adequadas, proporciona-se maior capacidade de desidratação, devido aos efeitos sinérgicos. Em uma solução ternária de sacarose e NaCl, o NaCl pode inibir o efeito que a sacarose produz na formação de crosta na superfície do produto, facilitando a redução da água e aumentando a força motriz da atividade osmótica da solução, tornando-se, assim, interessante a sua mistura.

2.2.1.2 Temperatura do processo

Um parâmetro com influência decisiva na DO é a temperatura do processo. Videv et al. (1990) observaram que o aumento da temperatura é diretamente proporcional às taxas de transferência de massa. Em amostras de maçã, observaram que o aumento de temperatura proporcionou uma maior

perda de peso por DO. O aumento da temperatura provoca uma redução na viscosidade, reduzindo a resistência externa à transferência de massa. Além disto, há a mudança da permeabilidade da membrana celular, que depende da estrutura celular de cada fruta.

Entretanto, para Falade e Igbeka (2007) se utiliza temperaturas na faixa de 25 a 60 °C, embora exista uma temperatura limite (50 °C) para a desidratação de frutas para que não haja o escurecimento e perda do sabor. Borin et al. (2008) utilizaram a temperatura de 27 °C para a DO de abóbora e observaram que temperaturas acima de 40 °C podem provocar a ruptura da integridade dos tecidos da fruta e das membranas, podendo favorecer o ganho de solutos, contrariando, assim, o objetivo da DO que visa minimizar o ganho de solutos.

2.2.1.3 Tempo de imersão

Curvas de cinética podem indicar que a incorporação de soluto e a perda de água podem ser controladas pela duração do tempo de imersão do alimento na solução osmótica. Mudanças no gradiente de concentração da solução são devidas às alterações na fruta com o tempo. Em geral, na primeira fase da DO (0 a 2 horas), o ganho de solutos pelas amostras é comparável à perda de água. Na segunda fase (2 a 5 horas), a perda de água se torna maior do que o ganho de solutos, chegando esta a cerca de 50%. Por tais motivos, alguns autores aconselham o tempo máximo de 2 horas (BORIN, 2006; KOWALSKA; LENART, 2001). Porém, muitos autores desenvolveram seu trabalho em tempos superiores a 2 horas, mostrando que particularidades como tipo de alimento, concentração e tempo de imersão devem ser considerados (CORRÊA et al., 2010; GIRALDO et al., 2003; ITO et al., 2007b; KOWALSKA; LENART; LESZCZYK, 2008; MAYOR et al., 2006).

2.2.1.4 Forma do produto e presença de epiderme

A transferência de massa, perda de água e incorporação de solutos também dependem da forma que o produto entrará em contato com a solução, se inteiro, cortado ou descascado. O fator limitante para a remoção de água nas frutas e hortaliças pode estar na sua epiderme, já que a DO é governada predominantemente pela permeabilidade do alimento.

Silva (2009) verificou que ao trabalhar com abóbora para submeter à DO havia necessidade de se descascar e produzir fatias de 5 cm x 4 cm x 2 cm para o sucesso do processo durante a transferência de massa, velocidade, perda de água e incorporação de solutos. Tonon (2005), em um estudo de DO de fatias de tomate com NaCl e sacarose, observou que a imersão prévia de fatias de tomate em uma solução de hidróxido de sódio a 5%, 10% e 15% à temperatura de 25 °C por 60, 90 e 120 minutos causou rupturas na epiderme do tomate. Naquele estudo, verificou-se que quanto maior

for o tempo de imersão na solução de NaOH, maior seria a eficiência na DO posterior, ou seja, as fatias apresentavam maior perda de água e menor ganho de solutos osmóticos.

2.3 O pulso de vácuo na desidratação osmótica

A desidratação osmótica a pulso de vácuo (DOPV) objetiva a melhoria na qualidade dos alimentos, eficiência e economia de tempo, sendo utilizada como alternativa à DO sob pressão atmosférica (CORRÊA et al., 2010; FERRARI et al., 2011; ITO, 2007; MORENO et al., 2011).

A aplicação do vácuo causa a saída dos gases ou líquidos dos poros e a entrada da solução osmótica por meio de dois processos importantes: o mecanismo hidrodinâmico (MHD) e os fenômenos de deformação e de relaxação (FDR) (FERRARI; HUBINGER, 2008). No primeiro processo, a solução é transportada do interior dos poros por capilaridade (espaços

intercelulares) promovidos por mudanças de pressão. No segundo processo, há a impulsão do gás durante a etapa de vácuo, neste caso, a pressão atmosférica é restaurada e a compressão leva a uma grande redução no volume do gás remanescente nos poros da estrutura porosa de enchimento com um líquido.

A DOPV é conduzida em duas etapas depois que o produto é imerso no desidratador contendo a solução osmótica. Na primeira etapa, o sistema é submetido à aplicação do vácuo (50-200 mbar) por um curto período (5-15 minutos) com o equipamento fechado. Ao submeter o produto imerso na solução osmótica a pressões não atmosféricas, primeiramente o gás do interior dos poros sofre uma expansão para atingir o equilíbrio com a pressão imposta ao sistema, promovendo a saída dos gases da estrutura porosa do alimento. Como consequência da saída dos gases, ocorre uma penetração do líquido nos poros, visando restaurar este equilíbrio de pressões no sistema. Na

segunda etapa, depois da restauração da pressão atmosférica, ocorre um novo gradiente de pressão que tende a atuar como força motriz que promoverá o preenchimento dos espaços intercelulares com a solução. A quantidade de líquido impregnado na estrutura porosa dependerá do nível de desgaseificação e da pressão de trabalho (DENG; ZHAO, 2008; FITO; CHIRALT, 1997; GUILLEMIN et al., 2008; TORRES et al., 2006).

Entre as principais alterações ocorridas no processo de DOPV, estão a perda de turgor da célula, alterações na lamela média e na resistência da parede celular, mudanças nas frações de volume de ar e líquido na amostra, além de variações no tamanho e forma do alimento. A aplicação de um pulso de vácuo no processo de DO também provoca danos mecânicos na estrutura celular, como a separação celular, associada à deformação da amostra (ITO et al., 2007b).

O pulso de vácuo na DO influencia no ganho de solutos e no escurecimento dos tecidos vegetais.

Dados da literatura reportando o estudo da aplicação do pulso de vácuo na desidratação osmótica de abóbora são escassos, mas Mujíca-Paz et al. (2003), utilizando a metodologia de superfície de resposta estudaram o efeito da pressão de vácuo e do tempo de aplicação na perda de água e ganho de sólidos em fatias de diversas frutas. Os resultados obtidos para a maçã mostraram que o tempo de vácuo linear e a pressão de vácuo quadrática foram estatisticamente significativos, para estes parâmetros estudados.

Ito (2007), estudando a desidratação osmótica a pulso de vácuo de fatias de manga observou que para a obtenção da maior perda de água, menor ganho de sólidos e manutenção das propriedades reológicas, a melhor condição de processo encontrada para a desidratação osmótica de fatias de manga foi da utilização de solução osmótica na concentração de

60°Brix, temperatura de processo de 30 °C, aplicação de 10 minutos de pulso de vácuo e tempo de processo de 120 minutos. Neste ponto ótimo encontrado por Ito (2007), o estudo da cinética do processo revelou que o pulso de vácuo provocou uma maior perda de água e ganho de sólidos e, conseqüentemente, a difusividade efetiva também foi superior em comparação ao processo tradicional. Com o uso do pulso de vácuo, as fatias de manga processadas apresentaram melhores resultados para a conservação do teor de carotenoides e preservação das propriedades mecânicas significando que o uso do pulso de vácuo melhora o processo osmótico e permite a manutenção das características organolépticas do produto.

Corrêa et al. (2010) afirmam que o pulso de vácuo é mais eficaz em frutos tratados com altas concentrações de solução osmótica e a impregnação é dependente das características biológicas de cada fruto.

Diversos autores têm estudado a influência do pulso de vácuo na DO, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2 Variáveis utilizadas na desidratação osmótica com pulso de vácuo em trabalhos da literatura

Material	Peras	Melão	Goiaba
Concentração da solução	65 °Brix	40; 50; 60 °Brix	40; 50; 60 °Brix
Temperatura (°C)	30;40;50	30	40
Pulso a vácuo (mbar-min)	50-5	100-5;10;15	100-10;15
Tempo de imersão (min)	300	30 a 240	15 a 300
Referências	Moreno et al. (2011)	Ferrari et al. (2011)	Corrêa et al. (2010)

2.4 Antecedentes da desidratação osmótica de abóbora

Por apresentar boas qualidades nutritivas e sensoriais, aumento do consumo e da produção mundial, a abóbora tem sido utilizada por diversos pesquisadores para o estudo da desidratação osmótica, principalmente, em pressão atmosférica. Borin et al.

(2008) estudaram a influência da concentração de sacarose e NaCl na desidratação osmótica de fatias de abóbora para posterior secagem e verificaram que amostras tratadas apresentaram taxas de secagem maiores que amostras sem tratamento, mostrando que os pré-tratamentos melhoraram a eficiência do processo. Os tratamentos também melhoram a cor e a aparência geral das fatias secas, em relação às amostras sem tratamento.

Já Barbosa Júnior (2002) estudou a influência da temperatura e da concentração da solução na desidratação osmótica de abóbora utilizando metodologia de superfície de resposta e constatou que, de um modo geral, a temperatura teve menor influência do que a concentração de NaCl nas respostas analisadas e que o processo pode ser realizado nas maiores temperaturas e concentrações de NaCl, visto que as variáveis não alteraram significativamente o

conteúdo de carotenoides totais e diminuíram a atividade da água das fatias.

A desidratação osmótica de abóbora pode ser utilizada como pré-tratamento para o melhoramento de produtos acabados, tais como *chips* de abóbora obtidos por Borin (2006). Este autor, Falade e Shogaolu (2008) e Garcia, Mauro e Kimura (2007), utilizaram o processo combinado de desidratação osmótica e secagem, no qual obteve-se em um produto com boas características de qualidade, baixos teores de água e boa aceitação sensorial, mostrando que o processo de desidratação osmótica pode ser uma boa alternativa de aplicação de tecnologia para o desenvolvimento de um novo produto e agregação de valor à matéria-prima.

2.5 Aspectos de qualidade dos alimentos processados

O conhecimento das propriedades dos alimentos é necessário no desenvolvimento de projeto, no controle de qualidade e no acondicionamento dos produtos,

sempre visando preservar suas características pelo maior tempo possível. Uma qualidade do alimento é uma avaliação particular do seu comportamento como uma substância, ou, em termos de energia, sua interação com os sentidos humanos ou sua eficiência em promover a saúde e o bem-estar (MANNHEIM; LIU; GILBERT, 1994; VIDEV et al., 1990). De maneira geral, as qualidades dos alimentos são vistas sob suas propriedades e classificadas em propriedades físicas, físico-químicas, sensoriais e funcionais (GIRALDO et al., 2003).

O conhecimento das alterações com o processamento nas propriedades dos alimentos tais como viscosidade, textura e cor, é necessário para o melhoramento dos processos. Apesar dos benefícios do processo osmótico frente aos processos de conservação convencionais (tais como a manutenção da textura e da cor), a perda de água e de sólidos naturais do alimento e a incorporação de sólidos da solução osmótica são

responsáveis por modificações nas propriedades viscoelásticas do tecido e alterar as suas características sensoriais.

No início do processo osmótico, a aplicação de um pulso de vácuo pode provocar danos mecânicos na estrutura celular, como a separação celular e o encolhimento do material em estudo. Por isso, para não haver prejuízo nessas características de qualidade, as condições do processo de desidratação osmótica, tanto à pressão atmosférica quanto com aplicação de um pulso de vácuo, devem ser avaliadas visando o mínimo dano ao produto.

2.5.1 Textura e cor dos alimentos

Numa visão geral dos atributos dos alimentos, a textura é um dos mais importantes entre aqueles que afetam a preferência e a aceitação por parte dos

consumidores e está relacionada à estrutura do alimento, pertencendo assim, às propriedades mecânicas ou reológicas (COSTELL; FISZMAN; DURÁN, 1997). Como os hábitos dos consumidores tornaram-se mais sofisticados, a importância da textura e sua interação com outros atributos sensoriais (sabor e cor) vem aumentando significativamente, sendo necessário estabelecer técnicas eficientes de preservação, com o mínimo de dano ao produto.

A cor é uma importante propriedade em alimentos, já que na decisão de ingerir um alimento leva-se em conta o seu aspecto visual, especialmente a cor. Para Falade e Igbeka (2007), a desidratação osmótica confere à fruta melhores características de textura, uma maior retenção das vitaminas, intensificação do “flavor” e estabilidade na cor em relação à fruta desidratada por secagem convencional.

Em um estudo realizado com abóbora por Silva et al. (2011), avaliando a cor, textura, encolhimento,

cinética de secagem e atividade de água em fatias branqueadas e a desidratadas osmoticamente verificaram, entre outros resultados que, o branqueamento por etapas proporcionou menor intensidade de cor nas amostras secas, em comparação com o convencional, além de que, na análise sensorial os provadores não perceberam diferenças na textura entre as amostras mas perceberam a cor, com preferência para a cor mais intensa das amostras pré-tratadas com branqueamento convencional do que as tratadas osmoticamente. Entretanto, a aceitação geral das duas amostras foi boa, mostrando que os produtos obtidos têm possibilidade de serem comercializados.

Rodrigues, Cunha e Hubinger (2003) estudaram o efeito da desidratação osmótica em fatias de mamão, usando solução de sacarose com diferentes aditivos nas propriedades reológicas (tensão de ruptura e tempo de relaxação) e nos parâmetros de cor ao longo de 7 horas de processo. Verificaram que as propriedades

reológicas para os diferentes aditivos variam durante o processo onde os sais de cálcio mostraram-se mais adequados para tempos curtos de processo (abaixo de 2h).

Ainda neste estudo do Rodrigues, Cunha e Hubinger (2003), quanto aos parâmetros de cor, os valores de croma aumentaram, mostrando a intensificação da cor durante o processo. A luminosidade mostrou um ligeiro aumento para amostras tratadas com cloreto de cálcio, mas para os outros tratamentos a luminosidade diminuiu na primeira hora, retornando para os valores iniciais ao longo do processo.

2.5.2 Carotenoides

Carotenoides são substâncias químicas de um grupo de substâncias tetraterpênicas relacionadas ao caroteno, que são pigmentos amplamente difundidos na

natureza. Caracterizam-se por exibir cores que vão do amarelo ao vermelho e ser lipossolúveis.

Os mais de 900 tipos de carotenoides conhecidos são divididos em dois grupos: carotenos e xantofilas. Os carotenos são pigmentos alaranjados, que dão cor à cenoura, por exemplo; são puramente hidrocarbonetos e não contêm oxigênio. Já as xantofilas podem variar de amarelo a marrom-avermelhado e contêm oxigênio.

Em relação à abóbora, os teores de carotenoides variam conforme as variedades. Para Silva (2009), constatou uma variabilidade muito grande no teor de carotenoides entre as amostras, ainda da mesma variedade. Nos frutos de *C. moschata* variedade Baianinha, Menina e Exposição, o beta-caroteno foi o principal carotenoide com 36,1 a 73,8% do total.

A vitamina A é também conhecida por axeroftol ou retinol, ou ainda vitamina A1, uma vez que foi a primeira vitamina conhecida. Nas hortaliças é

encontrada como pró-vitamina A, principalmente como alfa, beta e gama-caroteno (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

Muitos alimentos contêm atividade de vitamina A, contudo fontes de dietas um pouco mais ricas utilizam hortaliças verdes e amarelas. Esta vitamina, bem como outras vitaminas, é susceptível aos processos de estocagem e cozimento. Ainda que a vitamina A e os carotenoides, em sua maioria, sejam completamente estáveis a moderados tratamentos térmicos, a oxidação ocorre rapidamente a altas temperaturas na presença de oxigênio (KALLUF, 2006). Ainda para este autor, o beta-caroteno é uma das pró-vitaminas mais estáveis em vegetais, mas pode sofrer degradação durante cozimentos prolongados. Além disso, durante o armazenamento, sofre a ação das enzimas, da luz e do oxigênio.

A utilização de altas temperaturas, como na desidratação de frutas e hortaliças, pode reduzir a atividade biológica dos carotenoides, por outro lado,

sua estabilidade é mantida nos alimentos congelados (ZENOOZIAN et al., 2008).

2.5.3 Avaliação Estrutural: Microscopia

As técnicas de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura ou transmissão têm se mostrado eficientes no conhecimento da microestrutura de frutas e hortaliças nos últimos anos, apresentando uma boa correlação com as características de textura dos tecidos vegetais (ZENOOZIAN et al., 2008).

De acordo com Moreno et al. (2011), o conhecimento das alterações microestruturais pode ajudar a ampliar a percepção sobre a função dos diferentes ingredientes nessas alterações, permitindo um melhor controle da textura e de outros parâmetros de qualidade.

Com este propósito, e com a vista a obtenção de informações valiosas para um melhor entendimento do material processado, a microscopia e outras técnicas de

imagem estão sendo amplamente utilizadas, permitindo que a estrutura do alimento seja visualizada.

Para Mayor, Cunha e Sereno (2007), a avaliação estrutural das fatias de abóbora por meio das imagens de microscopia eletrônica de varredura, foi importante para o estudo dos danos causados pelo processo osmótico nas células onde correlacionam a perda de turgor e a tensão de ruptura do material. Verificaram que a alteração das propriedades microestruturais do material não dependia da concentração da solução osmótica, mas sim, da temperatura do processo.

2.6 Modelos matemáticos

Existem inúmeros modelos na literatura que são utilizados para representar as curvas de cinética de desidratação osmótica de alimentos sendo algumas apresentadas a seguir.

2.6.1 Modelos de cinética

As equações utilizadas para descrever a cinética do processo osmótico são complexas e geralmente específicas para certas condições de processo e configurações geométricas (placa plana, cilindro, entre outras), além de não predizerem o ponto de equilíbrio. Estes modelos são baseados na lei de difusão de Fick. Os dados experimentais são adequados a modelos matemáticos para estimar os coeficientes de difusão da água e dos sólidos, nomeadamente, modelo de difusão unidirecional (MDU) e modelo hidrodinâmico (MHD).

2.6.1.1 Modelo de difusão unidirecional (método 1)

O modelo é baseado na equação de difusão unidirecional de Fick (CRANK, 1975):

$$\frac{\partial MC(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff} \frac{\partial MC(t)}{\partial z} \right) \quad (1)$$

Onde $MC(t)$ é a quantidade de água ou sólidos no instante t , D_{eff} é a difusividade efetiva e z é uma coordenada genérica direcional.

Para a resolução da equação 1, utiliza-se condições iniciais e limitantes:

- a) a condição inicial das amostras revela a quantidade uniforme de água e/ou sólidos, isto é,

$$MC_{(z,0)} = MC_o; \quad (2)$$

- b) para a geometria de placa plana a adotar, considera-se o alimento como uma placa de espessura $2L$;

- c) as condições limitantes são a simetria de concentração $\frac{\partial MC(t)}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0$, e o teor de equilíbrio na superfície da amostra $MC_{(L,t)} = MC_{eq}$;

Assim, a equação unidirecional de Fick torna-se:

$$W_{wous} = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{eff,wous} \frac{t}{4L^2}\right) \right] \quad (3)$$

Onde: $D_{eff, w ou s}$ é a difusividade efetiva da perda de água ou ganho de sólidos, i é o número de termos da série, L é o comprimento característico (meia espessura da amostra), t é o tempo e $W_{w ou s}$ é a quantidade adimensional de água ou sólidos, dada pela seguinte expressão:

$$W_{wous} = \frac{MC(t) - MC_{eq}}{MCo - MC_{eq}}, \quad (4)$$

em que, $MC(t)$ se obtêm de acordo com a equação de Peleg (1988) e MC_{eq} se baseia na aproximação de equilíbrio assintoticamente - equação de Palou et al. (1993).

$$MC(t) = MCo \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (5)$$

$$MC_{eq} = \lim \left(MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \right) = MC_0 \pm \frac{1}{k_2} \quad (6)$$

Os parâmetros da equação de Peleg (k_1 e k_2) e a difusividade efetiva são obtidos por estimativa não linear com software *Statistica*.

2.6.1.2 Modelo hidrodinâmico (método 2)

A consideração do modelo hidrodinâmico associado à lei de difusão de Fick pode promover um melhor entendimento do fenômeno de transferência de massa em DOPV até a aproximação ou o alcance do equilíbrio.

$$z_{\infty}^{SS} = y_{\infty}^{SS} \quad (7)$$

Onde z_{∞}^{SS} – é a fração mássica de sólidos solúveis no alimento e y_{∞}^{SS} – é a fração mássica de sólidos

solúveis na solução osmótica, ambos no estado de equilíbrio.

Como o resultado, da difusividade efetiva (ou pseudo difusividade) será a mesma para ambos os componentes água e sólidos, então:

$$D_{eff_{w\ or\ s}} = D_{eff_w} = D_{eff_s} \quad (8)$$

A variação na composição da fase líquida relacionada ao mecanismo hidrodinâmico (MHD) ocorre no princípio do processo ($t = 0$) até $t = t_{HDM}$, onde este mecanismo é dominante e é dependente de gradientes de pressão. Isto é:

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{HDM}} \cong k \quad (9)$$

As mudanças na composição são função da força motriz reduzida, Y , dada por:

$$Y = Y_t^w = Y_t^s = \frac{z_t^w - z_{eq}^w}{z_0^w - z_{eq}^w} \quad (10)$$

Por isso, após este período, o fenômeno é modelado com a equação de Fick para uma camada semi-infinita e curto tempo (CRANK, 1975), com a aproximação e simplificação sugeridas por Fito e Chirald (1997):

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{HDM}} = 2 \left(\frac{D_{eff} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Estes dois efeitos (dos mecanismos hidrodinâmico e pseudo-fickiano) são acoplados e considerados por linearização:

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{HDM}} = k + 2 \left(\frac{D_{eff} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (12)$$

em que, os parâmetros D_{eff} e k são obtidos para cada experimento por linearização da equação 12 ajustado por uso de logaritmo resultando em $1 - Y_t^w \Big|_{PD, t > 0}$ versus $t^{0.5}$.

O critério para avaliação do modelo que resulta em melhor ajuste deve ser a estimativa de desvio médio relativo (P):

$$P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Obs - Pred)^2}{n}} \quad (13)$$

em que, Obs é o valor observado, $Pred$ é o valor predito e, n o número de observações.

2.6.2 Modelos de relaxação de tensão

As teorias clássicas, que descrevem o comportamento reológico de materiais idealmente elásticos não são suficientes para explicar o comportamento de muitos materiais conhecidos, entre

eles os alimentos sólidos e semissólidos. A grande maioria desses alimentos apresenta características de sólidos elásticos e líquidos viscosos, podendo assim ser classificados como viscoelásticos em que o seu comportamento pode ser explicado por teorias de elasticidade. Sendo assim, o entendimento de conceitos básicos, como força, deformação, tensão e deformação relativa são importantes para descrever o seu comportamento reológico (STEFFE, 1992).

O teste de relaxação baseia-se na aplicação de uma deformação instantânea a um corpo e na manutenção dessa deformação durante todo período do teste. A forma como o corpo reage à tensão imposta é então monitorada em função do tempo como demonstrado na Figura 2. No caso de alimentos, é importante que o tempo e a deformação aplicada sejam suficientemente pequenos (na ordem de minutos, por exemplo, 10 min ou menos), para minimizar a ocorrência de alterações físicas no material (AMAMI

et al., 2007), principalmente devido à troca de umidade com o ambiente.

O Analisador de Textura TA-TX2 é um equipamento que consiste num sistema hidráulico para a movimentação de um pistão a uma velocidade variável conforme o método, ao qual é conectado um dispositivo que entra em contato com a amostra, registrando a resistência na forma de curvas das quais são obtidos os parâmetros para os modelos matemáticos de previsão de textura. Costell, Fiszman e Durán (1997) descrevem alguns modelos matemáticos para materiais viscoelásticos, os quais incorporam o elemento elástico (representado por uma mola) e o elemento viscoso (representado por um amortecedor). Considerando-se a mola como um corpo elástico ideal, ela segue a lei de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (14)$$

e o amortecedor, como um elemento fluido ideal, segue a Lei de Newton:

$$\sigma = \eta \dot{\varepsilon} \quad (15)$$

onde σ é a tensão, E é a constante de elasticidade, ε é a deformação do elemento elástico e η é a viscosidade.

2.6.2.1 Modelo de Peleg & Normand

Peleg e Normand (1983) sugerem que os dados de relaxação de tensão podem ser tratados como uma tensão normalizada e pode ser descrita pela equação linear (16) abaixo, onde o inverso de k_1 representa a taxa de decaimento inicial e k_2 , um hipotético valor da força assintótica normalizada que permanece sem relaxar (STEFFE, 1992):

$$\frac{\sigma_0 t}{\sigma_0 - \sigma} = k_1 + k_2 t \quad (16)$$

2.6.2.2 Modelos de Maxwell

Este modelo é representado mecanicamente por uma mola e um amortecedor dispostos em série. Por este modelo, segundo Costell, Fiszman e Durán (1997), a deformação total (ε) é a soma da deformação dos dois elementos e a tensão (σ) é a mesma nos dois elementos.

$$\varepsilon_{(t)} = \varepsilon_{\eta} + \varepsilon_E \quad (17)$$

e

$$\sigma = \sigma_{\eta} = \sigma_E \quad (18)$$

onde os sub-índices η e E são referentes aos elementos viscoso e elástico.

Diferenciando-se a equação (17) com relação ao tempo, tem-se:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \dot{\varepsilon} = \frac{1}{E} \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) + \frac{\sigma}{\eta} \quad (19)$$

ou

$$\sigma + \lambda_{\text{rel}} \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) = \eta \varepsilon \quad (20)$$

onde

$$\lambda = \frac{\eta}{E} \quad (21)$$

Num teste de relaxação de tensão, a deformação é mantida constante e, portanto, a taxa de deformação é igual a zero ($\dot{\varepsilon} = 0$) e a equação (20) se torna:

$$\sigma + \lambda_{\text{rel}} \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) = 0 \quad (22)$$

Integrando-se a equação (22) com $\sigma = \sigma_0$ em $t = 0$ obtém-se

$$\sigma=f(t)=\sigma_0 \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{\text{rel}}}\right) \quad (23)$$

A equação (23) descreve o comportamento de uma curva Tensão *versus* Tempo, com deformação constante ε_0 (STEFFE, 1992). λ_{rel} representa o tempo de relaxação que é o tempo em que a tensão inicial se reduz a uma fração de σ_0/e , que é equivalente a 36,8% da mesma (COSTELL; FISZMAN; DURÁN, 1997).

Dados experimentais mostram que este modelo não se ajusta a vários materiais viscoelásticos, pois este não inclui a tensão de equilíbrio σ_e (figura 2), que pode ser representada por uma mola em paralelo ao modelo de Maxwell. Isto pode ser visualizado na figura 3. Incluindo-se esta tensão de equilíbrio, a equação (23) torna-se:

$$\sigma=f(t)=\sigma_e +(\sigma_0 -\sigma_e) \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{\text{rel}}}\right) \quad (24)$$

Ou

$$\sigma = f(t) = \varepsilon_0 \left(E_1 \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{rel}}\right) + E_e \right) \quad (25)$$

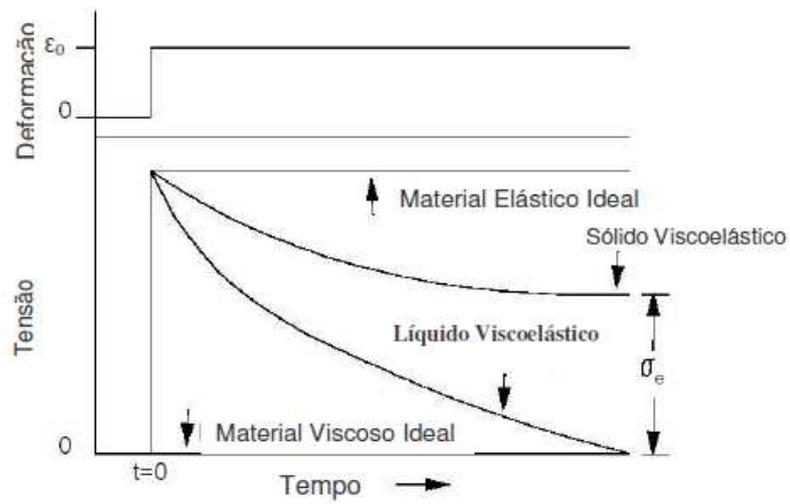


Figura 2 Curvas de relaxação de tensão

Fonte: Adaptada de Steffe (1992)

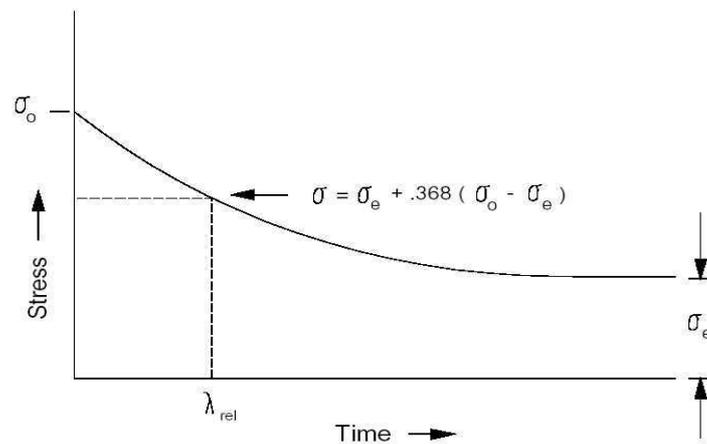


Figura 3 Curva típica obtida de teste de relaxação de tensão para um modelo de Maxwell com uma mola em paralelo

Fonte: Adaptada de Steffe (1992)

2.6.2.2.1 Modelo de Maxwell Generalizado

Este modelo, representado mecanicamente por um número infinito de modelos de Maxwell mais uma mola em paralelo, representa melhor os materiais viscoelásticos, incluindo os materiais biológicos, porque estes muitas vezes não se relaxam com uma velocidade uniforme, e sim em etapas distintas com mais de um tempo de relaxação.

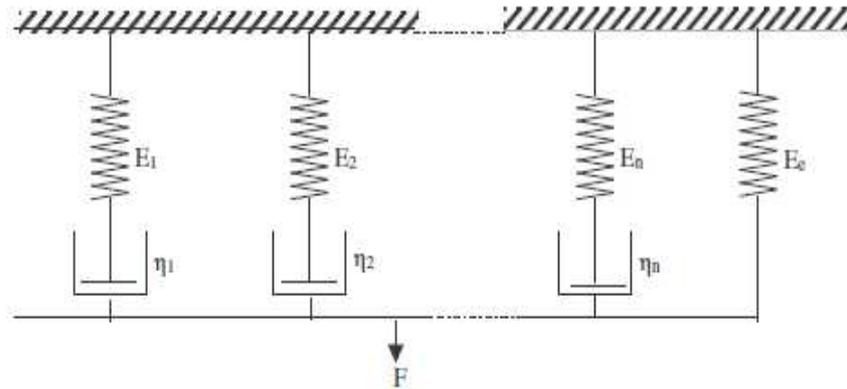


Figura 4 Representação esquemática do Modelo de Maxwell Generalizado

Fonte: Costell, Fiszman e Durán (1997)

Para uma deformação constante ε_0 o valor da tensão será dada por:

$$\sigma = f(t) = \varepsilon_0 (E_1 \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{rel1}}\right) + E_2 \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{rel2}}\right) + \dots + E_e) \quad (26)$$

onde E_1, E_2, \dots são os módulos de elasticidade do corpo elástico ideal, E_e o módulo em equilíbrio; λ_1 e λ_2 são os tempos de relaxação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

A abóbora (*Cucurbita moschata* Duch.) de variedade JACARÉ foi adquirida no comércio local de Lavras-MG. Os frutos utilizados foram selecionados com base em características uniformes de maturação, fornecendo frutos com casca de cor amarela e esverdeada (70% da cor da casca amarela), tamanho ($275,03 \pm 1,12$ mm de comprimento, $1159,38 \pm 2,01$ mm de diâmetro e $33,29 \pm 1,00$ mm de espessura do pericarpo) e formato oval a oblongo. Escolheram-se frutos com firmeza e sem danos físicos para minimizar as diferenças na amostragem e, em seguida, foram armazenados sob refrigeração a 10 °C por até 20 dias. Antes de serem armazenados os frutos foram lavados com água e detergente neutro e acondicionados em lugar seco e fresco. A Figura 5 ilustra o aspecto da coloração dos frutos utilizados.



Figura 5 Coloração característica da abóbora JACARÉ utilizada nos experimentos

3.2 Métodos

A composição e as características da matéria-prima foram determinadas pelo meio de uma série de análises físicas e físico-químicas descritas a seguir.

3.2.1 Preparo das amostras

As abóboras previamente selecionadas foram lavadas em água corrente, e imersas em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 15 minutos e, em seguida, enxugadas cuidadosamente com papel toalha e foram cortadas com uma faca de aço inox para a retirada da casca e das sementes. Posteriormente, obteve-se amostras de abóbora com espessura de 0,5 cm em formato de fatias de 2 cm x 2 cm com um molde de aço inox. O formato de fatia foi escolhido para facilidade de uso com modelos cinéticos para a determinação da difusividade.

3.2.2 Caracterização da matéria-prima

A matéria-prima foi caracterizada quanto a sua composição centesimal, em relação aos teores de água, cinza, lipídeos, proteínas, fibra e glicídios. A caracterização física foi realizada por meio de medidas de peso, comprimento, diâmetro, espessura do pericarpo e cor da casca.

A determinação do teor de água foi feita por processo indireto em estufa a vácuo a 70 °C, segundo Association of Official Analytical Chemistry - AOAC (2005). O extrato etéreo (ou lipídeos) foi determinado pelo método de Soxhlet, utilizando-se como solvente o éter, segundo AOAC (2005). A proteína foi determinada pelo método de Kjeldahl, segundo AOAC (2005). O teor de cinzas (resíduo mineral fixo) foi medido gravimetricamente após calcinação das amostras em mufla a 550 °C, segundo AOAC (2005). A fibra bruta foi determinada por meio da hidrólise ácida, segundo AOAC (2005). A fração glicídica,

também chamada de sacarídeos ou E.N.N. (extrato não nitrogenado), compreendendo os carboidratos mais digeríveis, ou seja, que não estão incluídos na fração fibra foi determinada por diferença entre 100 e o total da soma de todos os outros constituintes, sendo o resultado encontrado numa representação da fração glicídica (energética) do produto.

A determinação do comprimento, diâmetro e espessura dos frutos foi realizada com o auxílio de um paquímetro digital. O comprimento correspondeu à medida longitudinal do fruto, o diâmetro, ao valor medido na porção mais larga da abóbora e a espessura, a medida do pericarpo dos frutos. O peso do fruto inteiro foi obtido.

A caracterização da matéria-prima foi realizada em triplicata e os resultados foram reportados como médias.

3.2.3 Branqueamento das amostras

As amostras fatiadas foram submetidas ao branqueamento por imersão em água fervente, por um período de três minutos. A temperatura de imersão foi mantida com auxílio de um banho termostaticado. Cada béquer de 600 mL continha 18 fatias. Após a

imersão em água fervente, as fatias foram retiradas dos béqueres e resfriadas por 2 minutos em água corrente. Em seguida as fatias tiveram sua superfície seca com papel absorvente para a retirada do excesso de umidade da superfície.

3.3 Planejamento experimental

Foi utilizada uma estratégia sequencial de planejamentos para otimização do processo de desidratação osmótica de abóbora com o uso do pulso de vácuo (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

3.3.1 Delineamento experimental de Plackett & Burman (PB)

Inicialmente, foi realizado um planejamento de Plackett & Burman com 12 ensaios mais 3 pontos centrais totalizando 15 ensaios do planejamento, tendo

5 variáveis independentes: temperatura (°C); concentração de NaCl (%); concentração de sacarose (%); pressão de pulso de vácuo (mbar) e; tempo de pulso de vácuo (min). Foram avaliadas as influências dessas variáveis sobre a porcentagem de perda de água, atividade de água, ganho de sólidos, cor, pH, e encolhimento. Estas variáveis respostas foram estudadas, pois constituem os principais parâmetros de qualidade da fatias desidratadas e correlacionam-se com a retenção dos carotenoides, textura e imagem microestrutural das fatias de abóbora.

A tabela 3 mostra a correlação entre valores codificados e reais para cada variável independente estudada no planejamento Plackett & Burman.

Tabela 3 Valores codificados e reais das variáveis independentes do planejamento de Plackett & Burman

Variável independente	Código	Níveis		
		-1	0	1
Temperatura (°C)	X ₁	30	40	50
Concentração de NaCl na solução (/%)	X ₂	0	7,5	15
Concentração de sacarose na solução (%)	X ₃	15	25	35
Pressão de pulso de vácuo (mbar)	X ₄	50	100	150
Tempo de pulso de vácuo (min)	X ₅	5	10	15

Os dados foram analisados usando-se o *software Statistica* versão 8.0 e as variáveis estatisticamente significativas foram posteriormente escolhidas para um Delineamento Composto Central Rotacional para otimização do processo. Pela análise estatística foram considerados os parâmetros com p valores menores que 10%. Este valor de significância ($p < 0,10$) foi adotado neste trabalho de modo a minimizar o risco de excluir da etapa seguinte algum fator importante para o processo.

3.3.2 Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

Do delineamento anterior, foram consideradas as variáveis que tiveram maiores efeitos sobre as principais variáveis dependentes. Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nos parâmetros de qualidade de fatias de abóbora estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de segunda ordem. Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em três níveis codificados como (-1, 0, +1) calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_i = (X_i - Z) / \Delta X_i \quad (27)$$

onde: x_i – valor codificado da variável X_i ; X_i – valor real da variável; Z – valor real da variável no ponto central; ΔX_i – valor do intervalo de variação de x_i .

Esse delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificados como $(-\alpha)$ e $(+\alpha)$. O valor depende do número fatorial ($F=2^k$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($K = 4$) sendo o valor definido pela equação (RODRIGUES; IEMMA, 2009):

$$\alpha = \pm(F)^{1/4} = \pm(2^k)^{1/4} = \pm 2 \quad (28)$$

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo

com base nos efeitos destes fatores no delineamento anterior.

Para análise de resultados experimentais, o delineamento descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_n) com a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos como segue:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (29)$$

Mediante uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinómio de segunda ordem com as variáveis explicativas (X_n). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
Y_i = & \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \\
& \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \\
& \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (30)
\end{aligned}$$

onde:

Y_i – resposta predita

X_1, X_2, X_3, X_4 – valores das variáveis independentes

β_0 – coeficiente relativo à interceptação do plano com o eixo resposta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{44}$ – coeficientes das variáveis quadráticas

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{34}$ – coeficientes de interação entre as variáveis independentes

ε – erro experimental.

Os níveis das variáveis independentes utilizadas encontram-se na tabela 4 e o processo foi conduzido à temperatura de 40 °C.

Tabela 4 Valores codificados e reais das variáveis independentes do planejamento Composto Central Rotacional

Variável independente	Código	Níveis				
		-2	-1	0	1	2
Conc. de NaCl na solução (/%)	X ₁	0	5	10	15	20
Conc. de sacarose na solução (%)	X ₂	15	25	35	45	55
Pressão de pulso de vácuo (mbar)	X ₃	100	125	150	175	200
Tempo de pulso de vácuo (min)	X ₄	5	10	15	20	25

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de Fisher, segundo o qual um modelo de regressão é significativo a certo nível de significância, quando o valor do teste F para a regressão é maior ou igual ao do teste F tabelado neste mesmo nível de significância; e quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo.

O processamento dos dados e a análise estatística foram elaborados com o auxílio do programa

computacional *Statistica* versão 8.0. O modelo foi reajustado utilizando-se a técnica “backward elimination procedure” que permite examinar a melhor regressão eliminando-se os termos não significativos, isto é, apresentando uma probabilidade de significância ($p < 0,05$) com exceção de alguns casos, considerando, inclusive, algumas interações. Assim, pela análise estatística foram considerados significativos os parâmetros com p valores menores que 5% ($p < 0,05$).

Baseando-se na equação de regressão obtida para cada variável dependente, variando-se duas variáveis independentes enquanto a terceira e a quarta permanecem constantes, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de contorno com ajuda do programa *Statistica* versão 8.0.

3.3.3 Otimização e validação das condições do processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo de abóbora

A otimização simultânea das respostas obtidas foi realizada segundo a metodologia proposta por Derringer e Suich (1980). O método se baseia em converter cada variável resposta (Y_i) em uma função de desejabilidade individual (d_i) com valores restritos ao intervalo $[0,1]$, sendo o valor zero atribuído a uma resposta indesejável e o valor 1 atribuído a uma resposta desejável. A natureza de cada função desejabilidade depende dos objetivos dos experimentos, podendo-se maximizar ou minimizar uma resposta e até mesmo atingir um valor alvo desejável (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Uma vez que as funções desejabilidade individuais para os valores preditos de cada variável resposta foram especificadas, estas foram combinadas numa desejabilidade global (D) por meio da média geométrica das n desejabilidades individuais (Equação 31) a qual foi maximizada (valores de D próximos a 1)

o que reduz a otimização simultânea a um único valor ótimo.

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \dots \times d_n)^{1/n}$$

(31)

Assim, com o auxílio da função desejabilidade foi obtido o conjunto das condições otimizadas do processo de desidratação osmótica das fatias de abóbora tendo em conta à maximização das perdas de água, minimização do ganho de sólidos, a atividade de água e a umidade e a manutenção as características de cor, textura e imagem microestrutural das fatias de abóbora.

Para realizar a validação das condições do processo preditas, foram realizados experimentos utilizando a condição estabelecida pela otimização e comparados os valores preditos pelos modelos aos valores obtidos experimentalmente.

3.3.4 Cinética de desidratação osmótica com uso de pulso de vácuo (DOPV)

A cinética de DOPV foi conduzida após a otimização do processo onde amostras submetidas ao melhor tratamento do processo foram desidratadas. Para tanto, a faixa de concentração de NaCl na solução foi de 15 a 20%, a concentração de sacarose foi de 45 a 55%, a pressão do pulso de vácuo foi de 160 mbar e o tempo do pulso de vácuo ficou em 10 minutos. A tabela 5 mostra os valores e os níveis utilizados para a validação dos resultados e construção das curvas de cinética do processo. O processo foi conduzido à temperatura de 40 °C por 15; 30; 60; 120; 180; 240; 300 minutos.

Tabela 5 Valores e os níveis do ponto ótimo para a validação dos resultados e construção das curvas de cinética do processo

Variável independente	Código	Valor	Nível codificado
Conc. de NaCl na solução (%)	X ₁	17,5	+1,5
Conc. de sacarose na solução (%)	X ₂	50	+1,5
Pressão de pulso de vácuo (mbar)	X ₃	160	+0,4
Tempo de pulso de vácuo (min)	X ₄	10	-1,0

As análises de cor, pH, teor de água, atividade de água, sólidos totais, NaCl incorporados, textura, teor de carotenoides e imagem microestrutural foram realizados antes e após cada tratamento. Os resultados obtidos para cada tempo de desidratação estudado foram comparados com o material *in natura* (tempo zero) a fim de investigar os efeitos do processo no produto.

3.3.4.1 Ajuste de modelos de cinética

A análise do processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo, os ajustes das curvas experimentais e o cálculo da difusividade efetiva foram

realizados de acordo com a segunda Lei de Fick para geometria de placa plana infinita, conforme equações 3, 4 e 5 (método 1) e equações 10, 12 e 13 (método 2). Foi usado o valor de meia espessura inicial das amostras.

Para a determinação da difusividade efetiva pelo modelo difusional de Fick (método 1), inicialmente estimaram-se a umidade e o ganho de sólidos no equilíbrio (MC_{eq}) por meio da equação de Peleg (Equação 5), onde os parâmetros da equação (k_1 e k_2) foram obtidos por meio da estimativa não linear do programa *Statistica* 8. Na equação (5), $MC(t)$ é dado pela umidade ou ganho de sólidos (kg) após o tempo t de processo e MC_0 (massa inicial de água (kg)) somente é considerado para a umidade, já que o ganho de sólidos inicial é zero.

Com o valor no equilíbrio, calculou-se o adimensional do conteúdo de água ou de sólidos W_w ou s por meio da Equação (4). Com os valores dimensionais, calculou-se a difusividade pela Equação (3) por meio da estimativa não-linear do programa *Statistica* 8.0 em que se obteve o valor da difusividade efetiva, considerando os 8 termos da série da Equação (3).

$$W_{w\text{ous}} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \begin{aligned} &\left(\frac{1}{289 \exp(289K\pi^2 t)} \right) + \left(\frac{1}{225 \exp(225K\pi^2 t)} \right) \\ &+ \left(\frac{1}{169 \exp(169K\pi^2 t)} \right) + \left(\frac{1}{121 \exp(121K\pi^2 t)} \right) + \left(\frac{1}{81 \exp(81K\pi^2 t)} \right) \\ &+ \left(\frac{1}{49 \exp(49K\pi^2 t)} \right) + \left(\frac{1}{25 \exp(25K\pi^2 t)} \right) + \left(\frac{1}{9 \exp(9K\pi^2 t)} \right) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Sendo K dado por:

$$K = \frac{D_{\text{eff } w\text{ous}}}{4L^2} \quad (33)$$

A difusividade efetiva pelo modelo proposto por Fito e Chirald (1997) (método 2) por meio da equação (12), obteve-se uma relação empírica para determinar as constantes cinéticas do processo.

$$1 - Y = K_1 + K_2 \sqrt{t} \quad (34)$$

Onde K_1 representa a contribuição do MHD na variação total da massa das amostras, enquanto que K_2

representa o efeito global do mecanismo pseudo-difusional na mudança de massa das amostras e Y é calculado pela Equação (10). Deste modo, construiu-se o gráfico de $1-Y$ versus \sqrt{t} e com o coeficiente angular da reta obtém-se o K_2 , dado por:

$$K_2 = 2\sqrt{\frac{D_{\text{eff}}}{\pi L^2}} \quad (35)$$

Para a comparação entre as difusividades encontradas pelos diferentes métodos, utilizou-se o desvio médio relativo (P) calculado pela Equação (13).

3.4 Sistema experimental da desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica foi conduzido em um equipamento projetado para trabalhar à pressão atmosférica e também a vácuo. O desidratador é composto por uma câmara encamisada de aço inox com volume útil de 50 litros, volume

mínimo de operação de 10 litros e acesso pela parte superior (figura 6). O controle da temperatura de trabalho é feito por um banho termostático acoplado à camisa da câmara, permitindo faixa de temperatura de trabalho desde a temperatura ambiente até 70 °C.

Uma bomba de vácuo acoplada ao sistema permite a formação do vácuo em diferentes valores de pressão reduzida (até 760 mmHg). A agitação da solução é por meio de uma pá ligado ao respectivo motor. O equipamento permite a aquisição de dados de temperatura da solução osmótica, pressão de vácuo e agitação da solução osmótica.

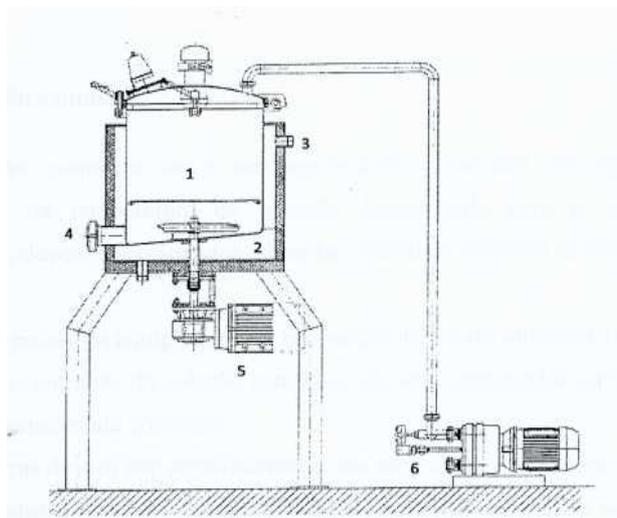


Figura 6 Detalhes do sistema experimental

Legenda:

- 1 – interior do desidratador osmótico
- 2 – Interior da camisa do equipamento
- 3 – Comunicação da camisa com o banho termostático
- 4 – Saída para a retirada da solução osmótica
- 5 – Motor acoplado à pá para promover agitação
- 6 – Bomba de vácuo

3.5 Experimentos de desidratação osmótica

A solução osmótica foi previamente colocada no equipamento para a homogeneização da temperatura da solução determinada para o processo. Para esta homogeneização foi acionada a rotação da pá localizada no interior do tanque e o banho termostático conectado à camisa do equipamento (Fig. 6). As amostras foram condicionadas em uma única camada em pequenas caixas de aço inox perfurada, fechadas e, então, imersas na solução osmótica previamente estabilizada com relação à temperatura do processo. Estas caixas permitiam que as amostras fossem

identificadas uma a uma conforme sua posição no interior das mesmas.

No processo de DOPV, após as caixas com as amostras serem acondicionadas no desidratador, o vácuo foi aplicado pelo acionamento da bomba de vácuo. Após aplicação do vácuo, o desidratador foi aberto e o processo prosseguiu a pressão atmosférica. Portanto, as caixas foram retiradas do equipamento em tempos pré-determinados.

Estas amostras foram imediatamente imersas em banho de gelo e água destilada para cessar a desidratação e retirar o excesso de solução desidratante e, então, secas com papel absorvente. As amostras foram pesadas e colocadas em embalagens herméticas mantidas sob refrigeração (7 °C) para a realização das análises posteriores. Tais análises foram realizadas dentro de 48 h após o processo. As amostras foram analisadas em termos de perda de água (WL), ganho de

sólidos (SG) e redução de peso (WR), de acordo com as equações:

$$WL = \frac{(W_o \times X_o) - (W_t \times X_t)}{W_o} \quad (36)$$

$$SG = \frac{(W_t \times B_t) - (W_o \times B_o)}{W_o} \quad (37)$$

$$WR = \frac{(W_o - W_t)}{W_o} \times 100 \quad (38)$$

Onde: WL – Perda de água (kg/kg)

W_o – Peso inicial da amostra (g)

W_t – Peso da fatia depois do tratamento (g)

X_o – Teor de água inicial (kg de água/ kg de matéria seca)

X_t – Teor de água depois do tratamento (kg de água/ kg de matéria seca)

SG – Ganho de sólidos (°Brix)

B_o – Sólidos solúveis a $t = 0$ (°Brix)

B_t – Sólidos solúveis depois do tratamento (°Brix)

WR – Redução de peso (kg/kg)

3.6 Determinação dos parâmetros de qualidade

Os parâmetros de qualidade das fatias de abóbora osmoticamente desidratadas com o uso do pulso de vácuo, nomeadamente, a cor, pH, sólidos solúveis, atividade de água, textura, carotenoides totais, teor de NaCl incorporado, teor de sacarose incorporado, encolhimento e a imagem estrutural foram determinadas segundo as metodologias a seguir.

3.6.1 Determinação da cor

A cor de todas as amostras foi determinada fazendo a medição com Colorímetro CR 400 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan) no modo $L^*a^*b^*$ segundo a “Commission internationale de l'éclairage (CIE)” com calibração previa do aparelho com uma placa branca de cerâmica padrão. Neste modo o

aparelho utiliza a escala CIELAB onde mede: L^* - “claridade” indicando quão claro ou escuro é o alimento, variando de zero (preto) a 100 (branco); a^* - varia de verde (-) a vermelho (+) e b^* - varia de azul (-) a amarelo (+).

Os parâmetros avaliados foram da luminosidade L^* , a tonalidade (H^*), que diz respeito à classificação das cores e a variação total de cor (ΔE). Abóbora fresca foi usada como uma referência e um ΔE maior denota uma maior mudança de cor do material de referência.

A tonalidade ou ângulo Hue (H^*) foi expresso em graus: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul) e calculado pela expressão:

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (39)$$

a variação total de cor foi obtido pela expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L^*_o)^2 + (a^* - a^*_o)^2 + (b^* - b^*_o)^2} \quad (40)$$

onde:

ΔE^* é a variação total de cor; $L^* - L_o^*$ (diferença entre a leitura L_o^* da amostra *in natura* e a L^* da amostra desidratada); $a^* - a_o^*$ (diferença entre a leitura a_o^* da amostra *in natura* e a a^* da amostra desidratada) e, $b^* - b_o^*$ (diferença entre a leitura b_o^* da amostra *in natura* e a b^* da amostra desidratada).

3.6.2 Determinação de pH

As amostras foram homogeneizadas da seguinte maneira: tomou-se uma amostra de 5 g da fatia e triturada. Acrescentou-se lhe 45 ml de água destilada (proporção de 1:10), para perfazer 50 ml e em seguida, foi submetida ao liquidificador até se tornar homogênea. Depois de filtrada mediu-se a concentração de íon hidrogênio das amostras com auxílio de um pHmetro. O aparelho foi calibrado com pH 4 e 7 e o eletrodo do pHmetro foi imerso em cada amostra para as leituras.

3.6.3 Determinação de sólidos solúveis

Os sólidos solúveis foram determinados utilizando-se o refratômetro manual (ATAGO, modelo N-1E) com leitura na faixa de 0 a 32%. Da amostra homogeneizada em 3.6.2 colocou-se 3 gotas no prisma do refratômetro para posterior leitura dos sólidos solúveis totais em °Brix.

3.6.4 Atividade de água

A determinação da atividade de água das amostras ocorreu à temperatura ambiente com uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA). As determinações foram feitas em triplicata e os resultados reportados como média.

3.6.5 Textura

As análises de textura foram realizadas num Texturômetro TA-XT2i (Stable Microsystems,

Inglaterra) por meio de ensaio de compressão uniaxial somente em amostras nas condições otimizadas do processo de desidratação osmótica estudadas neste trabalho. O teste de relaxação de tensão utilizou-se um probe com geometria cilíndrica de 8 cm de diâmetro. As amostras foram cortadas em forma cilíndrica com 1,5 cm de diâmetro 0,5 cm de altura. Estas foram comprimidas até 20% de deformação com uma velocidade de 10 mm/s e esta deformação foi mantida constante por 5 minutos. Durante esse tempo foi registrada a relaxação da tensão numa taxa de 5 medidas por segundo. Foram realizadas três medidas para cada processamento. Os dados foram analisados utilizando-se a ferramenta *Nonlinear Estimation* do programa SAS.

3.6.5.1 Ajuste dos modelos de relaxação de tensão

Existem vários modelos matemáticos que podem explicar o comportamento dos produtos alimentares

viscoelásticos, mas neste trabalho utilizou-se os modelos de Peleg & Normand e Maxwell para descrever o comportamento da força de tensão e relaxação em fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com uso do pulso de vácuo no início do processo.

No modelo de Peleg & Normand, dados de relaxamento da tensão foram interpretados em conformidade com a taxa de decaimento (k_1) e a tensão normalizada (k_2) segundo a equação 16.

O modelo de Maxwell que envolve dois simples elementos combinados em uma série para representar diferentes comportamentos, nomeadamente, o elemento elástico ideal, que pode ser representado como uma mola e com comportamento definido por uma constante elástica (E) e o elemento viscoso ideal, que é representado por um amortecedor e tem um comportamento definido pela sua viscosidade (η) foi ajustado aos dados experimentais do ponto ótimo

conforme as equações 25 e 26. Os parâmetros de viscosidade (η_n) foram calculados a partir da equação 21. Para análise dos resultados dos testes reológicos juntamente com dados do processo osmótico e análises de composição, foram utilizados os valores obtidos para o Modelo de Maxwell Generalizado de dois elementos mais uma mola. Este modelo foi escolhido porque apresentou um ajuste melhor que o Modelo de Maxwell.

3.6.6 Teor de carotenoides totais

O carotenoide predominante na abóbora é o β -caroteno. Por isso, fez-se a medida de carotenoides totais com base neste carotenoide. O teor de carotenoides foi obtido de acordo com a metodologia estabelecida por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004), baseada na extração com acetona seguida de separação e extração em éter de petróleo e, finalmente com a

medida de absorvância a 450 nm (Beckman, modelo 640 B).

O extrato foi transferido para um balão de separação contendo água e éter de petróleo que é um bom e estável solvente para os carotenoides. Forma-se assim, duas fases, uma aquosa e uma etérea rica em carotenoides. Isto ocorre porque os carotenoides são insolúveis em água e a acetona por possuir alta solubilidade em água transfere-se para a fase aquosa.

O extrato foi concentrado e fez-se a leitura da absorvância máxima em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em μg de carotenoides/g da amostra, ou seja, o teor total de carotenoides foi calculado em μg carotenoides por g de material inicial em base seca (Equação 41).

$$C_t = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times m} \quad (41)$$

Sendo:

Ct - Conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g/g}$); V - volume do extrato obtido após separação no balão (ml); Abs = máxima absorbância medida; $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = absortividade para o b-caroteno em éter de petróleo: 2592; m = massa de amostra (g).

A retenção dos carotenoides foi calculado de acordo com a Equação (42) de Murphy, Criner e Gray (1975), mais adequada e precisa para cálculo de retenção de nutrientes em casos em que há alterações de peso, como a desidratação osmótica e secagem. Tal expressão resulta em porcentagem de retenção de carotenoides em cada g de material processado, considerando-se que há remoção de água e incorporação de sólidos durante o processo de desidratação.

$$\% \text{ Retenção} = \frac{(\mu\text{g de carotenoides/g de amostra}) \times \text{g da amostra}}{(\mu\text{g de carotenoides / g de amostra seca}) \times \text{g da amostra seca}} \times 100 \quad (42)$$

A determinação de carotenoides foi conduzida após a otimização da desidratação osmótica onde amostras obtidas na condição ótima do processo osmótico com o uso do pulso de vácuo foram submetidas a esta análise físico-química.

3.6.7 Teor de NaCl

O teor de NaCl foi determinado pelo método de Mohr que consiste em titulação com nitrato de prata (RANGANNA, 1977), utilizando-se cromato de potássio como indicador. Neste método, pesou-se 10 g de abóbora para posterior trituração e adicionou-se a 100 mL de água destilada. O material foi homogeneizado e agitado por 30 minutos, sendo transferido em seguida, para um balão volumétrico de 250 mL e aferido. Filtrou-se o homogenato e uma alíquota de 50 mL foi titulada com nitrato de prata usando-se 0,5 mL de cromato de potássio como

indicador. A titulação em branco utilizou-se 50 mL de água destilada e também 0,5 mL de indicador.

O conteúdo de sal foi calculado pela Equação (43):

$$\text{NaCl(\%)} = \frac{(V_t - V_{bt}) \cdot N \cdot V \cdot 58,45 \cdot 100}{V_A \cdot m \cdot 1000} \quad (43)$$

Onde: V_t – volume gasto na titulação da amostra [mL]; V_{bt} – volume gasto na titulação do branco [mL] ; N – normalidade do AgNO_3 [g/mL] ; V – volume aferido [mL] ; V_A – volume da alíquota [mL] e, m – massa da amostra [mL] .

3.6.8 Teor de sacarose

O teor de sacarose foi determinado pela diferença entre o total de sólidos ganhos (dado pela diferença entre o teor inicial e final de sólidos) e o teor de NaCl incorporado.

3.6.9 Encolhimento

Para a determinação do encolhimento, utilizou-se uma proveta com capacidade de 100 mL. O encolhimento foi determinado com base na Equação (44) em intervalos de tempo do experimento, de acordo com o método de deslocamento de líquido com uso de tolueno (MOHSENIN, 1986).

$$E(\%) = \left(1 - \frac{V_t}{V_o}\right) \times 100 \quad (44)$$

Onde: V_o e V_t é o volume inicial e o do intervalo t das amostras, respectivamente.

3.6.10 Imagem estrutural

A obtenção da imagem estrutural foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise ultraestrutural (LME) localizado em área do Departamento de Fitopatologia da UFLA. A imagem estrutural foi conduzida após a otimização da desidratação osmótica onde, pequenas amostras obtidas na melhor condição de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo foram submetidas à análise da microestrutura das suas células.

Utilizou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura Leo Evo 40 que permite aumentos de até 250.000 vezes, com um poder de resolução de aproximadamente 1000 vezes superior àquela de um microscópio de luz. Uma videocâmara digital colorida ligada ao microscópio e conectada a um computador registrou a imagem microscópica.

As amostras foram seccionadas e fixadas em solução Karnovisk's modificado, após 24 horas transferiu-se o material para glicerol 30% por 30

minutos, em seguida, imergiram-se as amostras em nitrogênio líquido e fraturou-se sobre uma superfície metálica resfriada com nitrogênio líquido, utilizando um bisturi. Após-fixadas em tetróxido de ósmio 1% por 1 hora foram lavadas por três vezes em água destilada e em seguida desidratadas em gradiente de acetona (25, 50, 75 e 90% e três vezes em 100%), permanecendo cerca de 10 minutos em cada uma. Para completar a secagem o material foi levado ao aparelho de Ponto Crítico (CPD 030). Os stubs foram revestidos com papel alumínio e colocou-se a fita dupla-face em sua superfície para adesão das amostras. Os stubs já com as amostras foram levados ao Sputtering (SCD 050) para o banho de ouro e, em seguida, ao Microscópio Eletrônico de Varredura Leo Evo 40 para visualização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

A matéria-prima e as fatias branqueadas forma caracterizadas de acordo com os métodos descritos em 3.2; 3.6.1; 3.6.4; 3.6.5 e 3.6.6.

4.1.1 Caracterização da abóbora *in natura*

A caracterização física e a composição química centesimal da abóbora (*Cucurbita moschata* Duch.) da variedade “JACARÉ” utilizada neste estudo são apresentadas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Os dados apresentados correspondem a uma média mínima de três repetições.

Tabela 6 Caracterização física da abóbora *in natura* variedade JACARÉ

Determinações	Valores médios
Massa (g)	2633,52 ± 7,57
Comprimento (mm)	275,03 ± 1,12
Diâmetro (mm)	159,38 ± 2,01

Espessura do pericarpo (mm)	superior	45,82 ± 4,63
	central	33,29 ± 1,00
	inferior	24,43 ± 1,41
Cor da casca	L*	48,32±1,91
	a*	2,43±1,23
	b*	10,43±1,03
pH		5,88 ± 0,02
A _w		0,993 ± 0,01
Sólidos solúveis totais (%)		0,37 ± 0,06

Tabela 7 Composição química centesimal da abóbora *in natura* variedade JACARÉ

Determinações	Valores médios
Umidade (%)	93,49 ± 2,35
Lipídeos (%)	0,45 ± 0,05
Proteína (%)	1,12 ± 0,22
Fibra (%)	1,24 ± 0,48
Cinza (%)	0,55 ± 0,02
Fração glicídica (%)*	3,15 ± 0,15
Carotenoides (µg/g)	45,82±0,56

*Valor determinado por diferença.

Os resultados obtidos para a composição química são semelhantes aos apresentados pelo IBGE (1999) e UNICAMP (2004), cujos dados foram apresentados na Tabela 1, com algumas variações. A composição química dos produtos vegetais é influenciada pelo estágio de maturação, clima, local de plantio e também

pelas diferentes variedades utilizadas para as determinações analíticas, o que pode explicar as variações encontradas entre as tabelas e em relação à abóbora analisada neste estudo.

4.1.2 Caracterização das fatias branqueadas

A caracterização das fatias de abóbora utilizadas neste estudo antes e depois do branqueamento a temperatura de 100 °C por 3 min é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 Caracterização da fatia de abóbora antes e depois do branqueamento

Determinações	Antes	Depois
Dureza (kPa)	148,70±1,24	100,24±2,39
Massa (g)	2,22±0,08	2,65±0,26
A _w	0,993±0,01	0,998±0,001
Umidade (%)	93,49±2,38	94,98±0,51
Cor	L*	54,36±1,01
	a*	11,32±1,43
	b*	37,94±1,05

Observa-se que abóboras submetidas às condições de branqueamento apresentaram menores valores de dureza ($100,24 \pm 2,39$ kPa) do que aquelas não branqueadas ($148,70 \pm 1,24$ kPa). Esse fato é relacionado à atuação da enzima pectinametilesterase, presente na abóbora, que é ativada temperaturas entre 50 e 70 °C (KOWALSKA; LENART; LESZCZYK, 2008). Visto que o branqueamento atingiu a temperatura de ebulição da água, permitiu a ação dessa enzima sobre a pectina da lamela média da célula e induzindo a formação de pectatos de cálcio que melhoram a firmeza do vegetal. Para além disso, esse branqueamento garantiu a quebra do tecido fundamental e de revestimento e a inativação de enzimas peroxidases prejudiciais à qualidade do produto.

A massa, A_w e teor de água são aumentadas com o branqueamento, de $2,22 \pm 0,08$ g para $2,65 \pm 0,26$ g, de $0,993 \pm 0,01$ para $0,998 \pm 0,001$ e de $93,49 \pm 2,38\%$ para

94,98±0,51%, respectivamente. O aumento dos valores destas grandezas deve-se a umidade embebida pelas fatias de abóbora durante esta fase de pré-tratamento. Falade e Shogaolu (2008) reportaram o aumento do teor de água de 89,02 ± 2,18% para 90,03 ± 2,78% quando submeteram as fatias de abóbora ao branqueamento validando os resultados deste trabalho, pois encontraram valores similares a este estudo.

Analisando-se os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), apresentados na Tabela 8, percebe-se que houve um aumento dos seus valores das fatias *in natura* para as branqueadas, com aumento da claridade (valor de L^* acima de 50) e uma tendência ao vermelho-amarelo (a^* e b^* acima de 1). Esse fato pode estar relacionado à melhor retenção de carotenoides, uma vez que a cor foi pouco alterada em relação às amostras *in natura*. Silva (2009) não encontrou diferenças significativas entre as fatias de abóbora *in natura* e as branqueadas ($p < 0,05$), mostrando que neste estudo o pequeno aumento dos

parâmetros de cor é o resultado da propriedade vítrea da água embebida pelas fatias.

4.2 Delineamento do tipo Plackett-Burman para escolha das variáveis

Os resultados para as variáveis estudadas estão representados na tabela 9, em que também são apresentadas as condições dos ensaios e as respostas estudadas. A tabela 10 sumariza o resultado dos efeitos principais dos fatores sobre as variáveis estudadas. Onde: X_1 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); X_2 - Concentração de NaCl na solução (%); X_3 - Concentração de sacarose na solução (%); X_4 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_5 - Tempo de pulso de vácuo (min); A_w - atividade de água; pH - potencial hidrogeniônico; E - encolhimento; WL- perda de água; SG - ganho de sólidos; e ΔE - variação total de cor.

Tabela 9 Valores de atividade de água (A_w), potencial hidrogeniônico (pH), encolhimento (E), perda de água (WL), ganho de sólidos (SG) e variação total de cor (ΔE) de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	A _w	pH	E (%)	WL (%)	SG (%)	ΔE
1	+1	-1	+1	-1	-1	0,32	6,42	-14,72	9,73	3,24	19,08
2	+1	+1	-1	+1	-1	0,55	6,02	-15,56	15,19	5,06	11,97
3	-1	+1	+1	-1	+1	0,77	6,02	-11,75	21,20	7,07	14,26
4	+1	-1	+1	+1	-1	0,47	5,85	-11,40	14,55	4,85	10,07
5	+1	+1	-1	+1	+1	1,00	6,32	-15,12	27,92	9,31	19,58
6	+1	+1	+1	-1	+1	0,90	5,95	-21,38	24,08	8,03	20,38
7	-1	+1	+1	+1	-1	0,71	5,90	-8,18	19,25	6,42	13,11
8	-1	-1	+1	+1	+1	0,91	5,91	-14,38	28,08	9,36	16,23
9	-1	-1	-1	+1	+1	0,52	4,53	-9,87	16,14	5,38	9,19
10	+1	-1	-1	-1	+1	0,37	5,98	-11,34	11,64	3,88	9,19
11	-1	+1	-1	-1	-1	0,33	6,15	-18,71	9,27	3,09	11,75
12	-1	-1	-1	-1	-1	0,26	4,47	-8,72	8,26	2,75	18,42
13	0	0	0	0	0	0,69	6,09	-12,51	20,42	6,81	18,89
14	0	0	0	0	0	0,65	6,03	-14,03	19,15	6,38	18,31
15	0	0	0	0	0	0,73	5,99	-14,36	21,58	7,19	15,62

Onde: X₁ - Temperatura (°C); X₂ - Concentração de NaCl na solução (%); X₃ - Concentração de sacarose na solução (%); X₄ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₅ - Tempo de pulso de vácuo (min).

Tabela 10 Efeitos principais nos parâmetros de qualidade das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo*

Fator	A _w		pH		E		WL		SG		ΔE	
	Efeito	Pvalor	Efeito	Pvalor	Efeito	Pvalor	Efeito	Pvalor	Efeito	Pvalor	Efeito	Pvalor
Média	0,61	0,00	5,84	0,00	-13,47	0,00	17,76	0,00	5,92	0,00	15,07	0,00
X ₁	0,02	0,79	0,59	0,06	-2,98	0,15	0,15	0,94	0,05	0,94	1,22	0,65
X ₂	0,23	0,00	0,53	0,08	-3,38	0,11	4,75	0,03	1,58	0,03	1,48	0,58
X ₃	0,18	0,02	0,43	0,15	-0,41	0,83	4,74	0,03	1,58	0,03	2,17	0,42
X ₄	0,20	0,01	-0,08	0,78	2,02	0,32	6,16	0,01	2,05	0,01	-2,15	0,43
X ₅	0,31	0,00	-0,02	0,95	-1,09	0,58	8,80	0,00	2,93	0,00	0,74	0,78

* Em negrito, efeitos significativos a 90% de confiança. Onde: X₁ - Temperatura (°C); X₂ - Concentração de NaCl na solução (%); X₃ - Concentração de sacarose na solução (%); X₄ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₅ - Tempo de pulso de vácuo (min).

4.2.1 Atividade de água

A atividade de água da abóbora obtida nas condições dos ensaios variou de 0,26 a 1,0 (tabela 9). A tabela 10 apresenta o efeito das variáveis estudadas na atividade de água das fatias.

Assim, para todas as condições utilizadas pode-se observar que há uma maior variação da A_w entre o mínimo e o máximo. Derossi et al. (2011), estudando a pré-estabilização da abóbora pela desidratação osmótica numa solução quaternária reportaram a A_w de 0,84 a 0,95 mostrando pouca variação entre os tratamentos. As concentrações das soluções osmóticas foram estatisticamente influentes, além de que, apresentam efeitos positivos mostrando que o aumento dessas variáveis implica no aumento da A_w .

Contrariamente ao efeito negativo das variáveis que se esperava sobre a A_w , a redução desta resposta das fatias de abóbora osmoticamente desidratadas com o pulso de vácuo verificado neste trabalho é causada

pelo (1) fluxo de água em direção à solução (isto é, o processo de desidratação) e (2) a ligação dos agentes osmóticos com a água residual do tecido das fatias. Portanto, estes dois processos de fluxo e ligação dos solutos com a água influenciaram na redução da A_w .

A A_w também foi estatisticamente favorecida pelo pulso de vácuo, pois a pressão e o tempo de vácuo foram significativos ($p < 0,10$). A aplicação do pulso de vácuo no início do processo provocou a expansão e subsequente compressão de gás não-visíveis nos poros das fatias reforçadas por mudanças de pressão e, quando se restabeleceu a pressão atmosférica promoveu-se a troca do gás/líquido dos poros para o líquido externo.

Assim, a utilização do delineamento PB na desidratação de abóbora com a solução mista de NaCl e sacarose aplicando o pulso de vácuo no início do processo sugere níveis relativamente baixos dessas variáveis para minimizar, ainda mais, a A_w das fatias,

sendo a temperatura não estatisticamente influente sobre a A_w . Mas já que os níveis utilizados neste delineamento são relativamente baixo e adicionado aos dados da literatura que mostra a diminuição da A_w em função do aumento dos níveis dos fatores (BORIN, 2006; CORRÊA et al., 2010; DEROSI et al., 2011; SILVA et al., 2011) optou-se por utilizar níveis altos da concentração da solução e do pulso de vácuo no delineamento subsequente.

4.2.2 Potencial hidrogeniônico

Pelos resultados da tabela 9, o pH variou de 4,47 a 6,42 significando que todas as condições do processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo tornam o pH ácido com tendência aos valores neutros.

Neste estudo, a temperatura e a concentração de NaCl foram estatisticamente significativas permitindo uma variação do pH de 1,95 (tabela 10) mas, Derossi et al. (2011) reportaram a diminuição de pH durante a

desidratação osmótica de abóbora de 4,9 a 4,1 (sendo a variação do pH de 0,8). Assim, os níveis utilizados neste estudo sugerem não controlar adequadamente o pH permitindo o seu aumento. Uma diminuição de pH seria importante para impedir a rápida proliferação de microorganismos nas fatias depois do processo osmótico.

Embora o pulso de vácuo não tenha sido significativo nesta variável, pode ter melhorado a influência dos agentes osmóticos no processo. Assim, a utilização do delineamento PB na desidratação de abóbora com a solução mista NaCl e sacarose aplicando o pulso de vácuo no início do processo sugere níveis relativamente baixos da temperatura e concentração de NaCl para controlar o pH das fatias, sendo que a concentração de sacarose, a pressão e o tempo de vácuo não foram estatisticamente influentes.

Dados da literatura mostram a diminuição do pH em função do aumento dos níveis das variáveis

(BARBOSA JÚNIOR, 2002; DEROSI et al., 2011), por isso, os níveis utilizados neste delineamento por serem relativamente baixos podem ter provocado alteração inesperada do comportamento deste parâmetro de qualidade. Assim, optou-se por utilizar níveis altos da concentração da solução e do pulso de vácuo no delineamento subsequente.

4.2.3 Encolhimento

O encolhimento apresentou valores negativos que variaram de 8,72 a 21,38% mostrando que o processo de branqueamento pode ter deixado as fatias intumescidas com os tecidos dilatados permitindo o aumento do seu volume ao longo do processo osmótico (tabela 9). A tabela 10 apresenta o efeito das variáveis estudadas no encolhimento das fatias de abóbora. Nela pode-se observar que não houve influência do agente osmótico e nem do pulso de vácuo sobre este parâmetro de qualidade das fatias ($p < 0,10$).

Garcia, Mauro e Kimura (2007), analisando a cinética da desidratação osmótica e secagem convectiva de fatias de abóbora reportaram a diminuição do volume de 46,51 a 58,70%, resultados mais altos do que os reportados nesse trabalho.

O encolhimento encontrado neste trabalho, de Garcia, Mauro e Kimura (2007) e Mayor, Moreira e Sereno (2011) calculado a partir do volume inicial (matéria fresca) até ao estágio de desidratação previamente determinado é comparável com a perda de água e o ganho de sólidos, pois o fluxo de massa permite o desequilíbrio no material e na estrutura celular das fatias de abóbora fazendo com que haja limitado espaço intercelular. Para, além disso, os efeitos negativos das variáveis utilizadas sobre este parâmetro de qualidade mostram que menor encolhimento se obtém com maior nível de cada fator, sugerindo assim, a utilização de níveis elevados no delineamento posterior.

4.2.4 Perda de água

Da tabela 9, a perda de água (WL) apresentou valores que variam de 8,26 a 28,08% nas condições dos ensaios. A tabela 10 apresenta o efeito das variáveis estudadas na WL das fatias de abóbora. Nela pode-se observar que houve influência estatisticamente significativa do agente osmótico e do pulso de vácuo aplicado no início do processo. Considerou-se $p < 0,10$. Para as variáveis influentes (concentrações de NaCl,

sacarose, pressão e tempo de vácuo) os seus efeitos são positivos significando que, para maiores valores experimentais destas variáveis, maior será a WL.

Diferentemente dos resultados de Borin et al. (2008) e Silva et al. (2011), que também trabalharam com DO de abóbora, os valores de WL encontrados neste estudo foram relativamente baixos. Em comparação com estes trabalhos, pode-se dizer que a diferença se deve a baixa concentração de solutos. Adicionalmente, no presente trabalho, pode-se relacionar esta baixa concentração ao menor nível de pulso aplicado durante o processo. Corrêa et al. (2010), reportou que a influência do pulso de vácuo foi mais eficaz nos frutos de goiabeira tratados com solução osmótica altamente concentrada, validando desta forma, a sugestão deste experimento.

A aplicação do pulso de vácuo na desidratação osmótica de abóbora foi estatisticamente influente significando que acelera a taxa de transferência de

massa reduzindo assim os requisitos de temperatura e de tempo do processo. Ito et al. (2007b), aplicando o pulso de vácuo na desidratação osmótica de manga reportaram, também, a influência do pulso de vácuo em que a WL atingiu 51,44%. Assim, a utilização do delineamento PB na desidratação de abóbora com a solução mista de NaCl e sacarose aplicando o pulso de vácuo no início do processo sugere níveis relativamente elevados da concentração das soluções, da pressão e do tempo de vácuo para maximizar a WL das fatias, sendo que, a temperatura do processo não foi estatisticamente influente.

4.2.5 Ganho de sólidos

Da tabela 9, o ganho de sólidos (SG) foi inferior a 10% em todos os ensaios conduzidos mostrando que, apesar do fluxo de água caracterizado pela perda de água, ser maior o movimento de solutos para as fatias foi menor, neste caso, variando de 2,75 a 9,36%. A

tabela 10 apresenta o efeito das variáveis estudadas no SG das fatias de abóbora onde se pode observar que similarmente à perda de água, o processo de SG teve influência estatisticamente significativa dos agentes osmóticos, da pressão e tempo de aplicação do pulso vácuo no início do processo sobre as fatias de abóbora ($p < 0,10$). Para as variáveis influentes (concentrações de NaCl, sacarose, pressão e tempo de vácuo) os seus efeitos são positivos significando que, para maiores valores experimentais destas variáveis, maior será o SG.

A influência dos agentes osmóticos e, principalmente do pulso de vácuo sobre as fatias de abóbora pode ser explicada pela presença de espaços intercelulares do tecido parenquimático da abóbora em que o volume de poros representa 20% do volume total do pericarpo do fruto. Esses poros são ocupados pelo gás, que pode ser removido pela aplicação da pressão de vácuo em desidratação osmótica. Não foram

encontrados trabalhos que correlacionem o SG com o pulso de vácuo para abóboras, mas Ito et al. (2007b) quando trabalharam com manga, consideraram que a influência do tempo ou da intensidade do pulso de vácuo na desidratação osmótica depende principalmente da estrutura do material e suas propriedades mecânicas. Por isso, a abóbora pré-tratada com branqueamento, por apresentar essa porosidade permitiu o efeito do pulso sobre o processo osmótico.

Mayor et al. (2006), na desidratação osmótica de fatias de abóbora com diferentes concentrações de NaCl encontraram o SG máximo de 16% e WL máxima de 45% (para DO com 20% de NaCl), para além de que o SG mínimo reportado foi de 3% para a solução com 5% de NaCl. Isso mostra que quanto menor for a concentração da solução utilizada menor o gradiente de concentrações entre a solução e o alimento e menor é o SG e, portanto, neste trabalho onde se utilizou a mistura de sacarose e NaCl, os níveis

escolhidos no delineamento PB não propiciaram as condições desejadas para o nível de desidratação desejado, mas mesmo assim, houve a influência dos agentes osmóticos sobre o SG.

4.2.6 Variação total da cor

A tabela 9 apresenta a variação total da cor (ΔE) das fatias desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo com os valores encontrando-se entre 9,19 a 20,38 mostrando que nas condições dos ensaios houve alteração da cor em relação ao material *in natura*. A tabela 10 apresenta o efeito das variáveis estudadas na variação total da cor das fatias de abóbora. Nela pode-se observar que não houve influência do agente osmótico e nem do pulso de vácuo sobre este parâmetro de qualidade das fatias ($p < 0,10$).

Silva et al. (2011) reportaram valores de ΔE variando de 8,59 a 13,94 mesmo assim, verificaram influência da temperatura de branqueamento a que

submeteram as fatias de abóbora antes da desidratação osmótica. Isso confirma este estudo em que o processo osmótico com solução mista de NaCl e sacarose antecedida do pulso de vácuo sobre as fatias de abóbora previamente branqueadas garantiu a preservação da cor, ou seja, a variação total de cor reportado neste trabalho deve-se ao branqueamento em que foram submetidas às fatias de abóbora. Assim, a utilização do delineamento PB na desidratação de abóbora com a solução mista de NaCl e sacarose aplicando o pulso de vácuo no início do processo sugere que os níveis utilizados da concentração das soluções, da pressão e do tempo de vácuo não permitem a alteração da cor das fatias.

Dados da literatura mostram a manutenção da cor independentemente dos níveis utilizados na desidratação osmótica de abóbora reportados por Nascimento (2006), Silva et al. (2011) e Zenoozian et

al. (2008) sugerindo a utilização de qualquer nível para este trabalho no delineamento subsequente.

4.2.7 Escolha das variáveis

Sumarizando, os resultados dos efeitos principais sobre as variáveis dependentes, A_w , pH, E, WL, SG e ΔE de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo apresentados na tabela 10 mostram que a variável X_1 foi apenas estatisticamente significativa para o pH a 10% de significância. Observa-se que as variáveis X_2 , X_3 , X_4 e X_5 foram estatisticamente significativas para os parâmetros A_w , WL e SG principais respostas deste processo. Elas apresentaram efeitos positivos sobre A_w , WL e SG mostrando que quanto maior for a concentração de NaCl, sacarose, pressão e tempo de vácuo, maiores os valores dessas variáveis resposta.

A partir destes resultados obtidos com o delineamento de Plackett & Burman, optou-se por

realizar um delineamento composto central rotacional com as 4 variáveis independentes que foram estatisticamente significativas e 4 repetições no ponto central. Para a otimização do processo foram alteradas as faixas experimentais para X_2 , X_3 , X_4 e X_5 e a temperatura foi fixada em 40 °C. Das variáveis independentes utilizadas passou-se a denominar: X_1 - Concentração de NaCl na solução (%); X_2 - Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

4.3 Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

A tabela 11 apresenta a matriz com os tratamentos do DCCR e os resultados de algumas respostas, nomeadamente, atividade de água (A_w), potencial hidrogeniônico (pH), encolhimento (E), perda de água (WL), ganho de sólidos (SG) e a relação entre o SG e a WL (SG/WL) das fatias de abóbora

desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo.

Tabela 11 Valores codificados e as respostas (A_w , pH, E, WL, SG e SG/WL) dos ensaios do DCCR

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	A_w	pH	E (%)	WL (%)	SG (%)	SG/WL
1	-1	-1	-1	-1	0,96	6,10	-7,90	27,58	2,25	0,08
2	+1	-1	-1	-1	0,88	6,20	-0,15	45,92	2,95	0,06
3	-1	+1	-1	-1	0,93	6,30	23,25	50,00	2,61	0,05
4	+1	+1	-1	-1	0,83	5,89	29,17	63,12	2,92	0,05
5	-1	-1	+1	-1	0,96	6,00	2,35	29,33	2,06	0,07
6	+1	-1	+1	-1	0,87	6,43	-6,44	42,49	3,17	0,07
7	-1	+1	+1	-1	0,92	6,18	8,07	56,76	3,65	0,06
8	+1	+1	+1	-1	0,84	6,18	16,39	64,80	3,43	0,05
9	-1	-1	-1	+1	0,96	6,10	-12,87	29,52	2,49	0,08
10	+1	-1	-1	+1	0,87	5,73	-9,99	44,97	3,45	0,08
11	-1	+1	-1	+1	0,93	6,11	-3,54	50,72	3,74	0,07
12	+1	+1	-1	+1	0,84	6,06	17,74	60,23	3,25	0,05
13	-1	-1	+1	+1	0,95	5,77	-10,20	30,32	2,65	0,09
14	+1	-1	+1	+1	0,87	6,08	7,83	44,09	2,80	0,06
15	-1	+1	+1	+1	0,93	5,99	1,87	48,95	3,40	0,07

“Tabela 11, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	A_w	pH	E (%)	WL (%)	SG (%)	SG/WL
16	+1	+1	+1	+1	0,83	5,72	29,50	65,14	2,86	0,04
17	-2	0	0	0	0,98	6,03	-12,67	33,60	2,41	0,07
18	+2	0	0	0	0,80	6,03	28,22	59,92	2,82	0,05
19	0	-2	0	0	0,93	5,95	-15,53	20,67	2,32	0,11
20	0	+2	0	0	0,83	5,77	52,23	61,28	1,75	0,03

21	0	0	-2	0	0,90	6,29	-17,96	30,49	2,46	0,08
22	0	0	+2	0	0,90	6,35	-19,40	49,58	4,05	0,08
23	0	0	0	-2	0,90	6,39	-19,33	48,86	3,97	0,08
24	0	0	0	+2	0,90	6,02	-10,28	32,55	2,62	0,08
25	0	0	0	0	0,90	6,27	-17,94	58,38	4,43	0,08
26	0	0	0	0	0,90	6,33	-19,34	55,35	4,28	0,08
27	0	0	0	0	0,90	6,29	-19,80	56,78	4,41	0,08
28	0	0	0	0	0,90	6,33	-19,07	57,85	4,48	0,08

Onde: X_1 - Concentração de NaCl na solução (%); X_2 - Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

Em continuidade, a tabela 12 apresenta as combinações estatísticas das variáveis independentes e os resultados das respostas dos sólidos incorporados (SI) (NaCl e sacarose) e da cor (ΔE , H^* e L^*) das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com o uso do pulso de vácuo.

Tabela 12 Valores codificados e as respostas dos sólidos incorporados (NaCl e sacarose) e da cor (ΔE , H^* e L^*) dos ensaios do DCCR

Ensaio	X_1	X_2	X_3	X_4	SI		Cor		
					NaCl (%)	Sacarose (%)	ΔE	H^*	L^*
1	-1	-1	-1	-1	0,34	1,72	7,57	97,58	47,61
2	+1	-1	-1	-1	0,10	2,87	7,80	96,20	46,58
3	-1	+1	-1	-1	0,38	3,12	9,38	97,58	45,56
4	+1	+1	-1	-1	0,32	3,95	7,86	98,48	48,88
5	-1	-1	+1	-1	0,30	1,83	10,56	98,89	47,28
6	+1	-1	+1	-1	0,31	2,66	11,29	96,82	46,95
7	-1	+1	+1	-1	0,39	3,55	7,80	97,10	46,46
8	+1	+1	+1	-1	0,15	4,05	8,08	96,16	47,28
9	-1	-1	-1	+1	0,32	1,85	9,30	99,14	47,31
10	+1	-1	-1	+1	0,29	2,81	12,26	98,69	46,59
11	-1	+1	-1	+1	0,40	3,17	10,68	98,27	46,42
12	+1	+1	-1	+1	0,24	3,76	8,63	97,51	45,32
13	-1	-1	+1	+1	0,47	1,90	9,85	99,52	47,50
14	+1	-1	+1	+1	0,31	2,76	9,99	98,29	47,79
15	-1	+1	+1	+1	0,41	3,06	8,54	98,60	46,77
16	+1	+1	+1	+1	0,13	4,07	6,22	97,72	46,54
17	-2	0	0	0	0,00	2,10	11,43	98,73	48,79
18	+2	0	0	0	0,32	3,75	6,65	98,22	47,72
19	0	-2	0	0	0,68	1,29	10,87	98,73	46,24
20	0	+2	0	0	0,20	3,83	8,20	97,79	45,79
21	0	0	-2	0	0,16	1,91	13,89	99,74	43,54
22	0	0	+2	0	0,27	3,10	12,24	98,89	42,46
23	0	0	0	-2	0,25	3,05	14,35	99,05	44,67
24	0	0	0	+2	0,33	2,03	11,84	99,94	43,83
25	0	0	0	0	0,12	3,65	13,28	99,69	43,11
26	0	0	0	0	0,11	3,46	13,65	99,75	43,75

“Tabela 12, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	SI		Cor		
					NaCl (%)	Sacarose (%)	ΔE	H*	L*
27	0	0	0	0	0,12	3,55	12,70	99,76	42,85
28	0	0	0	0	0,12	3,62	13,10	99,67	44,24

Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre cada variável resposta é apresentado a seguir.

4.3.1 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a atividade de água

Os resultados da atividade de água obtidos no DCCR mostram que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo para esta resposta foi boa visto que os valores desta variável das fatias de abóbora ficaram entre 0,83 a 0,98 (Tabela 11), distantes do valor inicial da abóbora branqueada (0,998). Como a desidratação osmótica é um pré-tratamento que não conduz a uma

grande variação de A_w , considera-se que os valores obtidos são bastante adequados. Menores valores de A_w foram obtidos nos ensaios 4, 8, 16 e 20, significando que os ensaios efetuados com combinações dos níveis elevados das variáveis independentes apresentaram menores valores de A_w e, vice-versa.

A tabela 13 apresenta os efeitos das variáveis independentes sobre a A_w das fatias de abóbora. As variáveis que apresentaram efeitos estatisticamente significativos em nível de 5% de significância sobre a A_w foram o termo linear da concentração de NaCl (X_1), o termo linear e o termo quadrático da concentração de sacarose (X_2). Os efeitos dos termos lineares de X_1 e X_2 foram negativos sobre a A_w indicando que um aumento na concentração destas soluções diminui a A_w das fatias de abóbora. Isto significa que uma mudança da concentração das soluções implica uma variação na resposta que pode ser alcançada, ou seja, com o aumento da concentração de NaCl e sacarose, a

interface se satura com solutos numa determinada concentração, até atingir sua velocidade máxima de translocação da água fazendo com que a A_w na fatia de abóbora seja mínima.

No caso da pressão do pulso e o tempo de vácuo, os efeitos dos termos lineares e quadráticos não foram significativos sobre a A_w , assim como não foram estatisticamente significativos as interações entre as variáveis.

Tabela 13 Efeito das variáveis do DCCR sobre a A_w de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	0,90	0,00	243,97	0,00	0,89	0,91
X₁	-0,09	0,00	-29,53	0,00	-0,10	-0,08
X ₁ ²	-0,01	0,00	-1,88	0,08	-0,01	0,00
X₂	-0,04	0,00	-12,64	0,00	-0,04	-0,03
X₂²	-0,01	0,00	-2,68	0,02	-0,01	0,00
X ₃	0,00	0,00	-0,34	0,74	-0,01	0,01
X ₃ ²	0,00	0,00	0,49	0,63	-0,01	0,01
X ₄	0,00	0,00	0,05	0,96	-0,01	0,01
X ₄ ²	0,00	0,00	0,30	0,77	-0,01	0,01
X ₁ X ₂	-0,01	0,00	-1,95	0,07	-0,02	0,00
X ₁ X ₃	0,00	0,00	0,28	0,78	-0,01	0,01
X ₁ X ₄	0,00	0,00	0,15	0,89	-0,01	0,01
X ₂ X ₃	0,00	0,00	-0,15	0,89	-0,01	0,01
X ₂ X ₄	0,00	0,00	0,94	0,37	0,00	0,01
X ₃ X ₄	0,00	0,00	-0,35	0,73	-0,01	0,01

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=98,776$ e R^2 ajustado =97,45. Onde: X_1 – Concentração de NaCl na solução (%); X_2 – Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

Optou-se por ajustar um modelo re-parametrizado contendo apenas os termos estatisticamente significativos. A análise de variância para a A_w das fatias de abóbora do modelo re-parametrizado é apresentada na tabela 14.

O coeficiente de determinação para A_w foi de 97,84% e a regressão foi estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior do que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($362,34 > 3,01$), satisfazendo os requisitos para a construção das superfícies de resposta (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Tabela 14 Análise de variância para atividade de água de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,057	3	0,019	362,343	4.10^{-20}
Erro	0,001	24	0,000		

Total	0,058	27
-------	-------	----

$R^2 = 97,84$ e $F_{5\%;3;24} = 3,01$

O modelo que representa o comportamento da A_w a partir das variáveis codificadas é apresentado na equação (45) e a superfície de resposta na figura 7.

$$Y_{A_w} = 0,90 - 0,04.X_1 - 0,02.X_2 - 3,8.10^{-3}.X_2^2 \quad (45)$$

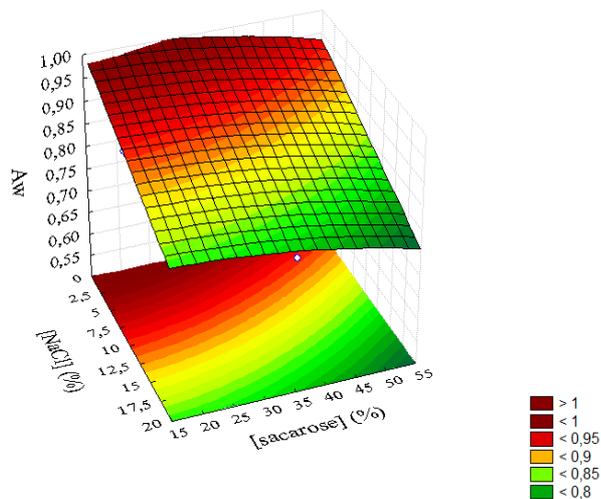


Figura 7 Superfície de resposta para a A_w das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose com a pressão do pulso e o tempo de vácuo em seus níveis centrais

Analisando a figura 7 verifica-se que o aumento da concentração de NaCl e de sacarose diminuíram a A_w , ou seja, a A_w das fatias de abóbora é “menor” para “maiores” concentrações destas soluções. Pode-se dizer que, a faixa ótima para essa variável seria de 15% a 20% de [NaCl] e 45% a 55% de [sacarose].

4.3.2 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o potencial hidrogeniônico

Os valores de pH das fatias de abóbora variaram entre 5,89 e 6,43 (Tabela 11). E, mesmo assim, os valores de pH encontram-se na faixa recomendada pela literatura. Os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com o pH entre 6,27 a 6,33 significando que as condições dos experimentos são satisfatórios.

A tabela 15 apresenta os efeitos das variáveis independentes sobre o pH das fatias de abóbora. As

variáveis que apresentaram efeitos estatisticamente significativos em nível de 5% de significância sobre o pH foram o termo quadrático da concentração de NaCl (X_1), o termo quadrático da concentração de sacarose (X_2), o termo linear do tempo de vácuo (X_4), a interação entre as soluções osmóticas e a interação entre a concentração de NaCl e a pressão do pulso de vácuo.

Os termos lineares de X_1 e X_2 embora, sejam estatisticamente não significativos, foram negativos sobre o pH indicando que um aumento na concentração destas soluções diminui o pH das fatias de abóbora.

Tanto o termo linear como o termo quadrático da pressão do pulso de vácuo não é significativo sobre o pH. Mas o tempo do pulso de vácuo influencia negativamente o processo de desidratação osmótica, pois apresenta um efeito estatisticamente significativo com sinal negativo sobre o pH das fatias de abóbora.

Tabela 15 Efeito das variáveis do DCCR sobre o pH de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	6,30	0,06	105,22	0,00	6,17	6,43
X ₁	-0,02	0,05	-0,45	0,66	-0,13	0,08
X₁²	-0,15	0,05	-3,16	0,01	-0,26	-0,05
X ₂	-0,03	0,05	-0,62	0,54	-0,14	0,08
X₂²	-0,24	0,05	-4,89	0,00	-0,35	-0,13
X ₃	0,00	0,05	-0,01	0,99	-0,11	0,11
X ₃ ²	-0,01	0,05	-0,19	0,85	-0,12	0,10
X₄	-0,20	0,05	-4,18	0,00	-0,31	-0,10
X ₄ ²	-0,07	0,05	-1,35	0,20	-0,17	0,04

“Tabela 15, conclusão”

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
X₁X₂	-0,15	0,06	-2,55	0,02	-0,28	-0,02
X₁X₃	0,15	0,06	2,52	0,03	0,02	0,28
X ₁ X ₄	-0,06	0,06	-1,06	0,31	-0,19	0,07
X ₂ X ₃	-0,06	0,06	-0,92	0,38	-0,18	0,07
X ₂ X ₄	0,05	0,06	0,76	0,46	-0,08	0,18
X ₃ X ₄	-0,09	0,06	-1,57	0,14	-0,22	0,04

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2 = 83,56$ e R^2 ajustado = $65,85$. Onde: X₁ - Concentração de NaCl (%) na solução ; X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

Optou-se por ajustar um modelo re-parametrizado contendo apenas os termos estatisticamente significativos. A análise de variância para o pH das fatias de abóbora do modelo re-parametrizado é apresentada na tabela 16.

O coeficiente de determinação para o pH foi de 47,12% e a regressão foi estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior do que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($12,60 > 2,66$), satisfazendo os requisitos para a construção das superfícies de resposta (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Tabela 16 Análise de variância para o pH de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,841	5	0,168	12,604	0,000
Erro	0,294	22	0,013		
Total	1,135	27			

$R^2 = 74,12$ e $F_{5\%,5,22} = 2,66$

O modelo que representa o comportamento do pH a partir das variáveis codificadas é apresentado na equação:

$$Y_{\text{pH}} = 6,26 - 0,07.X_1^2 - 0,11.X_2^2 - 0,10.X_4 - 0,08.X_1.X_2 + 0,06.X_1.X_3 \quad (46)$$

Assim, foi construída a superfície de resposta com as variáveis relevantes para avaliar as condições do processo que mantêm o valor de pH na faixa desejada (figura 8). Visto que três variáveis foram significativas, três possíveis combinações foram feitas para a construção destas figuras de superfície de resposta.

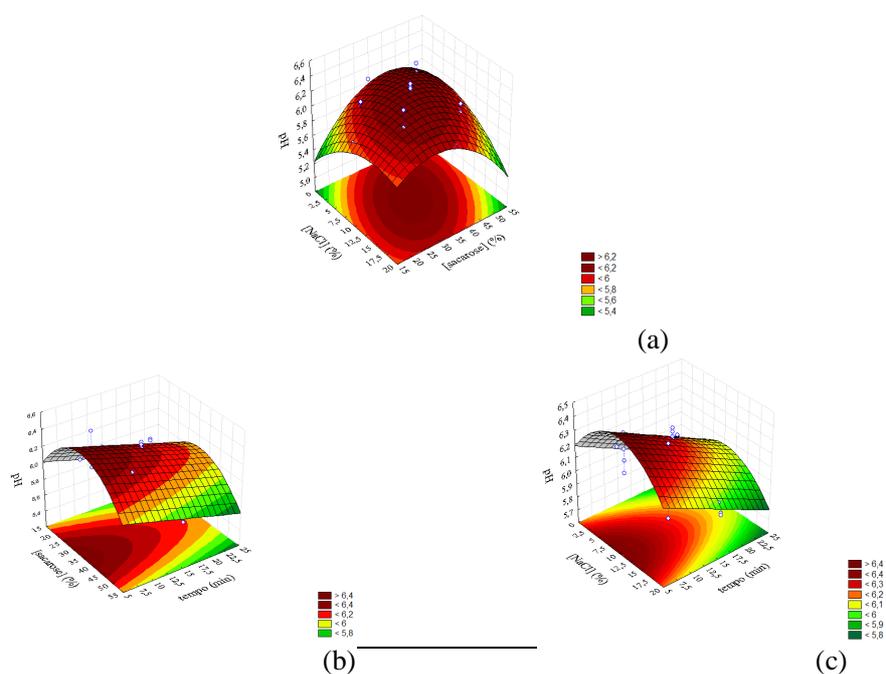


Figura 8 Superfície de resposta para o pH de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), concentração de sacarose e o tempo do pulso de vácuo (b) e, concentração de NaCl e o tempo (c)

A figura 8 apresenta a superfície de resposta para os diferentes níveis de variáveis do delineamento mantendo constantes as outras variáveis em seus respectivos níveis centrais. As combinações entre os resultados da concentração de NaCl e de sacarose resulta em curva de superfície de resposta que apresenta maiores valores de pH nos níveis centrais destas variáveis e em menores valores para os extremos destas soluções (figura 8a). Ou seja, à medida que se sai dos pontos centrais para os extremos o pH diminui. Assim, a interação da concentração de NaCl e da sacarose permitem valores aceitáveis de pH quando se combina os valores extremos ou o inferior duma solução com o superior da outra.

Nas figuras 8b e 8c mostram maiores valores de pH no nível central das concentrações de sacarose e de NaCl, respectivamente, para menores valores de tempo do pulso de vácuo. A região aceitável encontra-se

combinando o nível extremo de cada solução osmótica e o nível central do tempo do pulso de vácuo.

4.3.3 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o encolhimento

Por meio da análise dos resultados da tabela 11 pode-se verificar que o encolhimento variou de -19,80% a 52,23% mostrando que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo para esta resposta foi boa. O ensaio 20 apresentou maior diminuição do volume das fatias com o encolhimento de 52,23%, mas uma resposta não esperada foi da apresentação de menores valores de encolhimento pelos ensaios 25, 26, 27 e 28 que representam os pontos centrais. Isso significa que os níveis mais baixos do processo até ao ponto central não diminuem o volume das fatias de abóbora. Mesmo assim, os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com o encolhimento negativo situado entre 17,94 a 19,80%. Assim, os ensaios com níveis inferiores das variáveis independentes apresentaram valores negativos enquanto que o encolhimento foi positivo para maiores valores destas.

A tabela 17 apresenta os termos lineares e quadráticos e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo sobre o encolhimento das fatias de abóbora. O efeito do termo linear e quadrático, tanto da concentração de NaCl como de sacarose, é estatisticamente significativo a 5% de significância. Assim, a concentração de NaCl e de sacarose tem um efeito estatisticamente significativo sobre o encolhimento das fatias, fazendo com que para uma variação destas variáveis afete efetivamente a taxa osmótica. Visto que os efeitos dos termos lineares de X_1 e X_2 foram positivos sobre o encolhimento, pode-se dizer que, um aumento na concentração destas soluções aumenta o encolhimento das fatias de abóbora.

No caso da pressão do pulso e o tempo de vácuo, o efeito linear e quadrático não foram significativos, o que demonstra que os valores empregados nestas variáveis não apresentaram efeito significativo sobre a desidratação osmótica das fatias de abóbora. Inclusive, as interações entre as variáveis não tiveram efeitos estatisticamente significativos.

Tabela 17 Efeito das variáveis do DCCR sobre o encolhimento das fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	-19,04	4,40	-4,33	0,00	-28,54	-9,54
X₁	13,73	3,59	3,82	0,00	5,97	21,49
X₁²	15,79	3,59	4,40	0,00	8,03	23,55
X₂	24,61	3,59	6,85	0,00	16,85	32,37
X₂²	21,08	3,59	5,87	0,00	13,32	28,84
X ₃	0,90	3,59	0,25	0,81	-6,86	8,66
X ₃ ²	2,56	3,59	0,71	0,49	-5,19	10,32
X ₄	-2,19	3,59	-0,61	0,55	-9,95	5,57

“Tabela 17, conclusão”

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
X ₄ ²	4,50	3,59	1,25	0,23	-3,26	12,26
X ₁ X ₂	5,41	4,40	1,23	0,24	-4,09	14,91
X ₁ X ₃	0,92	4,40	0,21	0,84	-8,58	10,42
X ₁ X ₄	7,08	4,40	1,61	0,13	-2,43	16,58
X ₂ X ₃	-4,41	4,40	-1,00	0,33	-13,91	5,10
X ₂ X ₄	-2,28	4,40	-0,52	0,61	-11,78	7,23
X ₃ X ₄	7,71	4,40	1,75	0,10	-1,79	17,21

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. R²=89,96 e R² ajustado =79,15. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

A análise de variância para o encolhimento das fatias de abóbora do modelo re-parametrizado é apresentada na tabela 18. O coeficiente de determinação para o encolhimento foi de 81,72% e a regressão foi estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior do que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($25,70 > 2,80$), satisfazendo os requisitos para a construção das superfícies de resposta (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Tabela 18 Análise de variância para o encolhimento de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	8190,4	4	2047,6	25,7	$3,4 \cdot 10^{-8}$
Erro	1831,5	23	79,6		
Total	10021,9	27			

$$R^2 = 81,72 \text{ e } F_{5\%;4;23} = 2,80$$

O modelo re-parametrizado contendo apenas os termos estatisticamente significativos que representa o comportamento do encolhimento a partir das variáveis

codificadas é apresentado na equação (47) e a superfície de resposta na figura 9:

$$Y_E = -14,80 + 6,87.X_1 + 7,19.X_1^2 + 12,31.X_2 + 9,83.X_2^2 \quad (47)$$

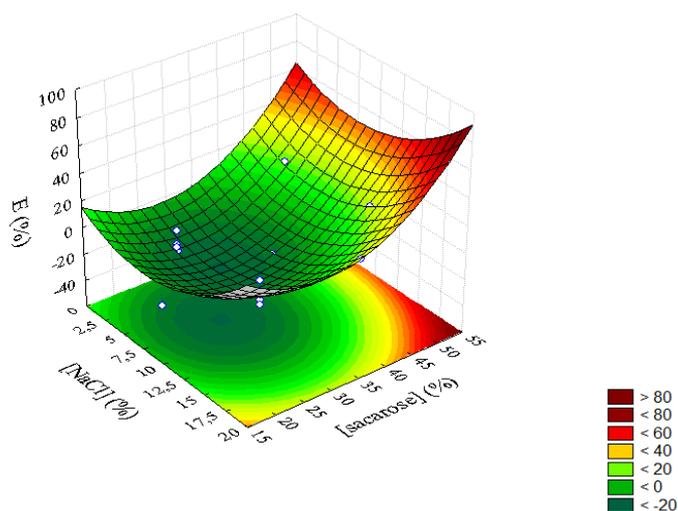


Figura 9 Superfície de resposta para o encolhimento das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose

A figura 9 apresenta a superfície de resposta para os diferentes níveis da concentração de NaCl e de sacarose mantendo constante a pressão do pulso e o

tempo de vácuo em seus respectivos níveis centrais. Assim, a interação da concentração de NaCl e da sacarose permitem a diminuição do encolhimento quando se combina os valores dos níveis centrais, ou seja, o encolhimento é “menor” para valores centrais destas soluções. Portanto, é também evidente que a faixa ótima aceitável é de 5 a 10% de [NaCl] e 25% a 35% de [sacarose].

4.3.4 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a perda de água

Os resultados de perda de água obtidos neste trabalho variam de 20,67 a 65,14% mostrando que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo de fatias de abóbora para esta resposta foi boa (Tabela 11). Os ensaios 8 e 16 apresentaram melhores resultados de WL próximos aos trabalhos realizados por Arballo et al. (2012) trabalhando com abóbora, kiwi e pêra, Corrêa et al. (2010) trabalhando com goiaba, Deng e Zhao (2008) trabalhando com maçã, entre outros. Os

pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com a WL situada entre 55,34 a 58,38%.

A tabela 19 apresenta os efeitos dos termos lineares, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre a perda de água (WL) das fatias de abóbora. O efeito linear da concentração de NaCl é estatisticamente significativo, ao passo que o seu efeito quadrático não é significativo. Os efeitos lineares e quadráticos da concentração de sacarose são significativos. Visto que os efeitos lineares destas soluções osmóticas são positivos sobre a WL das fatias de abóbora ($p < 0,05$) significa que quanto maior for a concentração destas soluções maior é a WL devido a proporção média de concentração da solução/amostra que se torna alta favorecendo uma boa remoção da umidade das fatias.

Tanto a pressão como o tempo de vácuo tem efeito linear não estatisticamente significativo, mas o

efeito quadrático destas variáveis é significativo sobre a WL. Inclusive, o tempo do pulso de vácuo influencia negativamente o processo de desidratação osmótica, pois apresenta um efeito negativo sobre a WL das fatias de abóbora, contrariamente, à concentração das soluções osmóticas que apresentam efeitos positivos. Isso significa que, quanto maior for a concentração das soluções utilizadas, maior é a WL, mas o pulso de vácuo tem efeito significativo para menores valores de pressão e tempo de vácuo.

As interações entre as variáveis não foram significativas. Isto mostra que uma alteração no nível de uma variável influencia na WL das fatias de abóbora imersas sem dependência da alteração das outras variáveis envolvidas no processo.

Tabela 19 Efeito das variáveis do DCCR sobre a WL de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	57,09	2,53	22,54	0,00	51,62	62,56
X₁	13,35	2,07	6,46	0,00	8,89	17,82
X ₁ ²	-3,50	2,07	-1,69	0,11	-7,96	0,97

X₂	20,56	2,07	9,94	0,00	16,09	25,03
X₂²	-6,39	2,07	-3,09	0,01	-10,86	-1,92
X ₃	4,00	2,07	1,93	0,08	-0,47	8,47
X₃²	-6,86	2,07	-3,32	0,01	-11,33	-2,39
X ₄	-3,22	2,07	-1,56	0,14	-7,69	1,25
X₄²	-6,52	2,07	-3,16	0,01	-10,99	-2,06
X ₁ X ₂	-1,73	2,53	-0,68	0,51	-7,20	3,74
X ₁ X ₃	-0,66	2,53	-0,26	0,80	-6,13	4,81
X ₁ X ₄	0,28	2,53	0,11	0,91	-5,19	5,75
X ₂ X ₃	1,67	2,53	0,66	0,52	-3,80	7,14
X ₂ X ₄	-1,65	2,53	-0,65	0,53	-7,12	3,82
X ₃ X ₄	-0,46	2,53	-0,18	0,86	-5,93	5,01

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2 = 92,84$; R^2 ajustado = 85,12. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

Os resultados obtidos pelo DCCR possibilitaram encontrar os coeficientes de regressão de um modelo de segunda ordem e verificar a validade do modelo de WL, em função das variáveis estudadas por meio da ANOVA (tabela 20).

Tabela 20 Análise de variância para a WL de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	4054,99	5	810,9975	29,63213	4,5x10 ⁻⁹
Erro	602,115	22	27,369		
Total	4657,102	27			

$R^2 = 87,07$ e $F_{5\%,5;22} = 2,66$

Pela análise de variância, o coeficiente de determinação igual a 87,07% para a WL e o $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$ demonstraram que o modelo se ajustou muito bem ao processo. Portanto, com os valores da WL obtidos, foi possível construir o modelo, a partir das variáveis codificadas, com apenas os parâmetros estatisticamente significativos. O modelo que representa o comportamento da WL a partir das variáveis codificadas é:

$$Y_{\text{WL}} = 54,47 + 6,68.X_1 + 10,28.X_2 - 2,76.X_2^2 - 2,99.X_3^2 - 2,83.X_4^2 \quad (48)$$

Assim, foram construídas as superfícies de resposta com as variáveis relevantes (que entraram no modelo) para avaliar as condições do processo que aumentam a WL (figura 10). Visto que as quatro variáveis foram significativas, quatro possíveis

combinações foram feitas para a construção destas figuras de superfície de resposta.

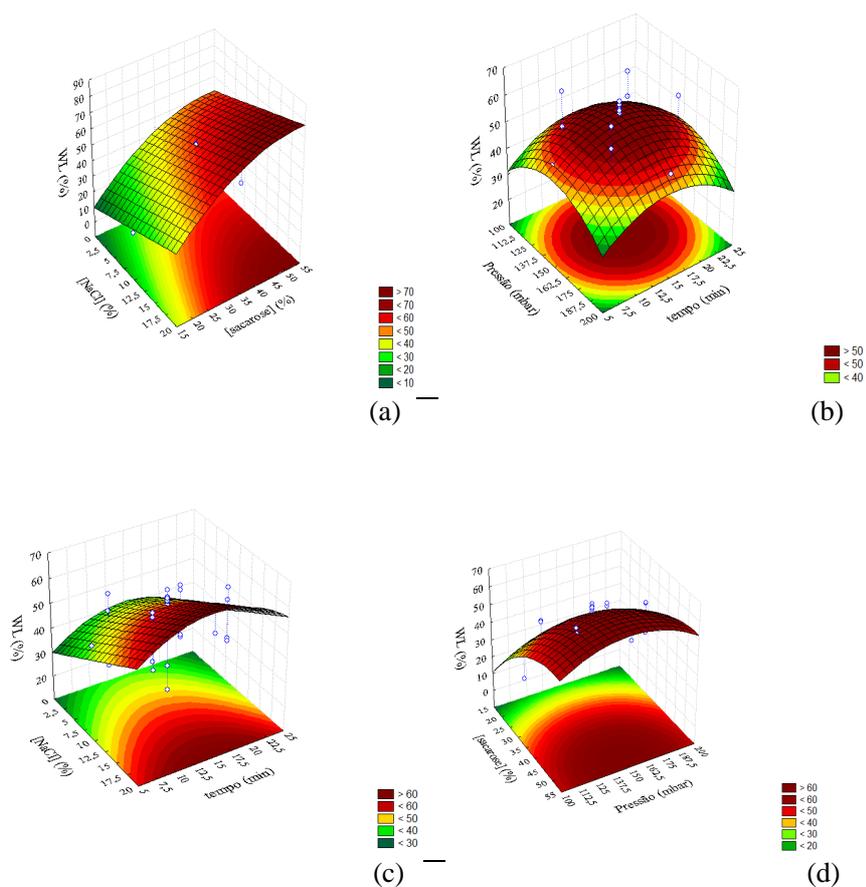


Figura 10 Superfície de resposta para a WL de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), pressão e tempo de vácuo (b), concentração de NaCl e o tempo (c) e concentração de sacarose e pressão do pulso de vácuo (d)

A figura 10 apresenta a superfície de resposta para os diferentes níveis de variáveis do delineamento mantendo constantes as outras variáveis em seus respectivos níveis centrais. As combinações entre os resultados da concentração de NaCl e de sacarose resulta em curva de superfície de resposta que apresenta maiores valores de WL nos níveis superiores destas variáveis e em menores valores para os extremos destas soluções (figura 10a). Ou seja, quanto maior for a concentração da solução osmótica maior é a WL.

As figuras 10b e 10c mostram maiores valores de WL no nível central do tempo do pulso de vácuo e as figuras 10b e 10d apresentam maiores valores de WL também no ponto central da pressão do pulso de vácuo. Assim, a região aceitável encontra-se na faixa ótima de 15% a 20% de NaCl, 45% a 55% de sacarose 150 a 170 mbar de pressão e 10 a 15 minutos de pulso de vácuo.

4.3.5 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o ganho de sólidos

Os resultados de ganho de sólidos (SG) obtidos no DCCR variam de 1,75 a 4,48% em que o ensaio 20 apresentou menor SG e o ensaio 28 o maior. Em todo o experimento, o SG variou apenas 2,73% mostrando que para a faixa estudada, não houve grande influência das variáveis (Tabela 11). Adicionalmente, os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com o SG situado entre 4,28 a 4,48%.

A tabela 21 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre o ganho de sólidos (SG) das fatias de abóbora. O efeito quadrático das variáveis concentração de NaCl, concentração de sacarose, pressão e tempo do pulso de vácuo foram estatisticamente significativos, mas com valor de efeito bastante pequeno, ao passo que o seu efeito linear não é significativo a 95% de confiança. Além disso, a análise da influência das variáveis independentes sugere um efeito negativo sobre o SG,

significando que quanto maior for o nível da variável envolvida, menor é o SG. Porém, este efeito além de apresentar um valor baixo, como já relatado, apresenta coerência física. Pode-se argumentar que isto está relacionado à faixa estudada que foi suficientemente boa podendo-se observar pequenas variações de SG, o que é reforçado pelo baixo valor de R^2 ajustado (tabela 21). As interações entre as variáveis não foram significativas. Isto significa que uma alteração no nível de uma variável influencia no SG das fatias de abóbora imersas independentemente da alteração das outras variáveis envolvidas no processo.

Tabela 21 Efeito das variáveis do DCCR sobre o SG de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	4,40	0,25	17,72	0,00	3,86	4,94
X_1	0,23	0,20	1,15	0,27	-0,20	0,67
X_1^2	-0,83	0,20	-4,11	0,00	-1,27	-0,40
X_2	0,24	0,20	1,18	0,26	-0,20	0,68
X_2^2	-1,12	0,20	-5,53	0,00	-1,56	-0,68
X_3	0,29	0,20	1,45	0,17	-0,14	0,73
X_3^2	-0,51	0,20	-2,53	0,03	-0,95	-0,07
X_4	-0,09	0,20	-0,46	0,66	-0,53	0,35
X_4^2	-0,49	0,20	-2,43	0,03	-0,93	-0,06

X_1X_2	-0,48	0,25	-1,94	0,07	-1,02	0,05
X_1X_3	-0,12	0,25	-0,49	0,63	-0,66	0,41
X_1X_4	-0,23	0,25	-0,91	0,38	-0,76	0,31
X_2X_3	0,16	0,25	0,64	0,54	-0,38	0,69
X_2X_4	-0,04	0,25	-0,16	0,88	-0,58	0,50
X_3X_4	-0,35	0,25	-1,40	0,18	-0,89	0,19

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2 = 79,82$ e R^2 ajustado = 58,00. Onde: X_1 - Concentração de NaCl na solução (%); X_2 - Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

Os resultados obtidos pelo DCCR possibilitaram encontrar os coeficientes de regressão de um modelo de segunda ordem e verificar a validade do modelo de SG, em função das variáveis estudadas por meio da ANOVA (tabela 22).

Tabela 22 Análise de variância para o SG de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	9,7	4	2,4	8,9	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Erro	6,2	23	0,3		
Total	15,9	27,0			

$R^2 = 60,77$ e $F_{5\%;4;23} = 2,80$

Da tabela 22, embora o F_{calc} seja maior do que o F_{tab} , o coeficiente de determinação igual a 60,77% para

o SG demonstra que o modelo não se ajustou muito bem ao processo. Portanto, com os valores do SG obtidos, não se construiu o modelo. Assim, devido ao valor de R^2 não foi construída as superfícies de resposta para este parâmetro de qualidade.

4.3.6 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a relação SG/WL

Os resultados da relação SG/WL obtidos no DCCR mostram que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo para esta resposta foi boa visto que os valores desta variável das fatias de abóbora ficaram entre 0,03 a 0,11 (Tabela 11). Menores valores desta relação foram obtidos nos ensaios 16 e 20, significando que os ensaios efetuados com combinações dos níveis elevados das variáveis independentes apresentaram maiores valores de WL e menores valores de SG. Barbosa Júnior et al. (2003) reportaram que maiores valores para a relação SG/WL foram obtidos nos níveis

inferiores da concentração de NaCl justificando, desta forma, que menores concentrações de solutos facilita mais o SG do que a WL. Deve-se notar que, a diminuição do volume da fase líquida das fatias varia de acordo com a taxa de SG/WL em que, quanto menor for a relação, maior será a translocação da água da amostra para a solução osmótica. Por isso, Mayor, Pissarra e Sereno (2008) consideram que, o fluxo transmembranar da água reduz SG/WL, contudo, a difusão em zonas abertas da estrutura do tecido e sua progressiva resposta às condições de tratamento afetará as alterações nas propriedades da amostra durante a desidratação osmótica.

A tabela 23 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre a relação SG/WL. Tanto o efeito linear como o efeito quadrático da concentração de NaCl é estatisticamente significativo sobre a relação SG/WL. O efeito linear da

concentração de sacarose ($p < 0,05$) é estatisticamente significativo, ao passo que o seu efeito quadrático ($p = 0,19$) não é significativo. Assim, a concentração de NaCl e sacarose tem um efeito sobre a relação SG/WL e a sua pequena variação afetará efetivamente a taxa osmótica. O efeito linear destas soluções sobre a relação SG/WL apresenta efeitos negativos significando que quanto maior for a concentração das soluções osmóticas, menor é a relação SG/WL.

No caso da pressão do pulso e o tempo de vácuo, tanto o efeito linear quanto o efeito quadrático, não foram estatisticamente significativos sobre a SG/WL, o que demonstra que os valores empregados nestas variáveis não apresentaram efeito significativo sobre a desidratação osmótica das fatias de abóbora. Inclusive, as interações entre as variáveis não tiveram efeitos pronunciados.

Tabela 23 Efeito das variáveis do DCCR sobre a relação SG/WL de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	0,08	0,00	15,49	0,00	0,07	0,09
X₁	-0,01	0,00	-3,21	0,01	-0,02	0,00
X₁²	-0,01	0,00	-2,73	0,02	-0,02	0,00
X₂	-0,03	0,00	-6,44	0,00	-0,03	-0,02
X ₂ ²	-0,01	0,00	-1,37	0,19	-0,01	0,00
X ₃	0,00	0,00	-0,10	0,92	-0,01	0,01
X ₃ ²	0,00	0,00	-0,05	0,96	-0,01	0,01
X ₄	0,00	0,00	0,92	0,38	-0,01	0,01
X ₄ ²	0,00	0,00	-0,09	0,93	-0,01	0,01
X ₁ X ₂	0,00	0,00	-0,45	0,66	-0,01	0,01
X ₁ X ₃	0,00	0,00	-0,14	0,89	-0,01	0,01
X ₁ X ₄	-0,01	0,00	-1,16	0,27	-0,02	0,00
X ₂ X ₃	0,00	0,00	0,38	0,71	-0,01	0,01
X ₂ X ₄	0,00	0,00	0,11	0,91	-0,01	0,01
X ₃ X ₄	-0,01	0,00	-1,06	0,31	-0,02	0,01

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=98,776$ e R^2 ajustado =97,45. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

A análise de variância para a relação SG/WL das fatias de abóbora do modelo re-parametrizado é apresentada na tabela 24. O coeficiente de determinação para a relação SG/WL foi de 75,85% e a regressão foi estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior do

que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($25,12 > 3,01$), satisfazendo os requisitos para a construção das superfícies de resposta (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Tabela 24 Análise de variância para a relação SG/WL de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,01	3	0,00194	25,1224	1,4.10 ⁻⁷
Erro	0,001855	24	0,000077		
Total	0,007682	27			

$R^2 = 75,85$ e $F_{5\%;3;24} = 3,01$

O modelo re-parametrizado contendo apenas os termos estatisticamente significativos que representa o comportamento da relação SG/WL a partir das variáveis codificadas é apresentado na equação:

$$Y_{SG/WL} = 0,08 - 0,01.X_1 - 0,01.X_2 - 0,01.X_1^2 \quad (49)$$

Assim, foi construída a superfície de resposta com as variáveis relevantes para avaliar as condições do processo que diminuem a relação SG/WL (figura 11).

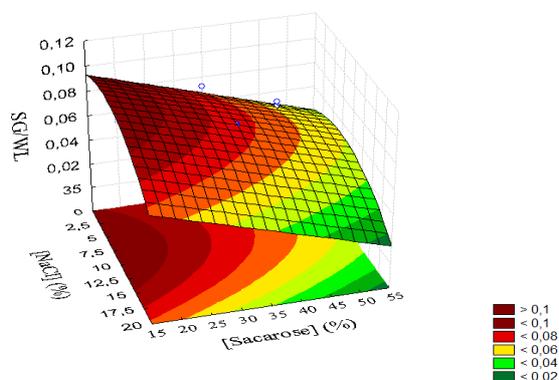


Figura 11 Superfície de resposta para a relação SG/WL das fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose

A figura 11 apresenta a superfície de resposta para os diferentes níveis de variáveis do delineamento. As combinações entre os resultados da concentração de NaCl e de sacarose resulta em curva de superfície de resposta mantendo constante a pressão do pulso e o tempo de vácuo em seus respectivos níveis centrais. Assim, a interação da concentração de NaCl e da sacarose permitem a diminuição da SG/WL quando se combina os valores dos nível mais alto, ou seja, a relação SG/WL é “menor” para “maiores” concentrações destas soluções. Portanto, é também

evidente que a faixa ótima aceitável é de 15 a 20% de [NaCl] e 45% a 55% de [sacarose].

4.3.7 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre o NaCl incorporado

Os resultados de NaCl incorporado obtidos no DCCR variam de 0,0 a 0,68% (tabela 12). O ensaio 17 não apresentou valor de NaCl incorporado porque neste ensaio não foi utilizado a concentração de NaCl, enquanto que o ensaio 19 apresentou o maior valor deste parâmetro. Os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com a porcentagem de NaCl incorporado situada entre 0,11 a 0,12%.

A tabela 25 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas na desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre o teor de NaCl incorporado pelas fatias durante o processo. O efeito quadrático da concentração de sacarose é estatisticamente significativo, ao passo que

o seu efeito linear não é significativo. Esta variável independente apresenta efeito linear negativo sobre o NaCl incorporado mostrando que quanto maior é o valor da concentração de sacarose, menor é o NaCl incorporado.

Tanto a concentração de NaCl, a pressão como o tempo de vácuo tem efeito linear e quadrático não significativo.

As interações entre as variáveis não foram significativas. Isto significa que uma alteração na concentração de sacarose influencia no NaCl incorporado nas fatias de abóbora imersas independentemente da alteração das outras variáveis envolvidas no processo.

Tabela 25 Efeito das variáveis do DCCR sobre o NaCl incorporado pelas fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	0,12	0,07	1,71	0,11	-0,03	0,26
X ₁	-0,04	0,05	-0,78	0,45	-0,16	0,08
X ₁ ²	0,03	0,05	0,58	0,57	-0,09	0,15
X ₂	-0,08	0,05	-1,50	0,16	-0,20	0,04

X_2^2	0,17	0,05	3,12	0,01	0,05	0,29
X_3	0,03	0,05	0,46	0,66	-0,09	0,14
X_3^2	0,06	0,05	1,07	0,31	-0,06	0,18
X_4	0,04	0,05	0,68	0,51	-0,08	0,16
X_4^2	0,10	0,05	1,75	0,10	-0,02	0,21
X_1X_2	-0,04	0,07	-0,56	0,59	-0,18	0,11
X_1X_3	-0,02	0,07	-0,32	0,75	-0,17	0,12
X_1X_4	-0,01	0,07	-0,20	0,85	-0,16	0,13
X_2X_3	-0,08	0,07	-1,12	0,28	-0,22	0,07
X_2X_4	-0,05	0,07	-0,76	0,46	-0,20	0,09
X_3X_4	0,01	0,07	0,12	0,91	-0,14	0,15

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=56,28$ e R^2 ajustado =9,20. Onde: X_1 - Concentração de NaCl na solução (%); X_2 - Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

A tabela 26 apresenta os resultados obtidos pelo DCCR para possibilitar encontrar os coeficientes de regressão de um modelo simples de segunda ordem e verificar a validade do modelo de NaCl incorporado, em função das variáveis estudadas por meio da ANOVA.

Tabela 26 Análise de variância para o teor de NaCl incorporado pelas fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,1	1,0	0,1	8,7	$6,7 \cdot 10^{-3}$
Erro	0,4	26,0	0,0		

Total	0,5	27,0
-------	-----	------

$R^2 = 25,01$ e $F_{5\%;1,26} = 4,23$

Assim, embora o F_{calc} seja maior do que o F_{tab} , o coeficiente de determinação igual a 25,01% para o NaCl incorporado demonstra que o modelo não se ajustou muito bem ao processo. Portanto, devido ao baixo R^2 não foi construída a superfície de resposta.

4.3.8 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a sacarose incorporada

Os resultados da incorporação da sacarose obtidos no DCCR variam de 1,29 a 4,07% mostrando que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo de fatias de abóbora para esta resposta foi boa (Tabela 12). Os ensaios 8 e 16 apresentaram maiores valores de sacarose incorporada enquanto que o ensaio 19 apresentou o menor valor deste parâmetro. Os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do

processo com a porcentagem de sacarose incorporada situada entre 3,46 a 3,65%.

A tabela 27 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre o teor de sacarose incorporada pelas fatias de abóbora. O efeito linear da concentração de NaCl é estatisticamente significativo, ao passo que o seu efeito quadrático não é significativo. O efeito linear e quadrático da concentração de sacarose é estatisticamente significativo a 5% de significância. Assim, a concentração de NaCl e de sacarose tem um efeito sobre a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora ($p < 0,05$), embora a concentração de NaCl influencie linearmente e a concentração de sacarose quadraticamente.

Tanto a pressão como o tempo de vácuo tem efeito linear não significativo, mas o efeito quadrático destas variáveis é estatisticamente significativo sobre o

teor de sacarose incorporada. Inclusive, a pressão e o tempo do pulso de vácuo influencia negativamente o processo de desidratação osmótica, pois apresenta um efeito negativo sobre a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora, contrariamente, à concentração das soluções osmóticas que apresentam efeitos positivos. Isso significa que, quanto maior for a concentração das soluções utilizadas, maior é a sacarose incorporada, em contrapartida, quanto maior for o pulso de vácuo menor é a incorporação de sacarose nas fatias.

As interações entre as variáveis não foram significativas. Isto significa que uma alteração no nível de uma variável influencia no teor de sacarose incorporada das fatias de abóbora imersas independentemente da alteração das outras variáveis envolvidas no processo.

Tabela 27 Efeito das variáveis do DCCR sobre a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	3,57	0,16	22,54	0,00	3,23	3,91
X₁	0,83	0,13	6,46	0,00	0,56	1,11
X ₁ ²	-0,22	0,13	-1,69	0,11	-0,50	0,06
X₂	1,28	0,13	9,94	0,00	1,01	1,56
X₂²	-0,40	0,13	-3,09	0,01	-0,68	-0,12
X ₃	0,25	0,13	1,93	0,08	-0,03	0,53
X₃²	-0,43	0,13	-3,32	0,01	-0,71	-0,15
X ₄	-0,20	0,13	-1,56	0,14	-0,48	0,08
X₄²	-0,41	0,13	-3,16	0,01	-0,69	-0,13
X ₁ X ₂	-0,11	0,16	-0,68	0,51	-0,45	0,23
X ₁ X ₃	-0,04	0,16	-0,26	0,80	-0,38	0,30
X ₁ X ₄	0,02	0,16	0,11	0,91	-0,32	0,36
X ₂ X ₃	0,10	0,16	0,66	0,52	-0,24	0,45
X ₂ X ₄	-0,10	0,16	-0,65	0,53	-0,45	0,24
X ₃ X ₄	-0,03	0,16	-0,18	0,86	-0,37	0,31

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=92,83$ e R^2 ajustado =85,12. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

A análise de variância para a sacarose incorporada nas fatias de abóbora do modelo reparametrizado é apresentada na tabela 28. O coeficiente de determinação para este parâmetro foi de 87,07% e a regressão foi estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$

foi maior do que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($29,60 > 2,66$), satisfazendo os requisitos para a construção das superfícies de resposta (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Tabela 28 Análise de variância para a sacarose incorporada pelas fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	15,8	5	3,2	29,6	5,9.10 ⁻⁹
Erro	2,4	22	0,1		
Total	18,2	27			

$R^2 = 87,07$ e $F_{5\%,5;22} = 2,66$

O modelo que representa o comportamento da sacarose incorporada a partir das variáveis codificadas é apresentado na equação:

$$Y_{\text{SACAROSE}} = 3,40 + 0,42.X_1 + 0,64.X_2 - 0,17.X_2^2 - 0,19.X_3^2 - 0,18.X_4^2 \quad (50)$$

Assim, foi construída a superfície de resposta com as variáveis relevantes para avaliar as condições do processo que diminuem o teor de sacarose incorporada (figura 12). Visto que as quatro variáveis foram significativas, quatro possíveis combinações

foram feitas para a construção destas figuras de superfície de resposta.

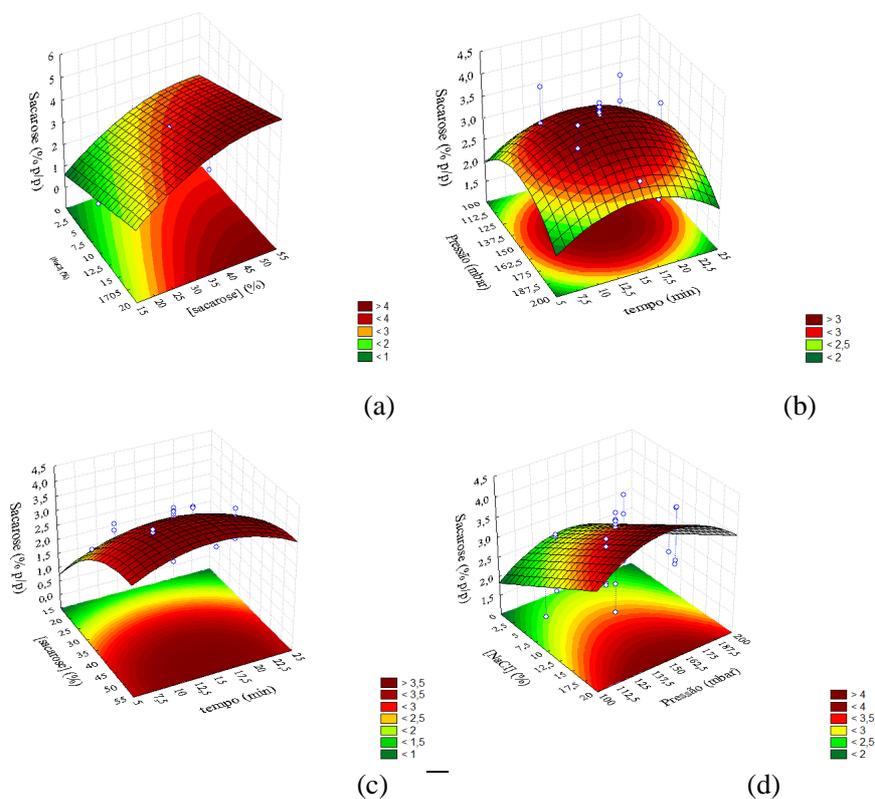


Figura 12 Superfície de resposta para o teor de sacarose absorvido pelas fatias de abóbora desidratadas osmoticamente em função da concentração de NaCl e sacarose (a), pressão e tempo de vácuo (b), concentração de sacarose e o tempo (c) e concentração de NaCl e a pressão do pulso de vácuo (d)

A figura 12 apresenta a superfície de resposta para os diferentes níveis de variáveis do delineamento mantendo constantes as outras variáveis em seus respectivos níveis centrais. As combinações entre os

resultados da concentração de NaCl e de sacarose resulta em curva de superfície de resposta que apresenta maiores valores de sacarose incorporada nos níveis superiores destas variáveis e em menores valores para os extremos destas soluções (figura 12a). Ou quanto maior for a concentração da solução osmótica maior é o teor de sacarose incorporada pelas fatias de abóbora submersas.

As figuras 12b e 12c mostram maiores valores de ganho de sacarose no nível central do tempo do pulso de vácuo e as figuras 12b e 12d apresentam maiores valores de ganho de sacarose também no ponto central da pressão do pulso de vácuo. Assim, a região aceitável encontra-se na faixa ótima de 0% a 10% de NaCl, 15% a 30% de sacarose 150 a 170 mbar de pressão e 7,5 a 12,5 minutos de pulso de vácuo.

4.3.9 O efeito do pulso de vácuo e do agente osmótico sobre a cor das fatias de abóbora

Os resultados da variação total de cor (ΔE), ângulo Hue (H^*) e a claridade (L^*) são apresentados e analisados a seguir.

4.3.9.1 Variação total de cor

Os resultados da variação total de cor (ΔE) apresentadas na tabela 12 variam de 6,22 a 14,35. O ensaio 16 apresentou o melhor resultado enquanto que o ensaio 23 apresentou o maior resultado para este parâmetro. Os pontos centrais apresentaram uma boa repetitividade do processo com a ΔE situada entre 12,70 a 13,65.

A tabela 29 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre a diferença de cor inicial e final do processo. Os efeitos quadráticos da concentração de NaCl e de sacarose são estatisticamente significativos, ao passo que o seu efeito linear não é estatisticamente significativo. Essas

variáveis independentes apresentam efeito linear negativo sobre a ΔE mostrando que quanto maior é o valor de cada variável, menor é a ΔE .

Tanto a pressão como o tempo de vácuo tem efeito linear e quadrático não significativo indicando que não houve influência estatisticamente significativa ($p < 0,05$) do pulso de vácuo sobre este parâmetro de qualidade.

As interações entre as variáveis não foram estatisticamente significativas. Isto significa que uma alteração no nível de uma variável influencia na ΔE das fatias de abóbora imersas independentemente da alteração das outras variáveis envolvidas no processo.

Tabela 29 Efeito das variáveis do DCCR sobre a ΔE de fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	13,18	0,89	14,78	0,00	11,26	15,11
X_1	-0,93	0,73	-1,27	0,23	-2,50	0,65
X_1^2	-2,76	0,73	-3,79	0,00	-4,34	-1,19
X_2	-1,40	0,73	-1,92	0,08	-2,97	0,18
X_2^2	-2,52	0,73	-3,45	0,00	-4,09	-0,94
X_3	-0,37	0,73	-0,51	0,62	-1,94	1,20
X_3^2	-0,75	0,73	-1,03	0,32	-2,32	0,82
X_4	0,01	0,73	0,01	0,99	-1,56	1,58
X_4^2	-0,74	0,73	-1,01	0,33	-2,31	0,84
X_1X_2	-1,21	0,89	-1,36	0,20	-3,14	0,72
X_1X_3	-0,10	0,89	-0,11	0,91	-2,03	1,83
X_1X_4	-0,12	0,89	-0,14	0,89	-2,05	1,80

X_2X_3	-1,33	0,89	-1,49	0,16	-3,26	0,59
X_2X_4	-0,41	0,89	-0,45	0,66	-2,33	1,52
X_3X_4	-1,42	0,89	-1,60	0,13	-3,35	0,50

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2 = 72,24$; R^2 ajustado = 42,35. Onde: X_1 - Concentração de NaCl na solução (%); X_2 - Concentração de sacarose na solução (%); X_3 - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X_4 - Tempo de pulso de vácuo (min).

Os resultados obtidos pelo DCCR possibilitaram encontrar os coeficientes de regressão de um modelo de segunda ordem e verificar a validade do modelo de ΔE , em função das variáveis estudadas por meio da ANOVA (tabela 30).

Tabela 30 Análise de variância para a ΔE de fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	62,9	2	31,5	9,1	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Erro	86,2	25	3,4		
Total	149,1	27,0			

$R^2 = 42,20$ e $F_{5\%,2;25} = 3,39$

Embora o F_{calc} seja maior do que o F_{tab} , o coeficiente de determinação igual a 42,20% para a ΔE demonstra que o modelo não se ajustou muito bem ao

processo. Devido ao baixo valor de R^2 não foi construída as superfícies de resposta.

4.3.9.2 Ângulo Hue

Os resultados do ângulo Hue obtidos no DCCR mostram que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo para esta resposta foi boa visto que os valores desta variável das fatias de abóbora ficaram entre $96,16^\circ$ a $99,94^\circ$ (Tabela 12). Menores valores deste parâmetro foram obtidos nos ensaios 2 e 8 enquanto que os maiores valores foram obtidos nos ensaios 20 e 24, significando que os ensaios efetuados com combinações dos níveis elevados das variáveis independentes apresentaram maiores valores do ângulo Hue preservando a tonalidade amarela das fatias de abóbora.

A tabela 31 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre o

ângulo Hue. O efeito linear da concentração de NaCl e concentração de sacarose é não significativo, ao passo que o seu efeito quadrático ($p < 0,05$) é significativo. Assim, a concentração de NaCl e sacarose tem um efeito sobre o ângulo Hue da cor das fatias e a sua variação afetará efetivamente a taxa osmótica.

No caso da pressão do pulso de vácuo, tanto o efeito linear quanto o efeito quadrático, não foram significativos sobre o ângulo Hue, mas o tempo de vácuo influencia significativamente o ângulo Hue, o que demonstra que os valores empregados nestas variáveis apresentaram efeito significativo sobre a desidratação osmótica das fatias de abóbora. As interações entre as variáveis não tiveram efeitos pronunciados.

Tabela 31 Efeito das variáveis do DCCR sobre o ângulo Hue das fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	99,72	0,42	237,38	0,00	98,81	100,62
X_1	-0,65	0,34	-1,90	0,08	-1,39	0,09
X_1^2	-0,95	0,34	-2,76	0,02	-1,69	-0,21
X_2	-0,46	0,34	-1,35	0,20	-1,20	0,28
X_2^2	-1,05	0,34	-3,07	0,01	-1,79	-0,31
X_3	-0,17	0,34	-0,50	0,63	-0,91	0,57
X_3^2	-0,53	0,34	-1,54	0,15	-1,27	0,21
X_4	0,89	0,34	2,60	0,02	0,15	1,63
X_4^2	-0,44	0,34	-1,27	0,23	-1,18	0,31
X_1X_2	0,43	0,42	1,03	0,32	-0,47	1,34
X_1X_3	-0,43	0,42	-1,02	0,33	-1,34	0,48

X₁X₄ 0,02 0,42 0,05 0,96 -0,89 0,93

“Tabela 31, conclusão”

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
X ₂ X ₃	-0,52	0,42	-1,24	0,24	-1,43	0,39
X ₂ X ₄	-0,42	0,42	-1,00	0,33	-1,33	0,49
X ₃ X ₄	0,18	0,42	0,42	0,68	-0,73	1,08

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=98,776$ e R^2 ajustado =97,45. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

A análise de variância para o ângulo Hue da cor das fatias de abóbora do modelo re-parametrizado é apresentada na tabela 32. O coeficiente de determinação para este parâmetro foi de 39,45%. Embora a regressão tenha sido estatisticamente significativa em nível de 95% de confiança, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior do que o F_{tabelado} do teste de Fisher ($5,20 > 3,01$), o coeficiente de determinação igual a 39,45% para o ângulo Hue da cor das fatias é baixo. Devido ao baixo valor de R^2 não foi construído as superfícies de resposta.

Tabela 32 Análise de variância para o ângulo Hue da cor das fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	12,3	3,0	4,1	5,2	6,5.10 ⁻³
Erro	18,84042	24	0,785018		
Total	31,13061	27			

$R^2 = 39,45$ e $F_{5\%,3;24} = 3,01$

Assim, devido a essa falta de ajuste, os agentes osmóticos e o pulso de vácuo foram considerados como não sendo influentes na alteração da tonalidade ou ângulo Hue das fatias de abóbora durante o processo.

4.3.9.3 Claridade das fatias

Os resultados da claridade (L^*) obtidos no DCCR mostram que a desidratação osmótica com o pulso de vácuo para esta resposta foi boa visto que os valores desta variável das fatias de abóbora ficaram entre 42,46 a 48,88 (Tabela 12). Menores valores deste parâmetro foram obtidos nos ensaios 22 e 27 enquanto que os

maiores valores foram obtidos nos ensaios 4 e 27, significando que os ensaios efetuados com combinações dos níveis elevados das variáveis independentes apresentaram menores valores da claridade e, vice-versa

A tabela 33 apresenta os efeitos linear, quadrático e a interação entre as variáveis utilizadas no processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo sobre a L^* . O efeito linear da concentração de NaCl e concentração de sacarose é não significativo, ao passo que o seu efeito quadrático ($p < 0,05$) é estatisticamente significativo. Assim, a concentração de NaCl e sacarose tem um efeito sobre a claridade da cor das fatias e a sua variação afetará efetivamente a taxa osmótica.

No caso da pressão e do tempo do pulso de vácuo, tanto o efeito linear quanto o efeito quadrático, não foram significativos sobre a variável L^* , o que demonstra que os valores empregados nestas variáveis não apresentaram efeito significativo sobre a desidratação osmótica das fatias de abóbora. Inclusive, as interações entre as variáveis não tiveram efeitos significativos.

Tabela 33 Efeito das variáveis do DCCR sobre a claridade das fatias de abóbora*

	Efeito	Erro padrão	t(13)	p-valor	-95,%	+95,%
Média	43,49	0,63	69,57	0,00	42,14	44,84
X ₁	-0,09	0,51	-0,18	0,86	-1,20	1,01
X₁²	2,90	0,51	5,68	0,00	1,80	4,00
X ₂	-0,44	0,51	-0,87	0,40	-1,55	0,66
X₂²	1,78	0,51	3,49	0,00	0,68	2,88
X ₃	0,01	0,51	0,03	0,98	-1,09	1,12
X ₃ ²	0,27	0,51	0,53	0,60	-0,83	1,37
X ₄	-0,34	0,51	-0,66	0,52	-1,44	0,77
X ₄ ²	0,90	0,51	1,76	0,10	-0,21	2,00
X ₁ X ₂	0,57	0,63	0,92	0,38	-0,78	1,92
X ₁ X ₃	0,01	0,63	0,02	0,99	-1,34	1,36
X ₁ X ₄	-0,57	0,63	-0,91	0,38	-1,92	0,78
X ₂ X ₃	-0,07	0,63	-0,11	0,91	-1,42	1,28
X ₂ X ₄	-0,49	0,63	-0,78	0,45	-1,84	0,86
X ₃ X ₄	0,45	0,63	0,73	0,48	-0,90	1,81

*Em negrito, efeitos significativos a 95% de confiança. $R^2=98,776$ e R^2 ajustado =97,45. Onde: X₁ - Concentração de NaCl na solução (%); X₂ - Concentração de sacarose na solução (%); X₃ - Pressão de pulso de vácuo (mbar); X₄ - Tempo de pulso de vácuo (min).

Os resultados obtidos por meio do DCCR possibilitaram encontrar os coeficientes de regressão de um modelo de segunda ordem e verificar a validade do modelo deste parâmetro, em função das variáveis estudadas por meio da análise de variância (ANOVA) (tabela 34).

Tabela 34 Análise de variância para a claridade (L^*) da cor das fatias de abóbora submetidas à DOPV

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	55,8	2,0	27,9	22,1	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Erro	31,47911	25	1,25916		
Total	87,23271	27			

$$R^2 = 63,91 \text{ e } F_{5\%;2;25} = 3,39$$

Analisando a tabela 34 para a resposta L^* verifica-se que o F_{calc} (22,1) é maior do que o F_{tab} (3,39), mas a porcentagem de variação explicada pelo modelo não é boa (63,91). Portanto, observa-se que o modelo não se ajustou bem aos dados experimentais. Por isso, a partir dos valores da claridade não foi possível construir o modelo matemático. Assim, devido ao baixo R^2 não foi construída a superfície de resposta. Portanto, os agentes osmóticos e o pulso de vácuo foram considerados como não sendo influentes na claridade das fatias de abóbora durante o processo.

4.3.10 Otimização das variáveis do processo

A partir das análises da superfície de resposta foi possível determinar as condições de processo em que as variáveis independentes proporcionam simultaneamente, as características desejadas da desidratação osmótica de fatias de abóbora com o uso do pulso de vácuo. A tabela 35 apresenta resumidamente a faixa de valores das variáveis que otimizam o processo e a figura 13 apresenta o gráfico da função desejabilidade do processo osmótico de fatias de abóbora com o uso do pulso de vácuo.

Pela tabela 35 observa-se que a concentração ótima de NaCl na solução osmótica situa-se entre 15 a 20% para as variáveis resposta A_w , pH, WL e SG/WL. A variável resposta percentagem de sacarose incorporado nas fatias de abóbora, a faixa ótima da concentração de NaCl deve ser menor (0 a 10%) assim como o encolhimento que apresenta a concentração ótima de NaCl em 5% a 10%. Portanto, otimizando todas as variáveis ao mesmo tempo verificou-se que a

concentração ótima de NaCl na solução osmótica deve ser de 17,5%. A mesma análise foi feita para as outras variáveis independentes encontrando-se que, a melhor condição de desidratação de fatias de abóbora com NaCl e sacarose aplicando o pulso de vácuo no início do processo é de 17,5% de concentração de NaCl, 50% de concentração de sacarose, 160 mbar de pressão e 10 minutos do tempo de pulso de vácuo.

Tabela 35 Faixa de valores das variáveis independentes que melhor otimizam o processo

Variáveis dependentes	Variáveis independentes				
	Concentração da solução		Pulso de vácuo		
	NaCl (%)	Sacarose (%)	Pressão (mbar)	Tempo (min)	
A _w	15-20	45-55	ns	ns	
pH	15-20	40-45	ns	15-20	
Encolhimento	5-10	25-35	ns	ns	
WL	15-20	45-55	150-170	7,5-12,5	
SG/WL	15-20	45-55	ns	ns	
Sacarose inc.	0-10	15-30	150-170	7,5-12,5	
Melhor condição	valor	17,5	50	160	10
	nível	+1,5	+1,5	+0,4	-1,0

ns – não significativo na nível de 95% de confiança.

A desejabilidade foi obtida tendo em conta as seguintes tendências das respostas do processo:

diminuição da A_w , Encolhimento, teor de sacarose e da relação SG/WL, aumento da WL e, o pH estaria no intervalo desejado de processamento (5,5 a 6,8). Foram considerados os modelos reduzidos das respostas e, além disso, as respostas estatisticamente não significativas foram retiradas na análise da desejabilidade.

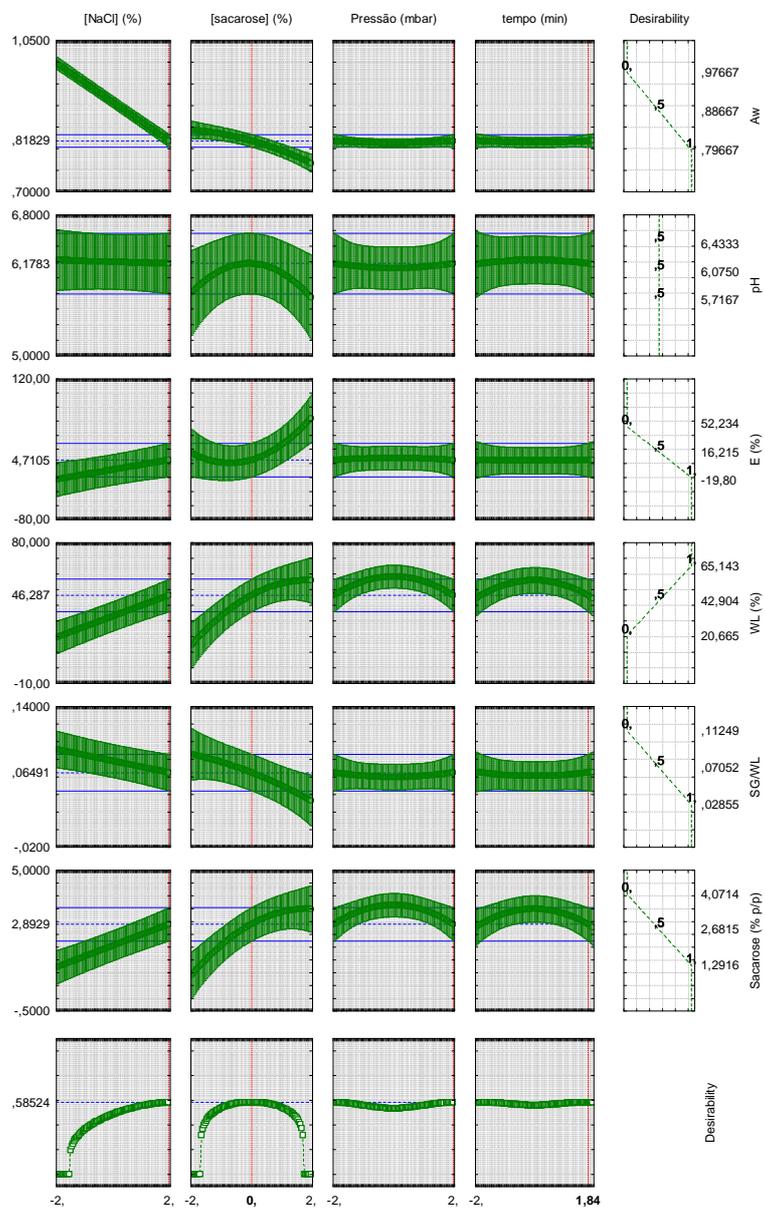


Figura 13 Gráfico da função desejabilidade da desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo das fatias de abóbora

A figura 13 mostra os valores ótimos das 6 variáveis de resposta, nomeadamente, $A_w = 0,82$; pH = 6,18; E = 4,71%; WL = 46,80%; SG/WL = 0,06 e Sacarose incorporado = 2,90%. As condições operacionais que levam ao ótimo das respostas obtiveram-se: concentração da solução de NaCl = 20% (correspondente em nível codificado 2), concentração de sacarose = 35% (correspondente em nível codificado 0), pressão do pulso de vácuo = 200 mbar (correspondente em nível codificado 2) e tempo do pulso de vácuo = 23 minutos (correspondente em nível codificado 1,84). Mesmo assim, atendendo as condições do trabalho os ensaios para a validação dos resultados foram conduzidos nos valores ótimos contidos na tabela 35, nomeadamente: concentração de NaCl = 17,5%, concentração de sacarose = 50%, pressão = 160 mbar e tempo de pulso de vácuo = 10 minutos, que não alteram significativamente a desejabilidade global de 0,58524.

4.3.11 Validação experimental do processo otimizado

A validação foi realizada por meio de um ensaio experimental em triplicata nas condições otimizadas e a tabela 36 apresenta os valores experimentais, preditos e o erro relativo por meio dos modelos.

Tabela 36 Resultados experimentais, preditos e erro relativo obtidos nas condições otimizadas de desidratação osmótica de fatias de abóbora com o uso do pulso de vácuo

Variável dependente	Resultado		
	experimental	predito pelo modelo	Erro relativo (%)
$A_w (Y_{Aw})$	0,74	0,80	-7,32
pH (Y_{pH})	5,75	5,83	-1,38
Encolhimento (Y_E)	48,07	52,26	-8,72
WL (Y_{WL})	71,31	70,39	1,29
SG/WL	0,032	0,027	15,08
Sacarose (Y_{SAC})	3,77	4,40	-16,80

Os resultados obtidos para as variáveis dependentes Y_{Aw} , Y_{pH} , Y_E , Y_{WL} , $Y_{SG/WL}$ e Y_{SAC} encontram-se dentro da faixa desejada, ou seja, os resultados preditos estão próximos aos experimentais. Este resultado sugere que a estratégia sequencial de delineamentos utilizada para otimizar essas seis respostas simultaneamente na metodologia de

desidratação osmótica das fatias de abóbora com o uso do pulso de vácuo foi, sem dúvida, eficiente.

Comparando estes modelos com os dados experimentais, calculou-se o erro relativo entre as respostas observadas e as previstas para as fatias de abóbora. Para a incorporação de sacarose e a relação SG/WL observa-se um valor elevado do erro relativo, mas não compromete a validade dos modelos, pois o erro relativo está abaixo de 20%. Nos demais parâmetros o erro relativo é menor do que 10% assegurando assim a confiabilidade dos modelos.

4.4 Avaliação da cinética de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo

A cinética de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo foi estudada avaliando-se o comportamento das variáveis dependentes ao longo do tempo na condição otimizada do processo descrito em 4.3.10. A temperatura utilizada foi de 40 °C e as fatias

foram previamente branqueadas conforme descrito em 3.2.3.

4.4.1 Cinética da atividade de água de fatias de abóbora

A figura 14 mostra a A_w ao longo do tempo da desidratação osmótica com a solução mistura de NaCl e sacarose nas concentrações de 17,5% e 50%, respectivamente e pulso de vácuo de 160 mbar nos primeiros 10 minutos de processo. O comportamento decrescente da A_w foi observado em todo o processo. A A_w ficou entre 0,74 a 0,99 apresentando o máximo nas fatias *in natura* e o mínimo em fatias desidratadas durante 5 horas. Assim pode-se dizer que quanto maior for o tempo de desidratação, menor será a A_w . Na primeira hora o decréscimo da A_w é mais acentuado do que no restante tempo do processo indicando que a transferência de massa é mais intensa neste período. Pode-se notar também que após 3 horas a A_w tende ao

equilíbrio devido à diminuição, cada vez mais, da água livre durante o processo.

Para, além disso, é sabido que o cloreto de sódio pode reduzir A_w mais do que a sacarose, devido a capacidade dos íons Na^+ e Cl^- na ligação eletrostática com a água além de que a sacarose interage com água por fraca ligação de hidrogênio. Portanto, estes dois processos de ligação dos solutos com a água influenciou grandemente na redução da A_w .

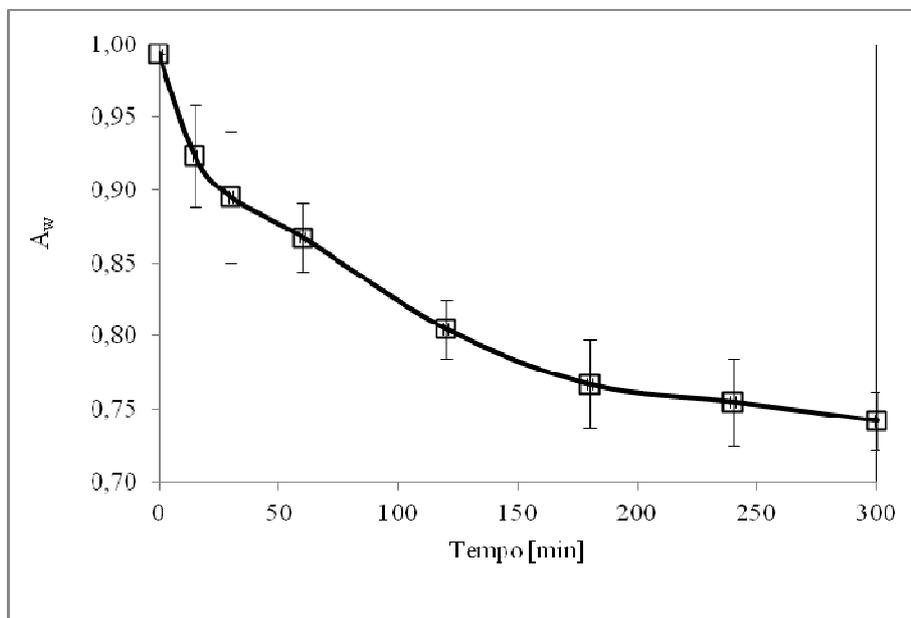


Figura 14 Cinética da atividade de água de fatias de abóbora osmoticamente desidratado com o uso do pulso de vácuo

El-Aouar et al. (2006), estudando a influência do agente osmótico na desidratação de fatias de mamão encontraram a A_w de 0,945 a 0,971 num intervalo de 210 minutos. Embora neste estudo tenha-se usado material diferente, verificou-se uma diminuição da A_w com o tempo e, num intervalo de 180 minutos, a A_w variou de 0,993 a 0,764 mostrando que o processo de desidratação osmótica em que foram submetidas às fatias de abóbora foi eficiente, graças a otimização do processo que possibilitou a escolha de melhores níveis de processamento.

4.4.2 Cinética de transferência de massa em fatias de abóbora

Os resultados para a transferência de água e dos solutos de fatias de abóbora são apresentadas em forma de tendência em função de tempo dos seus principais parâmetros. A difusividade efetiva da água e ou dos solutos também foi apresentada.

4.4.2.1 Cinética de transferência de água de fatias de abóbora

A figura 15 mostra o teor de água (X), a perda de água (WL), a perda de peso (WR) e o encolhimento das fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com a solução mista de NaCl e sacarose e pulso de vácuo de 160 mbar nos primeiros 10 minutos de processo. Observa-se que, a desidratação osmótica permite a diminuição do teor de água nas fatias de abóbora, fazendo com que a curva de cinética de teor de água seja decrescente ao longo do tempo do processo. Visto que, a perda de água afeta o peso e o volume das fatias imersas, a curva do X apresenta tendência contrária às curvas de WL, WR e encolhimento. Assim, quanto menor for o teor de água das fatias imersas, maior a WL, WR e o encolhimento. Observa-se que as grandes variações de todas as curvas da Figura 15, bem como a tendência ao equilíbrio ocorrem em tempos coincidentes, mostrando a

dependência de WL, WR e encolhimento com o teor de água da amostra de abóbora.

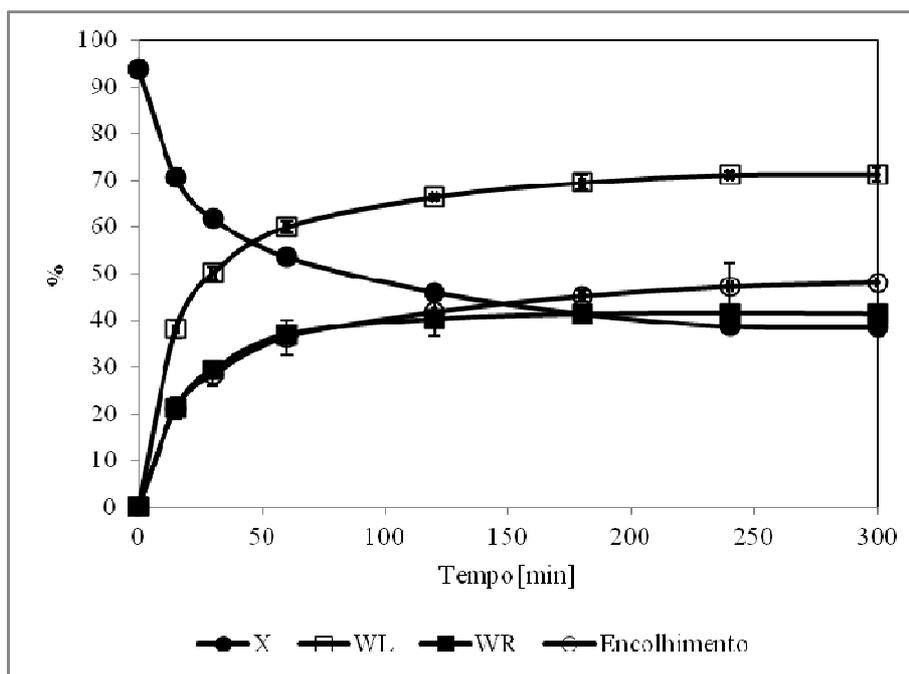


Figura 15 Cinética de transferência de água nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo, onde: X - teor de água, WL - perda de água, WL - perda de peso

O X, WL, WR e encolhimento das fatias de abóbora são maiores na primeira hora e depois de algum tempo ocorre tendência à estabilização. No início do processo, há uma grande diferença de

potencial químico entre a amostra de abóbora e a solução osmótica. Este potencial químico pode ser traduzido por pressão osmótica ou concentração. Adicionalmente, na desidratação osmótica com pulso de vácuo, o uso de pressões reduzidas no início do processo favorece ainda mais as trocas de massa entre alimento e solução. Em frutos, como a abóbora, as membranas de parede celular são unidades biológicas vivas que podem alongar e expandir-se sob a influência do crescimento e da pressão de turgor gerado nas células. Estas membranas celulares, que são compostas principalmente de células do parênquima, quando são submetidas à osmose numa solução hipertônica, permitem que as moléculas de solventes passem livremente, ao mesmo tempo há passagem de algumas das moléculas do soluto, em menor grau provocando a WL e o encolhimento.

Vários autores como Derossi et al. (2011) consideram que a transferência de massa na

desidratação osmótica provoca a diminuição do teor de água e de sólidos do alimento e a incorporação de sólidos do agente osmótico. Por isso, neste estudo, ocorreu diminuição progressiva do teor de água devido a transferência de sólidos naturais das fatias de abóbora e a incorporação de sólidos de NaCl e sacarose. Tonon, Baroni e Hubinger (2007) reportaram curvas semelhantes, durante a DO de tomate, embora tenham trabalhando com um material diferente, o comportamento decrescente para o teor de água e, crescente para a perda de água, perda de peso e encolhimento, foi também observado neste estudo. Mayor, Moreira e Sereno (2011) construíram os gráficos de encolhimento em função da WL e SG e reportaram uma relação direta entre elas, como a reportada neste trabalho.

O comportamento acentuado de perda de água no início do processo foi reportado, também, por Mayor et al. (2006) estudando a cinética da desidratação

osmótica de abóbora com solução de NaCl. Inclusive, notaram a estabilização entre a WL e o ganho de sólidos devido ao equilíbrio atingido. Por isso, embora neste estudo não se tenha atingido o equilíbrio, observou-se a estabilização da perda de água, perda de peso e encolhimento, depois de três horas do processo.

4.4.2.2 Cinética de transferência de solutos osmóticos de fatias de abóbora

O ganho de sólidos (SG) totais, o NaCl e a sacarose incorporados nas fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com a solução mista de NaCl e sacarose num pulso de vácuo de 160 mbar nos primeiros 10 minutos de processo está representado na Figura 16. Observa-se que, a desidratação osmótica permite o aumento do teor de solutos nas fatias de abóbora, fazendo com que as curvas de cinética de transferência de solutos sejam crescentes ao longo do tempo do processo. Visto que, a incorporação de NaCl e sacarose afeta os sólidos solúveis totais nas fatias imersas, a curva do SG apresenta tendência semelhante às curvas destes solutos. Assim, quanto maior for a incorporação destes solutos nas fatias imersas, maior é o SG. Observa-se que as grandes variações das curvas da Figura 16, bem como a tendência ao equilíbrio ocorrem em tempos coincidentes, mostrando a

dependência de SG com a incorporação de solutos (NaCl e Sacarose).

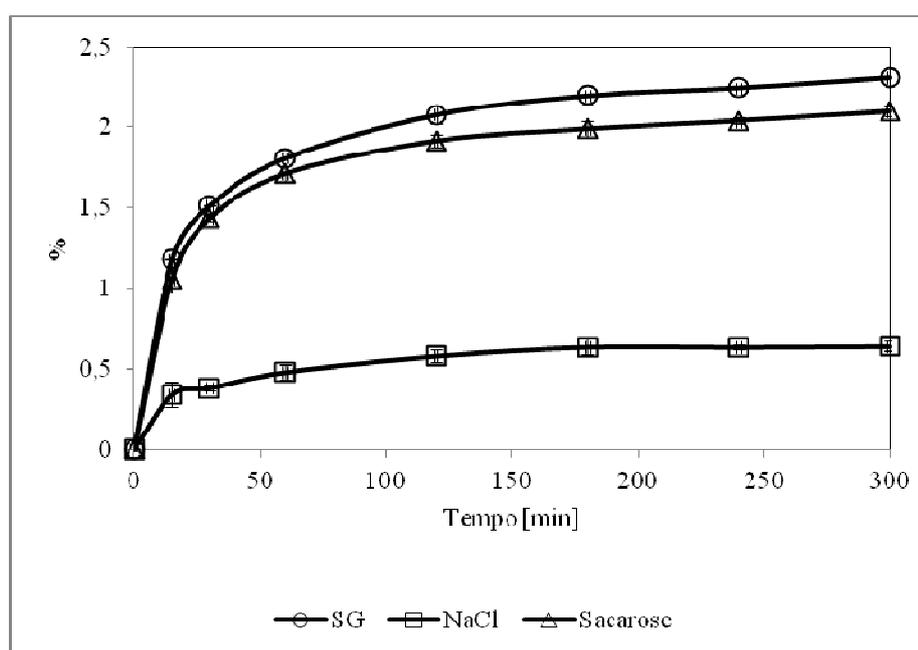


Figura 16 Cinética de transferência de solutos nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo, onde: SG - ganho de sólidos totais, NaCl - NaCl incorporado, Sacarose - sacarose incorporado nas fatias de abóbora

Nesta representação, pode-se observar que o NaCl foi menos incorporado do que a sacarose. O SG, NaCl e sacarose incorporados nas fatias de abóbora são

maiores na primeira hora e passado algum tempo ocorre tendência à estabilização. Além disso, a solução utilizada foi mais concentrada podendo ter promovido a formação de uma camada densa de solutos na superfície das fatias de abóbora. Esta camada agiu como uma barreira contra a penetração dos solutos em alimentos e dificulta a transferência de massa dos solutos, que resulta em uma menor absorção de sólidos em tecido das fatias. Mayor et al. (2006) notaram que numa desidratação osmótica de abóbora com soluções ternárias o NaCl transloca rapidamente dentro do alimento fazendo com que o ganho de sólidos seja mínima, pois os açúcares e ácidos orgânicos que constituem a maior parte da matéria seca da abóbora têm mobilidade lenta.

Curvas que relacionam o SG e o tempo, semelhantes a obtidas neste trabalho, foram reportadas por Mayor et al. (2006), trabalhando com abóbora, Kowalska, Lenart e Leszczyk (2008), trabalhando com

abóbora e Tonon, Baroni e Hubinger (2007) trabalhando com tomate.

4.4.2.3 Difusividade efetiva da água e dos sólidos

A tabela 37 apresenta o resultado da difusividade efetiva determinada pelo modelo difusional de Fick (Método 1), que possibilita o cálculo da difusividade da água ($D_{\text{eff } w}$) e de solutos ($D_{\text{eff } s}$) individualmente, e pelo modelo pseudo-difusional que inclui o termo da contribuição do mecanismo hidrodinâmico no processo (Método 2), o qual considera que a difusividade da água e dos solutos é a mesma no equilíbrio.

Tabela 37 Difusividade efetiva calculados pelos métodos 1 e 2

	Modelo	D_{eff} (m ² /s)	E (%)	R ²
Água	Método 1	3,22 x 10 ⁻¹⁰	5,00	0,9059
	Método 2	1,95 x 10 ⁻¹⁰	8,90	0,9166
Sólidos	Método 1	3,10 x 10 ⁻¹⁰	15,60	0,8990
	Método 2	1,95 x 10 ⁻¹⁰	8,90	0,9166

Os coeficientes de difusão para a água ($D_{\text{eff } w}$) e sólidos ($D_{\text{eff } s}$) obtidos na desidratação osmótica com o pulso de vácuo em fatias de abóbora, calculadas usando o método 1 foram de $3,22 \times 10^{-10}$ e $3,10 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente (tabela 37). Observa-se que os coeficientes de difusão variaram muito pouco entre a transferência da água e de sólidos. Os dados experimentais se ajustaram bem ao modelo difusional de Fick, apresentando valores de coeficiente de determinação (R^2) de 0,9059 para a água e 0,8990 para os solutos e os erros padrão (E) entre os valores experimentais e os calculados foram menores que 5,00% para água e 15,60% para os sólidos. Ferrari e Hubinger (2008) reportaram valores de $3,93 \times 10^{-9}$ a $6,45 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para a perda de água e $7,57 \times 10^{-10}$ a $3,14 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de melão, mostrando similaridade dos resultados com este trabalho.

O valor da difusividade efetiva calculada por meio do Método 2 foi de $1,95 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e de maneira geral foi mais baixos que os valores obtidos pelo Método 1. Este modelo proposto por Fito e Chiralt (1997) ajustou-se bem aos dados experimentais apresentando erro padrão de 8,90% entre os valores experimentais *versus* calculados e R^2 superior a 0,90.

Garcia, Mauro e Kimura (2007) reportaram resultados similares pois observaram que abóboras *Cucurbita moschata* desidratadas osmoticamente em solução de sacarose apresentaram coeficientes de difusão de $1,44 \times 10^{-10}$ a $1,66 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para a água e $0,98 \times 10^{-10}$ a $1,35 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para os sólidos e, quanto maior for a concentração da solução osmótica maior é a difusividade efetiva. Os valores obtidos com os dois métodos também são semelhantes aos obtidos no tratamento osmótico de goiaba (CORRÊA et al., 2010) e manga (ITO et al., 2007a).

4.4.3 Cinética da cor das fatias de abóbora

A figura 17 mostra variação total da cor (ΔE), a tonalidade (H^*) e a claridade (L^*) das fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com a solução mista e NaCl e sacarose e pulso de vácuo de 160 mbar nos primeiros 10 minutos de processo. Estes parâmetros de qualidade mostraram não variarem significativamente ao longo do tempo do processo. Portanto, pode-se dizer que não houve uma tendência clara da influência da desidratação osmótica, na cor das fatias de abóbora. Ou seja, manteve-se a cor natural das fatias de abóbora durante o tempo de desidratação, mesmo com a aplicação do pulso de vácuo. A variação total da cor (ΔE) observada pelos parâmetros L^* , a^* e b^* encontra-se abaixo de 12, mostrando que o processo não influenciou grandemente na cor das fatias desidratadas comparativamente com a cor de fatias *in natura*, pois quando a ΔE está mais próximo de zero melhor é a manutenção da cor original do material (SILVA et al., 2011).

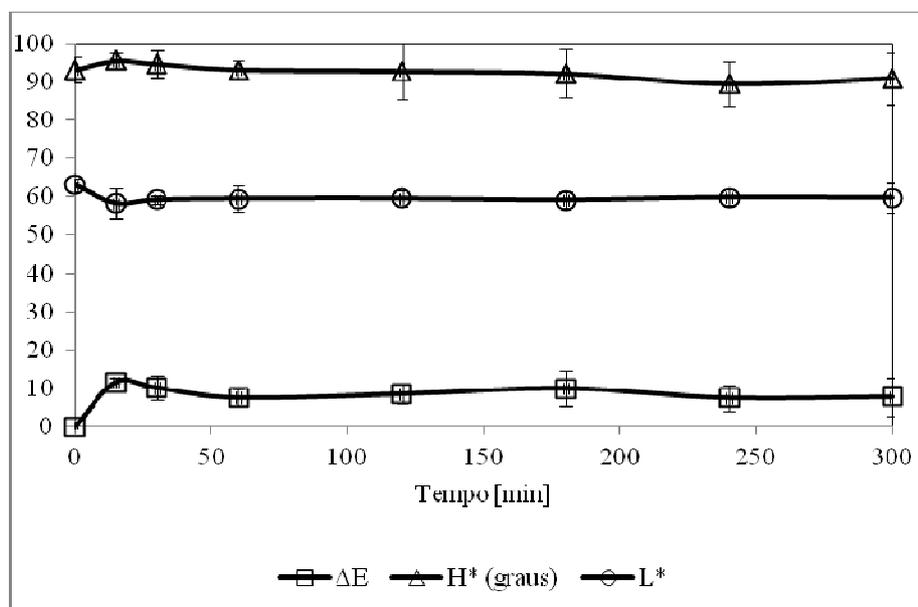


Figura 17 Cinética da cor das fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo

Silva et al. (2011), estudando o processo osmótico para baixas temperaturas de fatias de abóbora branqueadas verificaram que não houve diferenças significativas na variação total da cor, claridade e tonalidade da cor de abóbora, tanto para as fatias frescas como aquela submetidas ao branqueamento. Zenoozian et al. (2008) reportaram resultado

semelhante em fatias de abóbora. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho corroboram resultados da literatura e mostra que a desidratação osmótica de abóbora com uso de pulso de vácuo com solução mista de NaCl e sacarose não favorece a alteração da coloração original, o que é bom para a aceitação do produto processado.

4.4.4 Cinética do pH de fatias de abóbora

O pH das fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com a solução de 17,5% de NaCl e 50% de sacarose, com 160 mbar de pressão e 10 minutos do tempo de vácuo, esta representado na figura 18. Este parâmetro de qualidade apresentou certa oscilação ao longo do tempo, mostrando que, não houve uma tendência clara do comportamento do pH pelo processo de desidratação osmótica das fatias de abóbora com uso do pulso de vácuo, apresentando um valor médio de 5,93.

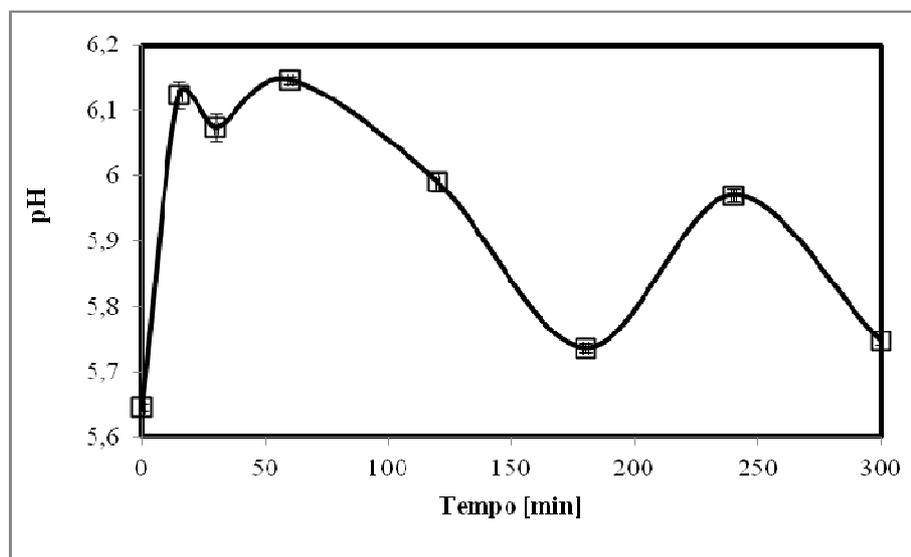


Figura 18 Cinética do pH das fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo

Independentemente, desta oscilação, o pH das fatias de abóbora encontra-se nos intervalos 5,2 a 6,8 reportados por Barbosa Júnior et al. (2003).

4.4.5 Comportamento do teor de carotenoides nas fatias de abóbora

O teor de carotenoides e a sua retenção nas fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com solução de NaCl e sacarose e pulso de vácuo de 160

mbar nos primeiros 10 minutos de processo está representado na figura 19 em função do tempo. O teor de carotenoides é maior em fatias *in natura* e aquelas submetidas à desidratação por mais tempo do processo osmótico com o pulso de vácuo. Para que não haja influência da quantidade de umidade presente na amostra, os gráficos da figura 19 são referentes a 1g em base seca (b.s.). Ou seja, a amostra seca possuía 345 μg de carotenoides/g (b.s.)

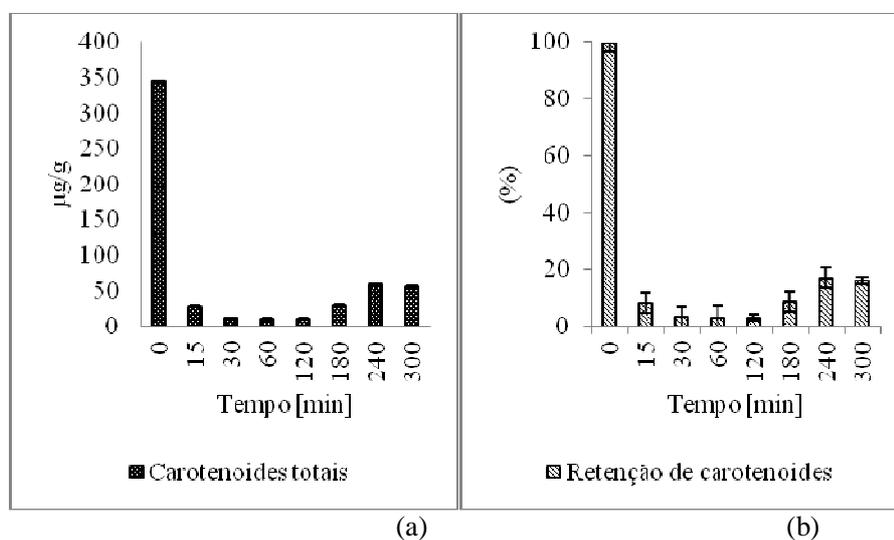


Figura 19 Comportamento do teor de carotenoides nas fatias de abóbora osmoticamente desidratada com o uso do pulso de vácuo. (a) carotenoides totais, (b) retenção de carotenoides

Portanto, a partir do início da desidratação osmótica (DO) com pulso de vácuo, há grande perda de carotenoides do fruto para a solução. E esta perda aumenta um pouco entre os tempos de 15 a 120 minutos. Aos 180 minutos de DO, há um retorno de carotenoides da solução para o fruto, justamente no início do período em que a transferência de massa entre fruto e solução começa a tender ao equilíbrio (Figuras 15 e 16), havendo um aumento da concentração de carotenoides ainda nos tempos de 240 e 300 minutos, finalizando-se o processo com 16 % da quantidade inicial dos carotenoides. Interessante reforçar que ao tempo de 15 minutos a quantidade de carotenoides é de 8% do inicial e aos 300 minutos, 16% do teor inicial. Isto reforça a idéia de se manter o processo de DO por grandes períodos, uma vez que há retorno dos sólidos nativos com a tendência ao equilíbrio entre fruto e solução. Com a aplicação do pulso de vácuo no início

do processo, devido ao mecanismo hidrodinâmico, a solução nativa é expulsa do alimento e isso pode justificar o grande déficit de carotenoides no início do processo osmótico. Mas, para que se afirmasse isto com certeza, necessitar-se-ia fazer as medidas de carotenoides em processo osmótico à pressão atmosférica.

Nascimento (2006), avaliando a retenção de carotenoides de abóbora após secagem convectiva, encontrou teores de α -caroteno e de β -caroteno dos lotes de abóbora RAJADA de 6,8 a 27 $\mu\text{g/g}$ e de 10 a 40 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. Verificou ainda que, as amostras tratadas osmoticamente apresentaram, de modo geral, teores mais elevados que as amostras sem tratamento (11 a 30 $\mu\text{g/g}$ e de 16 a 44 $\mu\text{g/g}$, de α -caroteno e β -caroteno, respectivamente). Tonon, Baroni e Hubinger (2007), trabalhando com tomate, embora seja um material de família diferente da abóbora, reportaram resultados similares, além disso,

verificaram que quanto maior a perda de peso das fatias desidratadas osmoticamente, maior é a retenção de carotenoides.

4.4.6 Textura das fatias de abóbora

As curvas de relaxação de tensão apresentadas na Figura 20 apresentam os seus valores normalizados, isto é, com os valores de tensão divididos pelo valor máximo de tensão alcançado. Os modelos de Peleg & Normand e do Maxwell foram ajustados aos dados experimentais e apresentados nas Tabelas 38, 39 e 40.

4.4.6.1 Relaxação de tensão

Na Figura 20 são mostradas as curvas de relaxação obtidas pelos valores médios da tensão de ruptura das fatias de abóbora. Nesta figura, observa-se uma clara diferença entre as fatias não desidratadas e àquelas submetidas ao processo osmótico com o pulso de vácuo, ou seja, as fatias *in natura* relaxaram menos

do que 40% da tensão inicial durante todo o período do teste mostrando-se muito mais rígidas, enquanto que, as fatias de abóbora submetidas ao processo osmótico com o uso do pulso de vácuo relaxaram uma fração maior da tensão inicial.

A inclinação característica destes gráficos de relaxação explica que, para maior nível de deformação (como a verificada aos 15, 30, 60, 120, 180 e 300 minutos de DOPV), em consequência da fratura das amostras a tensão diminuiu devido à pressão de turgor do tecido e compressão do material. Quanto menor a pressão de turgor, menor o módulo de elasticidade inicial e tensão de ruptura e maior será a deformação da amostra.

Até aos 15 minutos do processo as fatias relaxam rapidamente (mais de 80%) devido ao pulso de vácuo que desestabiliza a estrutura das fatias provocando o enfraquecimento do material pela vazão de gás interno ou líquido do tecido e a entrada da solução osmótica.

Essa instabilidade do material vai se perdendo com o decorrer do processo osmótico criando novo rearranjo e, conseqüentemente, novas forças de tensão.

Fenômenos como a perda de água ou ganho de sólidos provocaram mudanças nas propriedades mecânicas de forma diferente, afetando principalmente os momentos iniciais do processo osmótico. Estas mudanças se relacionaram diretamente à textura das fatias de abóbora alterando o turgor das células, da lamela média e da resistência da parede celular.

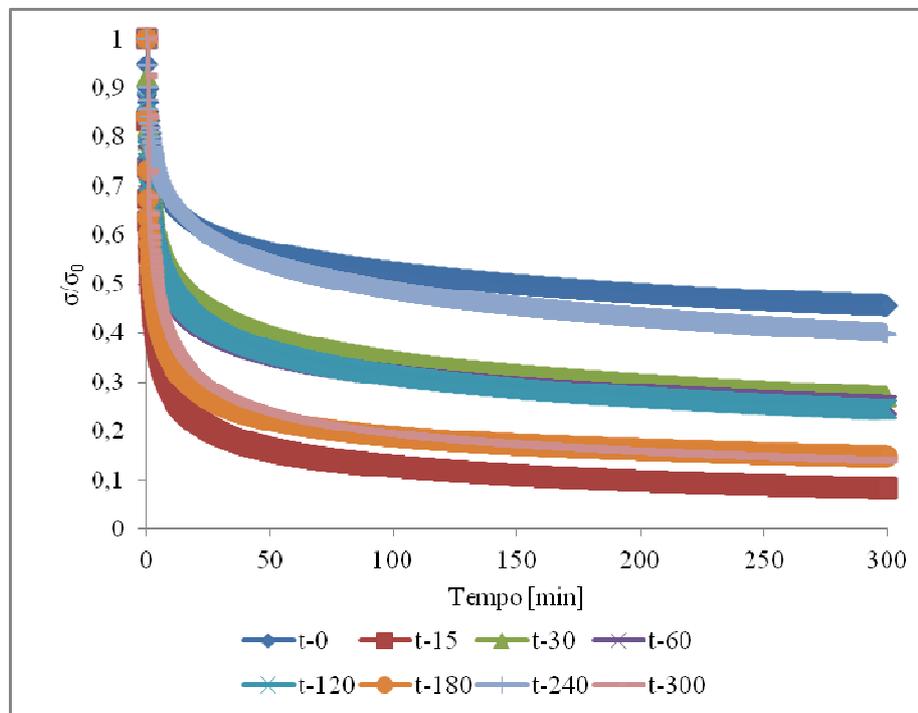


Figura 20 Curvas de relaxação de tensão de cada tempo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo

Estas propriedades reológicas de deformação e relaxação podem ser influenciadas pelo processo de desidratação osmótica com o pulso de vácuo aos quais as abóboras foram submetidas. Portanto, as fatias osmoticamente desidratadas por mais tempo foram mais resistentes à deformação assim como as *in natura*, denotando que o processo osmótico aumentou a

elasticidade do produto. Neste caso, as possíveis perdas estruturais provocadas pela desidratação osmótica com o pulso de vácuo podem ter sido compensadas pelo aumento da rigidez da estrutura celular, devido a presença de fibras na abóbora, associada à redução do teor de água das fatias.

Amami et al. (2007), estudando a desidratação e reidratação osmótica centrífuga de cenoura pré-submetidas ao pulso elétrico, verificaram que o decréscimo do teor de água e atividade de água de fatias de cenoura implica maior relaxação, tanto para amostras *in natura*, assim, como as fatias submetidas à desidratação osmótica centrífuga com o pulso elétrico. Lewicki e Jakubczyk (2004) também encontraram curvas idênticas quando estudaram o efeito da temperatura nas propriedades mecânicas de fatias secas de maçã. Isso valida os resultados deste trabalho que mostra as curvas de maior teor de água (fatias com

menor tempo de imersão) apresentando maior relaxação.

4.4.6.1.1 Modelo de Peleg & Normand

Os parâmetros da equação de Peleg & Normand (k_1 e k_2) e os valores de R^2 para o ajuste dos dados experimentais com este modelo são apresentados na Tabela 38. Os dois parâmetros deste modelo foram afetados positivamente pela solução osmótica e pelo pulso de vácuo, isto é, valores de k_1 e k_2 são mais baixos para os processamentos nos quais as fatias ficaram imersas por menos tempo seguindo a tendência das curvas de relaxação de tensão com os valores normalizados (Figura 20). Além disso, enquanto o parâmetro k_1 apresenta uma tendência crescente, o k_2 quase permanece inalterado.

Analisando conjuntamente os resultados de teor de água e atividade de água, com os valores dos parâmetros do modelo de Peleg & Normand, ve-se que,

devido aos efeitos do agente osmótico e do pulso de vácuo há uma relação tão clara, neste caso, uma relação inversamente proporcional. Este resultado coincide do encontrado por Castelló et al. (2009) quando analisou a influência da desidratação osmótica na textura, respiração e estabilidade microbiana de fatias de maçã. Segundo estes autores, os valores do parâmetro k_1 são inversamente proporcionais aos de atividade de água enquanto que k_2 se mostrou praticamente inalterado.

Tabela 38 Parâmetros para o modelo de Peleg & Normand conforme o tempo de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo

Tempo de DOPV (min)	Parâmetros		
	k_1 (s)	k_2	R^2
0	25,84	1,77	0,9996
15	5,76	1,08	0,9999
30	10,12	1,35	0,9997
60	12,90	1,33	0,9998
120	13,45	1,29	0,9998
180	14,81	1,30	0,9997
240	23,69	1,52	0,9996
300	11,08	1,16	0,9999

Os valores de R^2 são altos mostrando que o modelo de Peleg & Normand se ajusta bem aos dados experimentais deste estudo. Embora os valores de R^2 para este modelo sejam elevados, é interessante notar que os parâmetros deste modelo estão relacionados com o tempo de relaxação, que é uma relação entre os parâmetros viscosos e elásticos, mas não dá informação sobre estas propriedades isoladamente. Este modelo possui a vantagem de poder ser utilizado para deformações maiores que as do intervalo de viscoelasticidade linear, isto é, no intervalo onde há uma relação linear entre a deformação aplicada e a tensão resultante.

4.4.6.1.2 Modelo de Maxwell

Os Modelos de Maxwell são aplicáveis para deformações que se encontram dentro do intervalo de viscoelasticidade linear, isto é, quando a relação entre a tensão aplicada e a deformação é somente função do

tempo (COSTELL; FISZMAN; DURÁN, 1997). Neste trabalho, foi observado o comportamento linear até uma deformação de 20%, valor este utilizado nos ensaios de relaxação de tensão. As Tabelas 39 e 40 apresentam os valores dos parâmetros dos modelos de Maxwell e modelos de Maxwell generalizado com dois elementos mais uma mola e dos valores de R^2 .

Tabela 39 Parâmetros para o modelo de Maxwell

Tempo de DOPV (min)	Parâmetros				
	E_e (kPa)	E_1 (kPa)	λ_1 (s)	η_1 (kPa.s)	R^2
0	873,95	437,19	66,03	28867,31	0,9989
15	41,82	137,68	15,82	2178,15	0,9693
30	76,43	105,42	42,26	4454,96	0,9940
60	70,64	87,30	33,72	2943,83	0,9953
120	107,32	188,47	38,86	7324,24	0,9914
180	109,02	93,53	54,70	5116,07	0,9976
240	437,90	348,82	67,09	23402,65	0,9990
300	80,72	18,48	39,69	733,26	0,9878

Observa-se que nas fatias *in natura* predomina o parâmetro E_e , que representa a fração da tensão inicial que não se relaxa e nos outros períodos do processo

osmótico há o predomínio dos parâmetros E_1 e E_2 que fazem parte dos termos de decaimento exponencial, isto é, a fração da tensão inicial que relaxa com o tempo. Isto explica o diferente comportamento das curvas na figura 20.

Tabela 40 Parâmetros para o modelo de Maxwell de 2 elementos mais uma mola

Tempo	Parâmetros							R^2
	E_e (kPa)	E_1 (kPa)	λ_1 (s)	η_1 (kPa.s)	E_2 (kPa)	λ_2 (s)	η_2 (kPa.s)	
0	837,5	494,6	3,24	1600,4	371,0	108	40404,51	0,9999
15	36,27	63,51	87,0	5525,4	207,5	2,00	414,31	0,9973
30	69,20	71,97	54,5	3920,5	191,2	4,70	897,86	0,9991
60	66,36	55,33	22,3	1231,8	131,8	4,92	648,79	0,9992
120	96,15	105,2	4,31	452,87	125,5	79,7	10006,83	0,9992
180	101,8	126,1	5,08	641,02	72,03	99,4	7157,76	0,9995
240	404,8	218,9	9,09	1988,7	28,22	119	3383,94	0,9999
300	71,09	128,1	75,03	9612,3	202,1	3,8	768,12	0,9986

Portanto, pode-se observar o efeito do agente osmótico e do pulso de vácuo nos parâmetros dos modelos matemáticos de Maxwell pela semelhança dos resultados da tabela 40 com a figura 20. Pode-se observar ainda que, a desidratação osmótica e o pulso de vácuo levaram a um aumento no valor dos parâmetros de elasticidade (E_e e E_1) e diminuição da elasticidade E_2 . Isto mostra o efeito elástico do agente osmótico (NaCl e sacarose), isto é, o produto torna-se mais elástico e menos plástico, para além de que o efeito elástico é menor no início do processo pois o pulso de vácuo aplicado enfraquece as forças elásticas de ligação entre átomos e moléculas.

Outro parâmetro que se mostrou mais afetado pelo processo osmótico com o pulso de vácuo foi o tempo de relaxação (λ), independentemente do tempo de imersão das fatias de abóbora. O primeiro tempo de

relaxação mostra comportamento decrescente enquanto que o segundo momento de relaxação é crescente.

É possível perceber que o efeito da umidade durante o processo osmótico aparece mais nitidamente nos parâmetros do modelo de Maxwell e, especialmente nos processamentos até 240 minutos, nos quais há um aumento acentuado de E_e , E_1 e λ_2 com a diminuição do teor de água e, nas mesmas condições ocorre a diminuição de E_2 e λ_1 . Do mesmo modo, estes parâmetros elásticos também são afetados com relação à atividade de água.

Não foram encontrados dados na literatura relatando a relaxação de fatias de abóbora desidratadas osmoticamente com uso do pulso de vácuo, mas Valle, Aránguiz e León (1999) estudaram a relaxação de tensão, para uma deformação constante de 10% em fatias de maçã previamente branqueadas e desidratadas osmoticamente com o pulso de vácuo onde os valores das constantes elásticas aumentaram significativamente

com os aumentos do tempo e da pressão de vácuo. Com tempo de branqueamento e pulsos de vácuo maiores, o produto final ficou com teor de água mais baixo, o que contribuiu para o aumento nos valores das constantes.

Outro estudo com testes de relaxação de tensão, Amami et al. (2007), obteve os parâmetros para os modelos de Maxwell, Maxwell Generalizado e de Peleg & Normand para cenoura desidratada osmoticamente. O modelo de Maxwell Generalizado apresentou melhores valores de médias quadráticas e coeficientes de determinação que os outros dois modelos. Foi observado que os módulos de elasticidade e viscosidade diminuíram com os aumentos da atividade de água e de temperatura, sendo que o componente elástico foi menos afetado que o componente viscoso.

Isto mostra que os tempos de relaxação são afetados principalmente pelo elemento viscoso e pode

indicar que os componentes estruturais das amostras, como as paredes celulares, associados ao componente elástico, são menos afetados pelo teor de água do que aqueles relacionados com o comportamento viscoso, como as soluções contidas nas células. Materiais que apresentam uma predominância no comportamento viscoso, em detrimento de seu comportamento elástico, têm menores tempos de relaxação, isto é, dissipam mais rapidamente a tensão aplicada.

4.4.7 Análise microestrutural das fatias de abóbora

Para o melhor conhecimento do efeito do agente osmótico e do pulso de vácuo sobre a microestrutura celular durante a cinética do processo, a técnica de microscopia eletrônica de varredura foi utilizada para observar as mudanças ocorridas na estrutura das amostras, cujas imagens estão apresentadas na figura 21.

A Figura 21a apresenta a microfotografia do tecido celular das fatias de abóbora, em que se verifica a presença de células arredondadas e alongadas, túrgidas, com a parede celular definida, além da presença de espaços intercelulares. O tonoplasto e o plasmalema aparecem associados à parede celular.

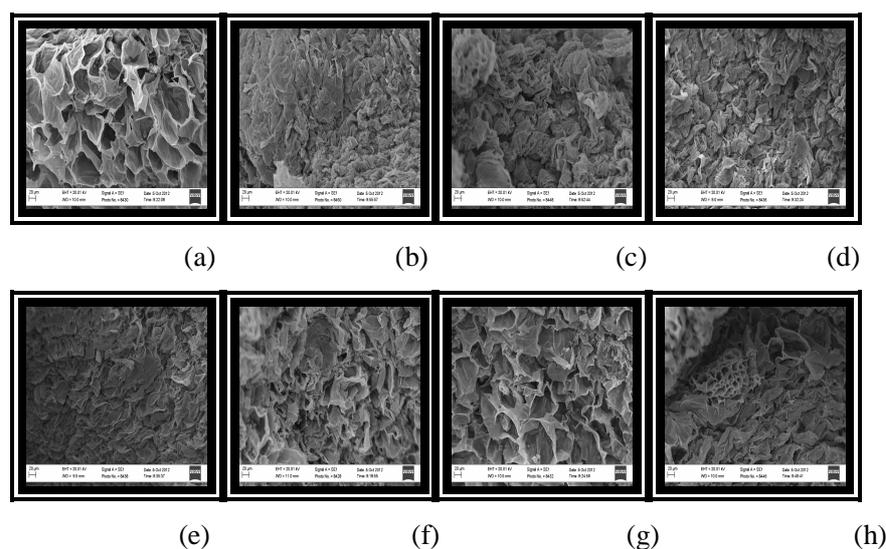


Figura 21 Microfotografia do tecido das fatias de abóbora submetidas à desidratação osmótica com o pulso de vácuo

Nota: (a) abóbora *in natura*, (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h), abóbora submetida a DOPV por 15, 30, 60, 120, 180, 240 e 300 minutos, respectivamente. Escala 20 μm .

A Figura 21b-h apresenta a estrutura celular das fatias de abóbora osmoticamente desidratadas com uma

solução mista de NaCl e sacarose sob pressão de pulso de vácuo de 160 mbar por 10 minutos no início do processo. Verificou-se que as fatias de abóbora submetidas à desidratação osmótica com o pulso de vácuo por 15 minutos resultaram num intenso dano a estrutura celular. O tecido celular apresentou intensa plasmólise, causada pela perda de água do citoplasma além de células deformadas e colapsadas. Essa retração, deformação e colapso das células é verificada nas fatias desidratadas por 30, 60 e 120 minutos (figura 21b-e) devido ao pulso de vácuo aplicado no início do processo osmótico que permitiu que os tecidos da abóbora sugassem a solução hipertônica de NaCl e sacarose para os espaços intercelulares e, quando isso aconteceu, os espaços intercelulares circundantes encolheram e a matriz sólida foi deformada.

Resultado semelhante foi verificado por Pereira, Carmello-Guerreiro e Hubinger (2009), que constataram um severo dano estrutural causado pelo

processo de desidratação osmótica com soluções de sacarose (60°Brix), por duas horas, em goiabas da variedade Paluma. Os autores verificaram uma intensa plasmólise celular, além de grande colapso das células.

A desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo, por outro lado, causou menores danos à estrutura celular para as amostras imersas por 180, 240 e 300 minutos (figura 21f-h). Assim, observa-se a manutenção da parede e a turgidez das células, que apesar de apresentar uma suave plasmólise, mostra um arranjo celular semelhante ao da abóbora *in natura*, embora nessa condição tenham ocorrido as maiores perdas de água das amostras. Aliás, pode-se dizer que, a melhoria da turgidez das células acontece proporcionalmente ao tempo do processo. Resultados semelhantes foram reportados por Mayor, Cunha e Sereno (2007) trabalhando com abóbora, Askari, Emam-Djomeh e Tahmasbi (2009) trabalhando com tomate e, Deng e Zhao (2008) em fatias de maçã.

Contrariamente a este estudo, Córdova (2006) estudando as estruturas celulares das maçãs comercial e industrial, durante o pré-tratamento osmótico com sacarose a 50 °Brix na temperatura de 30 °C, em tempos de 15 e 180 minutos observou certo desalinhamento celular ao longo do tempo em relação às estruturas de ambas as amostras. Portanto, neste trabalho já que houve a aplicação do pulso de vácuo, pode ter provocado a alta pressão osmótica da solução originando alterações na distribuição espacial dos gradientes de pressão no tecido vegetal nos primeiros minutos do processo. As células que entraram em contato direto com a solução osmótica perderam mais água e liberaram a pressão presente no interior da célula, diminuindo assim o turgor celular e provocando o encolhimento. Essa pressão foi responsável pela deformação e enrugamento da superfície celular.

5 CONCLUSÕES

O delineamento experimental de Plackett & Burman permitiu concluir que o processo de desidratação osmótica de fatias de abóbora previamente branqueadas foi significativamente influenciado pelas 4 das 5 variáveis do processo estudadas (concentração da solução osmótica, pressão e tempo de aplicação do pulso de vácuo), sendo que apenas a temperatura não foi estatisticamente significativa.

A metodologia de otimização simultânea, utilizando a função desejabilidade aplicada neste estudo, mostrou ser uma ferramenta estatística eficiente para maximizar a perda de água, o encolhimento, e minimizar a atividade de água e o ganho de sólidos das fatias de abóbora. Os agentes osmóticos e o pulso de vácuo foram estatisticamente influentes na desidratação de abóbora apresentando as seguintes condições

otimizadas para o processo: solução osmótica na concentração de 17,5% para o NaCl, 50% para a sacarose, pressão do pulso de vácuo de 160 mbar por tempo de 10 minutos.

O comportamento da cinética do fluxo de massa mostrou que, quanto maior for o tempo de desidratação, menor será a atividade de água e o teor de água. Até as 3 horas o decréscimo destes parâmetros é mais acentuado do que no restante tempo do processo. Além disso, a atividade de água e o teor de água têm relação inversa com a perda de água e o encolhimento. Quanto maior for a incorporação de NaCl e da sacarose, maior é o ganho de sólidos. O NaCl foi menos incorporado do que a sacarose. O comportamento dos coeficientes de difusão efetiva reflete a influência das variáveis do processo na cinética de transferência de massa.

Os processos de desidratação osmótica com o uso do pulso de vácuo foram eficazes para preservar a

qualidade das fatias de abóbora, uma vez que promoveram a manutenção da cor das fatias, teor de carotenoides, forças de tensão e viscoelasticidade e microestrutura celular das fatias de abóbora.

REFERÊNCIAS

AMAMI, E. et al. Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT - Food Science and Technology*, Trivandrum, v. 40, n. 7, p. 1156-1166, 2007.

ANDRADE, S. A.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.

ARBALLO, J. R. et al. Mass transfer kinetics and regression-desirability optimization during osmotic dehydration of pumpkin, kiwi and pear. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 47, n. 2, p. 306-314, Feb. 2012.

ASKARI, G. R.; EMAM-DJOMEH, Z.; TAHMASBI, M. Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *Journal of Texture Studies*, Westport, v. 40, n. 4, p. 371-389, Aug. 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 18th ed. Gaithersburg, 2005. Disponível em: <<http://www-biblio.inti.gov.ar/manuales/131801.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

AZOUBEL, P. M. Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforma*). 1999. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

BARBOSA JÚNIOR, J. L. Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (*Cucurbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota* L.) utilizando metodologia de superfície de resposta. 2002. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BARBOSA JÚNIOR, J. L. et al. Estudo da desidratação osmótica de Abóbora utilizando metodologia de superfície de resposta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 2, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/152138/1/OPB389.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. *Introdução à química de alimentos*. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. 223 p.

BORIN, I. Cinética de secagem de abóbora (*Curcubita moschata*) pré-tratadas osmoticamente em soluções contendo sacarose e NaCl. 2006. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio, 2006.

BORIN, I. et al. Efeito de pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n. 1, p. 39-50, 2008.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. *Planejamento de experimentos usando o Statistica*. Rio de Janeiro: E-Papers, 2003. 260 p.

CASTELLÓ, M. L. et al. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 91, n. 1, p. 1-9, Mar. 2009.

CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã fuji comercial e industrial. 2006. 148 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CORREA, 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.

COSTELL, E.; FISZMAN, S. M.; DURÁN, L. Propiedades físicas I: reología de sólidos y textura. In: AGUILERA, J. M. (Ed.). *Temas em tecnologia de alimentos*. Madrid: CYTED, 1997. p. 213-259.

CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2nd ed. Oxford: Clarendon, 1975. 414 p.

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.

DEROSSI, A. et al. Study on prestabilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) by osmotic dehydration in quaternary complex solution. *Journal of Food Process Engineering, Westport*, v. 34, n. 2, p. 398-413, Apr. 2011.

DERRINGER, G. C.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology, Milwaukee*, v. 12, p. 214-219, 1980.

EL-AOUAR, A. et al. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 75, n. 2, p. 267-274, July 2006.

ESCALADA, P. M. F. de; CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N. Analysis of giant pumpkin (*Cucurbita maxima*) drying kinetics in various technologies of convective drying. *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 99, n. 3, p. 323-329, Mar. 2010.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. *Food Reviews International, New York*, v. 23, n. 4, p. 373-405, Aug. 2007.

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, Dec. 2008.

FERRARI, C. C. Estudo da transferência de massa e qualidade do melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. 2005. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

FERRARI, C. C. et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 46, n. 2, p. 436-443, Feb. 2011.

FERRARI, C. C.; HUBINGER, M. D. Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 43, n. 11, p. 2065-2074, Nov. 2008.

FITO, P.; CHIRALT, A. An approach to the modeling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. (Ed.). *Food engineering 2000*. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 231-252.

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, n. 3, p. 284-291, Oct. 2007.

GIRALDO, G. et al. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 58, n. 1, p. 33-43, June 2003.

GUILLEMIN, A. et al. Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 86, n. 4, p. 475-483, June 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estudo nacional de despesa familiar: tabela de composição de alimentos. 5. ed. Rio de Janeiro, 1999. 137 p.

ITO, A. P. Estudo do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo (DOPV) de fatias de manga. 2007. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ITO, A. P. et al. Influence of process conditions on the mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotically dehydrated mango slices. *Drying Technology*, New York, v. 25, n. 10, p. 1769-1777, Oct. 2007a.

_____. Influence of pulsed vacuum osmotic dehydration on mass transfer, color and rheological properties of mango slices. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 1, p. 54-63, 2007b. Suplemento.

KALLUF, V. H. Desidratação da polpa de abóbora (*Cucurbita moschata*) e seus teores em beta-caroteno. 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 49, n. 2/3, p. 137-140, Aug. 2001.

KOWALSKA, H.; LENART, A.; LESZCZYK, D. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 86, n. 1, p. 30-38, May 2008.

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

MANNHEIM, C. H.; LIU, J. X.; GILBERT, S. G. Control of water in foods during storage. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 22, n. 1/4, p. 509-532, 1994.

MAYOR, L.; CUNHA, R. L.; SERENO, A. M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. *Food Research International*, Barking, v. 40, n. 4, p. 448-460, May 2007.

MAYOR, L. et al. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 74, n. 2, p. 253-262, May 2006.

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, Mar. 2011.

MAYOR, L.; PISSARRA, J.; SERENO, A. M. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 85, n. 3, p. 326-339, Apr. 2008.

MELO, P. C. T. de. Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças. In: REUNIÃO ORDINÁRIA DA CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DE HORTALIÇAS, 13., 2007, Brasília. Anais... Brasília: MAPA, 2007. p. 1-7.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. 2nd ed. New York: Gordon and Breach, 1986. 891 p.

MORAGA, M. J. et al. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 90, n. 3, p. 372-379, Feb. 2009.

MORENO, J. et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 104, n. 4, p. 621-627, June 2011.

MÚJICA-PAZ, H. et al. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 57, n. 4, p. 307-314, May 2003.

MURPHY, E. W.; CRINER, P. E.; GRAY, B. C. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton*, v. 23, n. 6, p. 1153-1157, 1975.

NASCIMENTO, P. Avaliação da retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata doce. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2006.

PALOU, E. et al. Osmotic dehydration of papaya: effect of syrup concentration. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Valencia*, v. 33, n. 6, p. 621-630, 1993.

PELEG, M. An empirical-model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science, Chicago*, v. 53, n. 4, p. 1216-1219, July 1988.

PELEG, M.; NORMAND, M. D. Comparison of two methods for stress: relaxation data presentation of solid foods. *Rheologica Acta*, Darmstadt, v. 22, p. 108-113, 1983.

PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. *LWT - Food Science and Technology*, Trivandrum, v. 42, n. 1, p. 378-384, 2009.

RANGANNA, S. *Manual of analysis of fruit and vegetables products*. New Delhi: Mc-Graw Hill, 1977. 1103 p.

ROCHA, M. R. et al. Tecnologia alternativa para produção de mudas de abóbora com a utilização de substrato orgânico. *Unimontes Científica*, Montes Claros, v. 5, n. 1, jan./jun. 2003. Disponível em: <<http://www.unimontes.br/unimontescientifica.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 59, n. 2/3, p. 129-135, Sept. 2003.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. *Planejamento de experimentos e otimização de processos*. 2. ed. Campinas: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009. 164 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. *Handbook for carotenoid analysis*. Washington: International Food Policy Research Institute, 2004. 58 p. (HarvestPlus Technical Monograph Series, 2).

SILVA, K. S. *Desidratação de abóbora (*Cucurbita moschata*) por métodos combinados*. 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2009.

SILVA, K. S. et al. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 105, n. 1, p. 56-64, July 2011.

SOJAK, M.; GLOWACKI, S. Z. Analysis of giant pumpkin (*Cucurbita maxima*) drying kinetics in various technologies of convective drying. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 99, n. 3, p. 323-329, Aug. 2010.

STEFFE, J. F. Viscoelasticity. In: _____. *Rheological methods in food processing engineering*. New York: Freeman, 1992. p. 294-348.

TONON, R. V. Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose. 2005. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 82, n. 4, p. 509-517, Oct. 2007.

TORRES, J. D. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 74, n. 2, p. 240-246, May 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. Tabela brasileira de composição de alimentos. 4. ed. Campinas: UNICAMP, 2004. 161 p.

VALLE, J. M.; ARÁNGUIZ, V.; LEÓN, H. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Research International*, Barking, v. 31, n. 8, p. 557-569, 1999.

VIDEV, K. et al. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Science and Technology*, Trivandrum, v. 27, n. 5, p. 307-318, 1990.

ZENOOZIAN, M. S. et al. Image analysis and dynamic modeling of thin-layer drying of osmotically dehydrated pumpkin. *Journal of Food Processing and Preservation*, Westport, v. 32, n. 1, p. 88-102, Feb. 2008.