

**UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO

**Desidratação Osmótica de Banana Utilizando Soluções de Fruto-
oligossacarídeos e Xarope de Milho em Diferentes Temperaturas**

Ana Paula Miguel Landim

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA UTILIZANDO
SOLUÇÕES DE FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS E XAROPE DE
MILHO EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

ANA PAULA MIGUEL LANDIM

Sob a Orientação da Professora
Dr^a Maria Ivone M. J. Barbosa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciências de Alimentos.

Seropédica, RJ
Junho de 2016

664.804772

L257d

T

Landim, Ana Paula Miguel, 1992-
Desidratação osmótica de banana
utilizando soluções de fruto-
oligossacarídeos e xarope de milho em
diferentes temperaturas / Ana Paula Miguel
Landim. - 2016.

111 f.: il.

Orientador: Maria Ivone M.J. Barbosa.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Banana - Desidratação - Teses. 2.
Banana - Conservação - Teses. 3. Tecnologia
de alimentos - Teses. I. Barbosa, Maria
Ivone Martins Jacintho, 1977- II.
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência
e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ANA PAULA MIGUEL LANDIM

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 02/06/2016

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa (Dr^a.) UFRRJ
(Orientador)

Luciana Ribeiro Trajano Manhães (Dr^a) UNIRIO

Maurício Cordeiro Mancini (Dr) UFRRJ

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Roberto e Cecília, e demais familiares e
amigos, pelo constante estímulo, pelo
apoio incondicional, pelo carinho e
companheirismo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom mais precioso que poderíamos receber, a vida, e com ela a capacidade para pensarmos e lutarmos pela conquista de nossos ideais.

Aos meu pais Roberto e Cecília, pelo constante incentivo, dedicação e por sempre me encorajar a conquistar novos caminhos.

Aos demais familiares e amigos, que sempre torceram pelo meu sucesso.

A Inayara e Cristiany, por compartilharmos mais esta experiência, sempre com muito carinho e solidariedade.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de cursar a pós-graduação em nível de mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e por permitir a realização desta pesquisa.

À Professora Maria Ivone, pelas orientações, oportunidade, confiança e apoio.

Ao Professor José Lucena, por suas valiosas contribuições ao logo desta jornada.

Ao Professor Maurício Mancini, pela disponibilidade de utilização da estrutura física do laboratório e, sobretudo, por toda colaboração para a realização deste trabalho e pelos ensinamentos oferecido.

Ao Marcus e Luana, bolsistas e alunos da graduação, pelo auxílio na execução dos experimentos.

Aos técnicos de laboratório Carlos e Wanderson, pelas contribuições durante as análises.

Aos demais profissionais e amigos da pós-graduação, em especial Natalie, Sheyla, Inayara, Cristiany, Michele e Elisangela pelo apoio, conselhos e, principalmente, companheirismo ao longo desta jornada.

Aos moradores e amigos do alojamento, que me acolheram e se tornaram uma segunda família.

A todos vocês, meu muito obrigada.

RESUMO

LANDIM, Ana Paula Miguel. **Desidratação osmótica de banana utilizando soluções de fruto-oligossacarídeos e xarope de milho em diferentes temperaturas.** 2016. 97p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A banana é um fruto perecível, pois sofre rápido amadurecimento, não pode ser devidamente conservado pelo frio, sendo acometido por grandes perdas pós-colheita. A utilização de técnicas de conservação, como a desidratação osmótica, reduz as perdas pós-colheita, estende a validade comercial, não acarreta em severas alterações nas características nutricionais, funcionais e sensoriais e mostra-se como uma alternativa de processamento para este fruto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética da desidratação osmótica, bem como, a qualidade das amostras desidratadas osmoticamente em termos de cor, textura e capacidade antioxidante, utilizando fruto-oligossacarídeo, xarope de milho e a mistura de ambos, em diferentes temperaturas. Para determinação da cinética, a banana, cortada em cubos foi desidratada nas diferentes soluções, sob as temperaturas de 40, 50 e 60 °C. As Cinéticas de Perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) foram avaliadas nos tempos 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. A análise de variância foi usada, a fim de verificar o efeito do tipo de soluto e da temperatura na cinética. Os parâmetros cinéticos foram modelados de acordo com a equação Peleg, Page modificado e Barbosa Júnior et al. utilizando regressão não-linear. A partir do modelo de Barbosa Júnior et al., obteve-se o tempo para reduzir a taxa de desidratação ou impregação a um terço de seus valores iniciais ($t_{(1/3)}$) e o tempo médio de processo ($t_{(médio)}$). A qualidade das amostras foi avaliada nestes dois tempos, nos diferentes solutos e temperaturas. Para tal, foram verificadas a variação dos parâmetros instrumentais de cor, a capacidade antioxidante (FRAP, DPPH e teor de fenólicos totais) e a textura (ensaios de compressão axial) das amostras *in natura* e processadas. A PA não foi afetada significativamente pelo tipo de soluto empregado, no entanto, a temperatura apresentou influência significativa neste parâmetro ($p < 0,05$). Os dados experimentais para a PA se ajustaram adequadamente ao modelo de Peleg e Page modificado e obtiveram-se coeficientes de determinação (R^2) maiores do que 0,98, desvio relativos médios (E) inferiores a 6,5% em todos os tratamentos. O modelo do tempo de n-redução da taxa de desidratação se mostrou uma boa alternativa na definição do tempo de processamento das amostras submetidas à desidratação osmótica. Os valores de perda de água variaram de 15,70 a 28,79% no tempo $t_{(1/3)}$, enquanto que para o tempo de $t_{(médio)}$ de 15,75 a 30,27% entre os tratamentos. O processo de desidratação osmótica influenciou na qualidade final dos produtos, apresentando diferenças significativas entre a fruta *in natura* e a processada para variação dos parâmetros de cor, a capacidade antioxidante e a textura das amostras *in natura* e processadas.

Palavras-chave: banana, desidratação osmótica, capacidade antioxidante, cor, textura, qualidade, fruto-oligossacarídeo

ABSTRACT

LANDIM, Ana Paula Miguel. **Study banana osmotic dehydration using solutions containing fructo-oligosaccharides and corn syrup at different temperatures.** 2016. 97p. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Banana is a perishable fruit, as it ripens fast and cannot be adequately preserved by the cold, resulting in large post-harvest losses. The application of preservation techniques, such as osmotic dehydration, reduces losses of the commodity in post-harvest stage, extend its shelf-life, while not severely affecting its nutritional values, and functional and sensorial properties, which makes it an alternative for the fruit. The aim of this study is to evaluate the kinetics of osmotic dehydration, as well as the quality of the osmotically dehydrated samples in terms of color, texture, and antioxidant capacity, using fructo-oligosaccharide, corn syrup and the mixture of both, under different temperatures. To determine the kinetics, the fruit, cut in cubes, was dehydrated in different solutions, under temperatures of 40, 50 and 60 ° C. The kinetics of water loss (WL) and solid gain (SG) were evaluated at 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 to 1440 minutes. The analysis of variance was used to verify the effect of each solution and temperature on kinetics. The kinetic parameters were modeled based on the equations of Peleg, Page modified and Barbosa Junior et al. using non-linear regression. The time to reduce the dehydration rate or penetration to one third of its initial values ($t_{(1/3)}$) and the process average time ($t_{(average)}$) were obtained on the Barbosa Junior et al. model. The quality of the samples was accessed at these two times, in different solutions under different temperatures. For such, the variation of the instrumental parameters of color, antioxidant capacity (FRAP, DPPH and total phenolic content), and texture (axial compression tests) of samples, in nature as well as processed, were verified. The WL was not affected significantly by the type of solute used, however, the temperature presented significant influence over these parameters ($p < 0.05$). The experimental data for the WL was adequately adjusted to the Peleg and Page modified models with coefficients of determination (R^2) superior than 0.98, mean relative error (E) inferior than 6.5% in all treatments. The water loss content values varied from 15.75 to 28.79% at time $t_{(1/3)}$, while for the time $t_{(average)}$ 15.75 to 30.27% between treatments. The process of osmotic dehydration had an effect on the quality of the final product, showing significant differences between the fruits in natura and processed state, in terms of color, antioxidant capacity and texture of the samples.

Keywords: banana, osmotic dehydration, antioxidant capacity, color, texture, quality, fructo-oligosaccharide

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, CAPACIDADE ANTIOXIDANTE, COR E TEXTURAS DOS VEGETAIS: UMA REVISÃO

- Tabela 1** - Principais efeitos da desidratação osmótica (DO) nos compostos bioativos e na capacidade antioxidante dos alimentos 8
- Tabela 2** - Principais efeitos do processo de desidratação osmótica (DO) sobre a cor dos alimentos 10
- Tabela 3** - Principais efeitos do processo de desidratação osmótica (DO) sobre a textura dos alimentos 12

CAPÍTULO II

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA (*musa sapientum*, *shum*) EM SOLUÇÕES DE FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS E DE XAROPE DE MILHO

- Tabela 1** – Parâmetros cinéticos da transferência de massa para a perda de água (PA) obtidos usando o modelo de Peleg e Barbosa Júnior e valores de perda de água no equilíbrio obtidos experimentalmente (PA_{∞}) nas diferentes condições avaliadas 31
- Tabela 2** - Parâmetros cinéticos da transferência de massa para a perda de água (PA) obtidos usando o modelo de Page modificado e valores de perda de água no equilíbrio obtidos experimentalmente (PA_{∞}) nas diferentes condições avaliadas 32

CAPÍTULO III

AValiação DA TEXTURA, COR E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE BANANA DESIDRATADA OSMOTICAMENTE UTILIZANDO FRUTO-OLIGOSSACARÍDEO E XAROPE DE MILHO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

- Tabela 1** – Tratamentos aplicados aos cubos de banana nos ensaios de desidratação osmótica 43
- Tabela 2** - Perda de água da banana desidratada osmoticamente no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio do processo ($t_{(médio)}$) 47
- Tabela 3** – Firmeza da banana *in natura* e processada no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$) . 48

Tabela 4 - Análise instrumental de cor (CIELab) das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções de xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$)
..... 49

Tabela 5 - Resultado do croma (C^*), ângulo hue (h^*), variação global da cor (ΔE) das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$)
..... 50

Tabela 6 - Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções de xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$)
..... 51

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA (*musa sapientum, shum*) EM SOLUÇÕES DE FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS E DE XAROPE DE MILHO

- Figura 1** - Cinética de perda de água (PA) nas soluções de xarope de milho (XM), fruto-oligossacarídeo (FOS) e mistura de XM e FOS (MIX), usando temperaturas de 40 °C (1), 50 °C (2) e 60 °C (3) 26
- Figura 2** - Cinética de perda de água (PA) em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C), usando soluções de xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo (2) e fruto-oligossacarídeo (3) 27
- Figura 3** - Cinética de ganho de sólidos (GS) nas soluções de xarope de milho (XM), fruto-oligossacarídeo (FOS) e mistura de XM e FOS (MIX), usando temperaturas de 40 °C (1), 50 °C (2) e 60 °C (3) 29
- Figura 4** - Cinética de ganho de sólidos (GS) em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C), usando soluções de xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo (2) e fruto-oligossacarídeo (3) 30
- Figura 5** - Cinética de Perda de Água (PA) obtida experimentalmente utilizando os solutos xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo (2) fruto-oligossacarídeo (3), nas diferentes temperaturas e a simulação dos modelos de Peleg e Page Modificado 33
- Figura 6** - Dispersão dos resíduos obtidos a partir da utilização do modelo de Peleg, na estimativa dos valores de perda de água (PA) durante a desidratação osmótica de banana em soluções contendo xarope de milho e fruto-oligossacarídeo em diferentes temperaturas 34
- Figura 7** - Dispersão dos resíduos obtidos a partir da utilização do modelo de Page Modificado, na estimativa dos valores de perda de água (PA) durante a desidratação osmótica de banana contendo soluções de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo em diferentes temperaturas 35

LISTA DE ABREVIATURAS

DO	Desidratação osmótica	
DPPH	Diphenylpicrylhydrazyl, Difenilpicrilidrazil	
FOS	Fruto-oligossacarídeos	
FRAP	Ferric ion reducing antioxidant power, Poder Antioxidante de redução do íon férrico	
GAE	Galic acid equivalent, Ácido gálico equivalente	$\mu\text{M.kg}^{-1}$
GS	Ganho de sólidos	$\text{g}/100\text{g}$
k_1	Parâmetro de PELEG relativo à taxa inicial do processo de sorção/dessorção	s.kg^{-1}
k_2	Parâmetro de PELEG relativo à massa sorvida no equilíbrio	kg
k	Parâmetro do modelo de Page modificado	min^{-n}
n	Parâmetro do modelo de Page modificado	
MIX	Mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo	
PA	Perda de água	$\text{g}/100\text{g}$
R^2	Coeficiente de determinação	
$t_{1/n}$	Tempo de n-redução da taxa de desidratação/impregnação	min
TE	Trolox® equivalente	$\mu\text{g.kg}^{-1}$
TPC	Total phenolics content, conteúdo de composto fenólicos totais	
XM	Xarope de milho	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, CAPACIDADE ANTIOXIDANTE, COR E TEXTURAS DOS VEGETAIS: UMA REVISÃO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. PARÂMETROS DE QUALIDADE:.....	7
2.1 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante	7
2.2 Cor.....	9
2.3 Textura	11
3. CONCLUSÃO.....	13
4. REFERÊNCIAS.....	13

CAPÍTULO II

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA (*musa sapientum*, shum) EM SOLUÇÕES DE FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS E DE XAROPE DE MILHO

RESUMO.....	20
ABSTRACT	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 Preparo das Amostras.....	22
2.2 Processo Osmótico	22
2.3 Cinética da Desidratação Osmótica	22
2.4 Modelo de Peleg.....	23
2.5 Modelo de Pege Modificado	24
2.6 Análise Estatística	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25

3.1 Cinética da transferência de massa.....	25
3.2. Modelos Matemáticos	31
4. CONCLUSÃO.....	35
5. REFERÊNCIAS.....	35

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DA TEXTURA, COR E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE BANANA DESIDRATADA OSMOTICAMENTE UTILIZANDO FRUTO-OLIGOSSACARÍDEO E XAROPE DE MILHO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

RESUMO.....	41
ABSTRACT	41
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1. Preparo das Amostras.....	42
2.2. Processo Osmótico	43
2.3. Cálculo da Perda de Água	43
2.4 Avaliação da Qualidade	44
2.4.1 Cor.....	44
2.4.2. Textura	44
2.4.3 Capacidade antioxidante e teor de fenólicos totais	45
2.5 Análise Estatística	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1 Perda de água	46
3.2. Textura	47
3.3 Cor.....	48
3.4. Capacidade Antioxidante e compostos fenólicos totais	50
4. CONCLUSÃO.....	53
5. REFERÊNCIAS.....	53
3. CONCLUSÃO GERAL	41
4. APÊNDICES	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

A banana é uma fruta cultivada em vários países, sobretudo na região dos trópicos. É caracterizada por possuir alto valor energético, em função do seu alto teor de açúcares e amido. É rica em vitamina A e C, potássio, cálcio, magnésio e sódio. No entanto, devido ao seu amadurecimento acelerado, associado à não possibilidade de utilização do frio para prologar sua validade comercial, tal alimento sofre rápida deterioração pós-colheita.

A inserção de frutas na dieta está diretamente relacionada à menor incidência de algumas doenças como o câncer, por exemplo. Este efeito benéfico está correlacionado com os diversos fitoquímicos encontrados neste alimento. Diante disto, o consumo de frutas processadas surge como uma alternativa para os consumidores que se preocupam em manter uma dieta rica em nutrientes e, ainda, buscam praticidade e facilidade. Entretanto, com consumidores cada vez mais exigentes, é de suma importância que os alimentos processados apresentem características nutricionais e sensoriais cada vez mais próximas ao natural. A desidração é uma técnica de preservação de alimentos que permite a conservação da produção que não será consumida de imediato, reduz o peso para transporte e armazenamento, permite o aproveitamento de excedentes da safra ou de frutas que se apresentam fora dos padrões de qualidade para a comercialização e consumo e, ainda, agrega valor ao produto.

Alguns processos convencionais de desidratação são utilizados para a preservação das frutas, como secagem por ar quente, secagem a vácuo, dentre outros. No entanto, a maioria deles está associada a perda da qualidade, em termos de valor nutricional e aspectos sensoriais, como textura e cor. A desidratação osmótica vem sendo utilizada como alternativa a estes processos, ou associadas aos mesmos, como um pré-tratamento, a fim de melhorar a qualidade final destes produtos, reduzir custos com energia e, até mesmo, desenvolver novos produtos.

O processo de desidratação osmótica (DO) não utiliza temperaturas elevadas, é livre de oxigênio durante o processamento e dispensa o uso de aditivos para inibir alterações indesejáveis, produzindo alimentos de umidade intermediária. A DO consiste em colocar o alimento em imersão em soluções hipertônicas que possuem baixa atividade de água.

Devido a diferença do potencial químico entre a água do alimento e a da solução estabelece-se uma transferência de massa entre esses sistemas. São gerados três fluxos simultâneos de transferência de massa: a saída de água do alimento para solução osmótica; a incorporação de sólidos na fruta, proveniente da solução; e a saída de sólidos da fruta em direção à solução, embora esse último ocorra em menor quantidade, o mesmo deve ser considerado, uma vez que pode acarretar em alterações nutricionais.

Devido à ocorrência desses fluxos, a DO pode ser utilizada para incorporar determinados solutos que confirmam uma melhor qualidade nutricional e sensorial aos produtos desidratados. No entanto, pode ocorrer a saída de sólidos provenientes da fruta, acarretando em perdas de substâncias importantes como vitaminas, minerais e compostos bioativos, que reconhecidamente possuem atividade antioxidante.

Ademais, em função do grande número de variáveis do processo (temperatura, soluto, concentração da solução, proporção fruta/solução) e as diferentes frutas empregadas e suas respectivas características teciduais, podem ocorrer distintas

alterações nos produtos. Portanto, além de avaliar a cinética da perda de água e do ganho de sólidos, avaliar a qualidade final das frutas desidratadas osmoticamente em termos de cor, textura, e atividade antioxidante é importante para otimização deste processo.

Embora a DO tenha sido amplamente estudada nos últimos anos, poucos estudos avaliaram a cinética de transferência de massa, e, sobretudo, estudaram o impacto do processo na qualidade da banana desidratada osmoticamente, utilizando fruto-oligossacarídeo como agente desidratante. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a cinética de transferência de massa utilizando fruto-oligossacarídeo, xarope de milho e a mistura das duas soluções em diferentes temperaturas, verificar a aplicabilidade dos modelos de Peleg, Page modificado e Barbosa Junior et al. e avaliar os parâmetros de qualidade de cor, textura e atividade antioxidante da banana desidratada osmoticamente.

2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada conforme descrito a seguir:

O capítulo 1 apresenta uma revisão de literatura acerca dos principais estudos científicos que avaliaram o impacto da desidratação osmótica sob os aspectos de qualidade de cor, textura, compostos bioativos e capacidade antioxidante dos vegetais que são submetidos a este processo.

O Capítulo 2 são apresentados os resultados obtidos experimentalmente da cinética de transferência de massa e o modelamento matemático utilizando os modelos de Peleg, Page modificado e Barbosa Júnior et al., em banana desidratada osmoticamente em solução de fruto-oligossacarídeo, xarope de milho e a mistura de ambos, em temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Por fim, no Capítulo 3 são apresentados os resultados obtidos de capacidade antioxidante, textura e cor de bananas desidratadas osmoticamente em soluções contendo fruto-oligossacarídeo e/ou xarope de milho em diferentes proporções e temperaturas.

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA SOBRE OS COMPOSTOS BIOATIVOS, CAPACIDADE ANTIOXIDANTE, COR E TEXTURA DE FRUTAS E OLERÍCOLAS: UMA REVISÃO

INFLUENCE OF OSMOTIC DEHYDRATION ON BIOACTIVE COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITY, COLOR AND TEXTURE OF FRUITS AND VEGETABLES: A REVIEW

Artigo aceito para publicação na Revista Ciência Rural

Influência da desidratação osmótica sobre os compostos bioativos, capacidade antioxidante, cor e textura de frutas e olerícolas: uma revisão

Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review

-REVISÃO-

RESUMO

A desidratação osmótica (DO) é uma técnica de conservação de alimentos, que promove a redução parcial de água, estende a validade comercial, diminui as perdas pós-colheita e as alterações nas características dos produtos. Atualmente, tem sido dada ênfase na busca do entendimento de como o processo afeta a qualidade dos vegetais desidratados, pois as variáveis do processo podem interferir em sua capacidade antioxidante, cor e textura. A capacidade antioxidante pode ser afetada por transformações químicas, perdas por lixiviação, redução da umidade e ganho de sólidos, bem como pelo perfil dos bioativos presentes e método de análise realizado. Quanto à cor, as alterações em geral são provocadas pelo aumento da temperatura, que pode ocasionar escurecimento enzimático e/ou não enzimático, decomposição ou carreamento dos pigmentos presentes no tecido. Por outro lado, o agente osmótico apresenta maior impacto na textura, provocando alterações nos atributos sensoriais como gomosidade, crocância e sabor do produto. Embora exista um grande número de trabalhos abordando a DO, os esforços atuais estão concentrados no entendimento sobre o efeito do processo sobre a qualidade dos produtos, sobretudo em relação a capacidade antioxidante. Desta forma, há a necessidade de mais estudos sobre as alterações geradas pela DO nos alimentos, uma vez que há uma variedade de fatores do processo, capazes de impactar de diversas formas os diferentes tecidos vegetais das frutas e olerícolas submetidos à DO.

Palavras-chave: processamento, qualidade, fitoquímicos.

ABSTRACT

Osmotic dehydration (OD) is a conservation technique applied to foodstuffs, which promotes partial reduction of water, extends their shelf life, reduces post-harvest losses and change in product characteristics. Nowadays, it has been given emphasis on trying to understand how the process affects the quality of the processed vegetables, due to the fact that the process variables can interfere in their antioxidant capacity, color and texture. Moreover, the antioxidant capacity can be affected by chemical changes, leaching losses, reduced moisture and solid gain as well as the present bioactive in the profile of the performed analysis method. In color, the overall changes are caused by temperature increase, which can cause enzymatic browning and/or non-enzymatic, decomposition or entrainment of pigments present in the tissue. On the other hand, the osmotic agent has a greater impact on texture, causing changes in the sensorial attributes such as gumminess, even crispness and flavor of the product. Although there is a large number of studies on the OD, the current scenario in terms of effect on the quality of osmodehydrated products are still incipient, especially in relation to antioxidant

capacity. Despite the fact of there is a large number of studies on the OD, current efforts are focused on understanding the effect of the process on the quality of products, particularly in relation to antioxidant capacity. Thus, further studies on the changes generated by the OD in food are needed, since there is a variation of process factors, which may has an impact on the different tissues of the fruit and vegetable crops submitted to OD.

Keywords: processing, quality, phytochemicals.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido verificada uma crescente demanda por produtos processados com elevada qualidade sensorial, funcional e nutricional. Não apenas aqueles prontos para o consumo, mas também aos usados como ingredientes nas mais diversas áreas da indústria de alimentos, como na elaboração de sorvetes, cereais, laticínios e em produtos de confeitaria e panificação. Desta forma, tem sido verificado um aumento na busca por processos que preservem as características sensoriais e funcionais dos alimentos (CARVALHO et al., 2006; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Para estender a validade comercial das frutas, métodos convencionais de desidratação têm sido amplamente utilizados. Entretanto, eles normalmente estão associados à redução da qualidade nutricional, sensorial e funcional destes produtos. Desta forma, processos parciais de remoção de umidade, como a desidratação osmótica (DO), que reduzam substancialmente este efeito negativo, têm se apresentado como uma alternativa viável no processamento de alimentos nos últimos anos (YADAV & SING, 2012; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Frutas (cortadas ou inteiras) podem ser desidratadas mediante a imersão em soluções concentradas de açúcares e/ou sais, originando-se três fluxos simultâneos de massa: perda de água da fruta para a solução; migração de solutos a partir da solução para a fruta e a perda de alguns sólidos solúveis da fruta, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes, para a solução concentrada (RAOULT-WACK, 1994; TORREGIANI & BERTOLO, 2001; YADAV & SING, 2012; NIETO et al., 2013; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Como não utiliza elevadas temperaturas para a remoção de água, a DO é mais apropriada para alguns tipos de alimentos do que as demais técnicas de desidratação, já que não promove alterações drásticas em algumas características importantes, garantindo a preservação dos compostos naturais e a manutenção das propriedades das frutas submetidas ao processo (ANAND & GENITHA, 2011; ALMEIDA et al., 2014; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Além disso, quando utilizado como pré-tratamento pode melhorar a qualidade dos frutos desidratados (ATARES et al., 2011; MERCALI et al., 2011; ALMEIDA et al., 2014), pois minimiza a injúria causada nos processos subsequentes, os quais muitas vezes são necessários para garantir a estabilidade final do produto, já que a DO promove apenas uma remoção parcial de água (RASTOGI et al., 2002; ZHAO et al. 2013; MIMURA et al., 2014; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Entretanto, a taxa de transferência de massa entre a solução e o alimento e os parâmetros associados à qualidade das frutas (tais como presença de fitoquímicos com capacidade antioxidante, a cor e a textura) são influenciados pelo tipo de soluto,

concentração e temperatura da solução osmótica, agitação, a proporção alimento/solução, forma e tamanho do alimento (OSORIO et al., 2007; RASTOGI et al., 2002; CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2011; NIETO et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014).

Ademais, é de grande interesse avaliar a qualidade sob o ponto de vista nutricional, bem como sensorial, como variação de cor e textura, pois interferem diretamente na aceitação das frutas desidratadas, uma vez que estes podem sofrer alterações físicas e químicas durante seu processamento (TALENS et al., 2002; OSORIO et al., 2007; CHONG et al., 2013; NIETO et al., 2013; ALMEIDA, et al., 2014).

Embora a DO tenha sido alvo de vários estudos ao longo dos anos, a maioria dos trabalhos avalia a cinética do processo em termos de perda de água e ganho de sólidos e apenas uma pequena parcela aborda o efeito do processo sobre as propriedades funcionais dos alimentos desidratados osmoticamente. Contudo, tem sido verificado um grande esforço na busca pelo entendimento dos efeitos associados aos fluxos de massa sobre as propriedades físicas e químicas das frutas osmoticamente desidratadas, possibilitando a difusão de sua utilização pela indústria de alimentos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi fornecer uma visão geral dos estudos mais recentes que avaliaram o efeito da desidratação osmótica sobre os principais atributos relacionados à qualidade sensorial e funcional das frutas desidratadas, com destaque a sua capacidade antioxidante, cor e textura.

2. PARÂMETROS DE QUALIDADE:

2.1 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

A importância de uma dieta rica em fitoquímicos com capacidade antioxidante é bem conhecida e, desse modo, torna-se necessário estudar o impacto do processamento osmótico sobre tais substâncias. Os compostos químicos presentes nas frutas podem sofrer impacto por diferentes variáveis durante o processamento. Além disso, o seu conteúdo pode ser afetado por meio de transformações químicas e bioquímicas ou por carregamento através da membrana junto com o fluxo de saída de água. Em contrapartida, a redução da umidade dos alimentos pode provocar um aumento na concentração dos compostos químicos presentes na matéria prima, enquanto o ganho de sólidos provoca um efeito oposto e promove uma variação aparente da concentração dos compostos químicos das frutas osmoticamente desidratadas (BLANDA et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014).

Na Tabela 1, verifica-se que elevadas temperaturas normalmente estão relacionadas a efeitos negativos sobre a capacidade antioxidante de bananas (ALMEIDA et al., 2014), pois o aumento da temperatura causa uma redução da seletividade da membrana, favorecendo a lixiviação de compostos hidrossolúveis (tais como os fenólicos) para a solução osmótica (DEVIC et al., 2010). Além disto, altas temperaturas reduzem a viscosidade da solução osmótica e, conseqüentemente, a resistência externa à transferência de massa, acelerando o processo (BARBOSA JUNIOR et al., 2013). Além de agir na degradação de alguns compostos fenólicos e, desse modo, reduzir a capacidade antioxidante (WOJDYŁO et al., 2007).

Tabela 1 - Principais efeitos da desidratação osmótica (DO) nos componentes bioativos e a capacidade antioxidante dos alimentos.

Produto Principais resultados observados	Referência
<i>Banana</i> - Diferentes temperaturas foram avaliadas (30, 40 e 50 °C) e a maior retenção de compostos fenólicos ocorreu em baixas temperaturas.	ALMEIDA et al. (2014)
<i>Morango</i> - A combinação de APH e DO apresentou maior preservação da capacidade antioxidante, fenólicos e vitamina C. - Alta pressão promove maior efeito conservante no conteúdo de compostos fenólicos	NUÑEZ-MANCILLA et al. (2013)
<i>Mirtílio</i> - A solução de sacarose apresentou maior retenção de antocianinas, e a solução de glicose/frutose maior teores de compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante.	GIOVANELLI et al. (2012)
<i>Maçã</i> - Alta temperatura (60 °C) durante a DO reduz o teor de compostos fenólicos e de vitamina C.	DEVIC et al. (2010)
<i>Cogumelo</i> - A DO conduzida a 45 °C não alterou a capacidade antioxidantes e o conteúdo de fenólicos totais.	SINGLA et al. (2010)
<i>Tomate cereja</i> - A DO a 50 °C promoveu uma redução no teor de licopeno e β -caroteno. - A utilização de 2% solução de sal resultou em um menor teor de licopeno. No entanto, o uso de sacarose favoreceu a sua preservação.	HEREDIA et al. (2009).

*APH = alta pressão hidrostática; DO = desidratação osmótica.

O agente osmótico utilizado na DO tem influência direta na retenção de compostos bioativos e em sua capacidade antioxidante. O uso de diferentes solutos gera diferença na retenção dos distintos compostos bioativos e conseqüentemente na capacidade antioxidante (GIOVANELLI et al. 2012).

ALMEIDA et al. (2014) observaram que a utilização de altas concentrações da solução osmótica favoreceu uma maior retenção da capacidade antioxidante. A incorporação do soluto na banana teve um efeito protetor, porque gera uma barreira à lixiviação de sólidos solúveis, principalmente, aqueles que são responsáveis pela capacidade antioxidante, tais como os taninos e demais compostos fenólicos.

A redução da atividade de água e baixa concentração de O₂ reduz a taxa de degradação dos compostos fenólicos. Estes efeitos surgem por meio da penetração do soluto e da perda de água pelo tecido vegetal, aliado à ausência de ar durante o processo osmótico. Ambos reduzem a ação enzimática, que pode induzir a perda de capacidade antioxidante destes compostos (QUILES et al., 2005).

Além disso, as diversas frutas que podem ser utilizadas neste processo, possuem características diferentes quanto à retenção dos compostos fenólicos durante a DO. No entanto, essa diferença pode estar correlacionada com os distintos perfis de compostos fenólicos encontrado nas frutas, o que levaria aos distintos comportamentos verificados em frutas submetidas ao processo (JACOB & PALIYATH, 2012).

Embora a capacidade antioxidante não tenha sido diretamente avaliada nas amostras processadas, HEREDIA et al. (2009) observaram que o processo osmótico não teve nenhuma influência sobre o teor de licopeno e β -caroteno. No entanto, sob altas temperaturas (50 °C), os autores relataram uma diminuição nos níveis de licopeno.

Por outro lado, em certas condições de processamento, alguns estudos encontraram um aumento na concentração de carotenoides, tais como o licopeno e β -caroteno em tomates desidratados osmoticamente. De acordo com HEREDIA et al (2009), este comportamento ocorreu devido a uma hipotética biossíntese destes carotenoides como uma resposta ao estresse osmótico sofrido pela fruta durante o processamento. No entanto, TONON et al. (2007) propôs que a DO promoveria a ruptura das organelas celulares, o que poderia facilitar uma maior extração de carotenoides e conduzir a um aumento nos níveis destes fitoquímicos.

A biossíntese dos carotenoides ocorre no interior dos plastos em plantas superiores e envolve muitas reações controladas pela transcrição genética, que incluem a produção de enzimas que são responsáveis pela síntese do pigmento durante o crescimento da planta (MARTINS et al., 2016; OTHMAN et al., 2014). Além disso, a biossíntese necessita de numerosas condições para ocorrer, que não poderiam ser satisfeitas durante o processo osmótico. Assim, o aumento na concentração de carotenoides sob certas condições de DO carece de mais estudo.

O aumento da capacidade antioxidante durante o processamento de alimentos foi verificado também durante o processo de alta pressão hidrostática (HPP), cujas condições nas quais o alimento é submetido podem melhorar de forma eficiente o rendimento de flavonoides e de outros compostos fenólicos em diferentes tipos de frutas e vegetais. Este efeito ocorre devido à ruptura das organelas celulares que melhora a extração e reduz a destruição da estrutura destes compostos, o que resulta em uma maior capacidade antioxidante das amostras submetidas a HPP (JING et al., 2016). Resultados semelhantes foram observados por autores que trabalharam com uva (CORRALES et al., 2008), melancia (OMS-OLIU et al., 2009) e morangos (NUÑEZ-MANCILLA et al., 2011, 2013) utilizando a HPP.

SINGLA et al. (2010) avaliaram o efeito da DO como pré-tratamento a secagem a vácuo em cogumelos e verificaram que a DO reduziu o tempo do processo de secagem, o que favoreceu a maior retenção dos constituintes nutricionais que muitas vezes são instáveis quando expostos em temperaturas elevadas por um tempo prolongado.

Entretanto, NOWICKA et al. (2014) reportaram que durante a DO houve perdas dos compostos fenólicos totais e da capacidade antioxidante da cereja desidratada osmoticamente. Contudo, a DO foi um pré-tratamento importante na desidratação, pois reduziu a atividade de água e, neste caso, nos tratamentos subsequentes de secagem convectiva e secagem por micro-ondas a vácuo, o tempo, a temperatura e a potência do micro-ondas necessários para completar a desidratação foram menores.

2.2 Cor

A alteração de cor no decorrer do processo de desidratação osmótica pode ser muito significativa. Portanto, os parâmetros instrumentais de cor normalmente são avaliados nas frutas antes e depois do processamento (OSORIO et al., 2007). Tais alterações podem ocorrer devido à degradação ou perda de pigmentos das frutas; desenvolvimento de escurecimento no decorrer do processo; ou pelo aumento da concentração dos pigmentos em consequência da perda de água, que pode aumentar paralelamente o índice de refração da fase líquida do tecido, tendo impacto

especialmente nos atributos de cor, como a luminosidade e o croma (TALENS et al., 2002).

As mudanças que mais interferem na aceitação do produto são as alterações dos pigmentos das frutas, como o escurecimento enzimático e não-enzimático. O uso de baixas temperaturas associado ao efeito protetor que o açúcar possui sobre alguns pigmentos podem minimizar estas alterações durante o processo de DO (CHIRALT & TALENS, 2005).

Na Tabela 2 são apresentados os efeitos do processo na cor dos alimentos desidratados osmoticamente. As altas temperaturas causam um escurecimento mais intenso em frutas osmoticamente desidratadas. As reações químicas que formam pigmentos, são favorecidos pela redução da atividade de água que ocorre durante o processo osmótico. Além disso, as temperaturas elevadas podem favorecer o escurecimento por reações químicas e enzimáticas que conduzem a oxidação de compostos fenólicos e a reação de Maillard devido a presença de açúcares redutores e aminoácidos, promovendo o escurecimento do produto (ATARES et al., 2011; ALMEIDA et al. 2014).

Tabela 2 - Principais efeitos do processo de desidratação osmótica (DO) sobre a cor dos alimentos.

Produto	Referência
Principais resultados observados	
Banana	
- Em geral, os parâmetros de cor (a^* , b^* e ΔE) não foram afetados pelas variáveis do processo, no entanto a temperatura do processo teve influência significativa no valor de L^* .	ALMEIDA et al. (2014)
Manga	
- A glicose afetou mais intensamente os parâmetros de cor do que a sacarose e maltose.	ZHAO et al. (2014)
Abacaxi	
- A maior concentração do soluto acarretou num aumento nos valores de C^* em abacaxi desidratados osmoticamente.	SILVA et al. (2014)
Banana e beterraba	
- Maior tempo de processo e a maior concentração da solução osmótica possibilitou uma melhor manutenção da cor da banana e da beterraba após serem submetidos à secagem convectiva.	KOWALSKI et al. (2013)
Tomate Cereja	
- A luminosidade foi reduzida. - Alta temperatura favoreceu o aumento das coordenadas cromáticas a^* e b^* , sobretudo com o emprego do soluto sacarose.	HEREDIA et al. (2009).
Morango	
- Uma redução do ângulo Hue foi verificada com o aumento do tempo de imersão. - A sacarose incorporada desempenhou um papel importante na mudança de L^* e C^* nos morangos.	GARCIA-NOGUERA et al. (2012).

Tanto a temperatura quanto a concentração e/ou tipo de solutos são parâmetros do processamento que podem alterar a cor das frutas desidratadas (Tabela 2). HEREDIA et al. (2009) reportaram que a alteração de cor em tomate desidratado foi mais pronunciada quando o processo ocorreu sob alta temperatura, sobretudo quando a

sacarose foi empregada. Essa alteração foi atribuída a maior perda de água e, portanto, uma maior concentração do licopeno no tecido. Isto, indica que não houve degradação do pigmento, o que resulta em produtos com uma alta qualidade nutricional.

Elevadas temperaturas durante a DO provocam um escurecimento mais intenso das frutas desidratadas. As reações químicas que formam pigmentos e ocasionam o escurecimento dos frutos são favorecidas pela redução de atividade de água que ocorre ao longo do processo osmótico. Além disso, a temperatura elevada pode favorecer o escurecimento pelas reações químicas e enzimáticas que levam à oxidação dos compostos

Entretanto, os parâmetros do processo podem impactar de forma distinta na cor de cada fruta, uma vez que estes fatores dependem das características de cada tecido vegetal, pigmentos e suas propriedades físico-químicas, tais como a turgosidade, a permeabilidade, a solubilidade, a atividade da água entre outros. ATARES et al. (2011) observaram que as diferenças médias de cor entre a banana fresca e as desidratadas foram pequenas em todas as condições estudadas de temperatura e concentração da solução osmótica, o que significa uma maior qualidade de cor do produto, sendo este um parâmetro com influência direta sobre a aceitação de frutas desidratadas por parte dos consumidores.

A utilização de soluções muito concentradas favorece uma maior perda de água, o que acarreta na concentração dos pigmentos presentes no tecido da fruta e, conseqüentemente, provoca alterações nos parâmetros instrumentais de cor. No entanto, essas alterações são inferiores quando comparadas as alterações provocadas por outros processos de desidratação (SILVA et al. 2014).

A desidratação osmótica como pré-tratamento permite a obtenção de frutas desidratadas com aspecto de cor mais semelhantes aos das frutas *in natura*. Em vários estudos, foi possível observar a manutenção da cor nas frutas e hortaliças submetidas ao pré-tratamento, como em cenoura submetida a secagem convectiva (KOWALSKI & MIERZWA, 2011), morango liofilizado (GARCIA-NOGUERA et al., 2012), manga congelada (ZHAO et al., 2013) e manga chips (ZOU et al., 2013). Segundo KOWALSKI et al. (2013), a utilização da DO como pré-tratamento em banana e beterraba reduz o tempo necessário para a secagem, favorecendo a manutenção da cor natural dos produtos desidratados.

2.3 Textura

A textura é um dos principais parâmetros qualitativos e está relacionada com as propriedades reológicas e estruturais dos alimentos, podendo ser avaliada por diferentes propriedades mecânicas, como firmeza, adesividade, coesividade, gomosidade e viscosidade (NIETO et al., 2013).

As propriedades mecânicas dos tecidos vegetais são influenciadas pela turgescência celular, força de ligação entre as células (lamela média), a resistência da parede celular a força de compressão ou de tração, e outros fatores como o tamanho da amostra, a forma, a temperatura e a taxa de deformação (NIETO et al., 2013).

Alguns estudos sobre o efeito do tratamento osmótico sobre a textura de frutas e vegetais são apresentados na Tabela 3. De acordo com Zhao et al. (2014), a incorporação de açúcar e cloreto de cálcio durante a DO contribuiu para o aumento firmeza na manga congelada. O açúcar promoveu o aumento da integridade celular e o cloreto de cálcio interagiu com a estrutura celular da matriz alimentar. OLATIDOYE et al. (2010), ao pré-trataram osmoticamente tomates, também observaram um aumento da

firmeza após o descongelamento devido à incorporação do soluto na matriz do fruto durante o processo de desidratação.

Tabela 3 - Principais efeitos do processo de desidratação osmótica (DO) sobre a textura dos alimentos.

Produto	Referência
Principais resultados observados	
<i>Manga</i>	
- Houve um aumento da firmeza, independentemente do método de congelamento (lento ou rápido) utilizado após a DO.	ZHAO et al. (2014)
<i>Melão</i>	
- As amostras pré-tratadas osmoticamente, associadas a um revestimento comestível não apresentaram diferença significativa entre a fruta fresca e a desidratadas.	FERRARI et al. (2013)
<i>Manga</i>	
- Os tratamentos osmóticos reduziu a tensão-deformação. Contudo a presença do cálcio na solução influenciou nesse resultado. - Solução mais concentrada acarretou em maior firmeza e resistência, e a presença de lactato de cálcio favoreceu uma firmeza mais pronunciada.	TORRES et al. (2006)
<i>Abacaxi</i>	
- Solução com concentração menor de lactato de cálcio favoreceu o aumento da firmeza.	SILVA et al. (2014)
<i>Maçã</i>	
- Temperaturas elevada durante o processo causa maior impacto na textura, acarretando em considerável perda da firmeza no tecido.	MAVROUDIS et al. (2012).
<i>Toranjás</i>	
- Houve aumento nos parâmetros mecânicos (força e deformação no ponto de ruptura, área sob a curva e inclinação da parte linear de baixa deformação) das amostras - Não houve diferença na textura com ou sem a adição lactato de cálcio.	MORAGA et al. (2009).

A perda da firmeza pode ser relacionada principalmente com a degradação da pectina e protopectina insolúvel, que são responsáveis pela rigidez estrutural da fruta. A atividade das enzimas pectinases, em especial a poligalacturonase e a pectinametilesterase presentes nos frutos maduros causa a solubilização das substâncias pécnicas. A redução da taxa respiratória dos frutos reduz a atividade destas enzimas, o que implica em efeito menor sobre a textura do alimento (FERRARI et al., 2013).

A presença de lactato de cálcio também causa um efeito protetor sobre a textura, uma vez que estes os íons de cálcio podem atuar no tecido vegetal formando complexos com os grupamentos carboxílicos da pectina e, assim, produzir um aumento na firmeza. Este efeito reduz o dano causado à estrutura da parede celular pelo processo de desidratação. Além disso, a utilização destes sais pode aumentar as taxas de perda de água, o que reduz a atividade da água dos produtos processados (SILVA et al, 2013; SILVA et al., 2014; ZHAO et al., 2014).

De acordo com TORRES et al. (2006), as concentrações mais elevadas de lactato de cálcio, promovem alimentos desidratados com maior firmeza. Por outro lado, em concentrações muito elevadas pode ser verificado um efeito oposto, em que ocorre a ruptura das membranas celulares, promovida pela dissolução de pectina e,

consequentemente, uma redução considerável na firmeza do tecido pode ser observada (SILVA et al., 2014).

A eficiência do cálcio sobre a melhoria da firmeza é influenciada pela estrutura do tecido de fruta. MORAGA et al. (2009) encontraram uma resposta mecânica diferente no tecido de toranja osmoticamente desidratada, particularmente quando comparado a outros frutos que possuem tecido parenquimático. O tecido da toranja é formado por segmentos com longas células contendo suco, parte dele é extraído no processo de corte das amostras, influenciando, dessa forma, o comportamento mecânico final.

De acordo com MAVROUDIS et al. (2012), a temperatura tem um papel importante na firmeza de maçãs osmoticamente desidratadas. Em temperaturas mais elevadas, verificou-se uma redução do turgor da parede (por meio de perda de água e ganho de sólidos por células) e um aumento no amaciamento dos tecidos, induzidas pela temperatura. Estes efeitos induzidos pela temperatura ocorrem simultaneamente e são responsáveis, de modo distinto, pelo efeito global deste fator na textura.

As diversas variações nos parâmetros de processo (temperatura, solução e fruta) resultam em diferentes cinéticas de transferência de massa durante a DO e, consequentemente, afetam de forma distinta a composição do tecido vegetal, promovendo alterações físico-químicas desiguais nos produtos osmoticamente desidratados (JACOB & PALIYATH, 2012; NIETO et al., 2013).

3. CONCLUSÃO

A desidratação osmótica desempenha um papel importante na preservação dos atributos sensoriais e funcionais dos alimentos processados. Quando utilizada como pré-tratamento a outras técnicas de preservação reduz as injúrias térmicas e oxidativas causadas pelos mesmos. Entretanto, apesar de ser um processo bastante pesquisado, estudos com objetivo de compreender seu efeito sobre a capacidade antioxidante dos produtos osmoticamente desidratados são ainda incipientes. Além disso, as diversas variáveis envolvidas no processo atuam de forma distinta nas características de cor e textura dos tecidos dos diferentes vegetais submetidas à DO.

Pesquisas que otimizem o processo em relação a conservação dos compostos bioativos e sua capacidade antioxidante, a manutenção da cor, assim como da textura, podem ampliar a aplicação industrial desta técnica e, consequentemente, promover a obtenção de produtos com elevada qualidade sensorial e funcional.

4. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A.R. et al. Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.38, p.1-9, 2014. Available at: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.12321/pdf>> Accessed in: 24 dez. 2014. doi:10.1111/jfpp.12321.

ANAND, P., GENITHA T.R. Physico chemical and sensory qualities of osmodehydrated banana (musa paradisiaca). **Progressive Agriculture**, v.1, p.330-336, 2011.

ATARES, L. et al. Process conditions effect on the quality of banana osmotically. **Journal of Food Engineering**, v.103, p.401–408, 2011. Available at: <<http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0260877410005479#>>. Accessed in: 8 jan 2015. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.11.010.

BARBOSA JÚNIOR, et al. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v.48, p.2463–2473, 2013. Available at: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.12237/pdf>>. Accessed in: 22 dez 2014. doi: 10.1111/ijfs.12237.

BLANDA, G. et al. Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. **Food Science and Technology**, v.42, p.30–36, 2009. Available at: <<http://65.54.113.26/Publication/41282657>>. Accessed in: 02 jan. 2015. doi: 10.1016/j.lwt.2008.07.002.

CARVALHO, P. et al. Hortaliças como alimentos funcionais. **Revista Horticultura Brasileira**, v.24, p.397-404, 2006. Available at: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v24n4/01.pdf>>. Accessed in: 3 fev. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S010205362006004000001>.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.240–246, 2011. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410006059>>. Accessed in: 3 fev. 2015. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.10.034.

CHANDRA, S.; KUMARI, D. Document Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.55, p.552-561, 2015.

CHIRALT, A.; TALENS P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.167–177, 2005. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404003322>>. Accessed in: 17 dez. 2014. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.055.

CHONG, C. H. et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v.141, p.3889–3896, 2013. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461300819>>. Accessed in: 3 jan. 2015. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.042.

CORRALES, M. et al. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.9, p.85–91, 2008. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856407000756>>. Accessed in: 15 jan. 2015. doi:10.1016/j.ifset.2007.06.002.

DEVIC, E. et al. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.606–614, 2010. Available at: <<http://pubs.acs.org/doi/ipdf/10.1021/jf903006g>>. Accessed in: 15 jan. 2015. doi: 10.1021/jf903006g.

FERRARI, C. C. et al. Effect of osmotic dehydration and pectin edible coating on quality and shelf life of fresh-cut melon. **Food and Bioprocess Technology**, v.4, p.1-12, 2013. Available at: <<http://download.springer.com/static/pdf/567/art%253A101007%252Fs1194701107046.pdf>>. Accessed in: 1 jan. 2015. doi: 10.1007/s11947-011-0704-6.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.1–6, 2012. Available at: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-012-0724-x#page-1>>. Accessed in: 03 mar. 2015. doi:10.1007/s13197-012-0724-x.

GIOVANELLI, G. et al. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum*L.). **Food Research International**. v. 49, p. 263–271, 2012. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912003249>>. Accessed in: 8 jan. 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2012.08.015.

HEREDIA, A. et al. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p.285–294, 2009. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157509000805>>. Accessed in: 4 mar. 2015. doi: 10.1016/j.jfca.2008.11.018.

JACOB, J. K.; PALIYATH, G. Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. **Food Research International**, v.45, p.93-102, 2012. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691100593X?np=y>>. Accessed in: 13 jan. 2015. doi:10.1016/j.foodres.2011.10.017.

JING, J.; WANG, S.; Li, Q.; ZHENG, L.; YUE, L.; FAN, S.; TAO, G. Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and bioactivities of *Cyperus esculentus* (*C. esculentus* L.) leaves flavonoids. **Food Chemistry**, v.192, p.319-327, 2016. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615009899>>. Accessed in: 13 fev. 2016. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.06.097.

KOWALSKI, S. J.; MIERZWA, D. Influence of preliminary osmotic dehydration on drying kinetics and final quality of carrot (*daucus carota* L.). **Chemical and Process Engineering**, v.32, p.185-194, 2011. Available at: <<http://processengineering.net/chpe/download/02Influenceofpreliminaryosmoticdehydrationon.pdf>>. Accessed in: 2 jan. 2015. doi: 10.2478/v10176-011-0014-6.

KOWALSKI, S. J et al. Quality aspects of fruit and vegetables dried convectively with osmotic pretreatment. **Chemical and Process Engineering**, v.34, p.51-62, 2013. Available at: <<http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-61d1b53f-29e8-4d68-a4ca-386129f435bb>> Accessed in: 02 jan. 2015. doi: 10.2478/cpe-2013-0005.

MAVROUDIS, N. E et al. Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. **Food Research International**, v.48, p.839–847, 2012. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912002384>>. Accessed in: 02 jan. 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2012.06.034.

MERCALI, D.G. et al. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum). **LWT – Food Science and Technology**, v.44, p.82-91, 2011. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381000229X>>. Accessed in 14 jan 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2011.10.017.

MIMURA, H. J. et al. Pré-tratamentos na secagem e reidratação de champignon em fatias. **Ciência Rural**, v. 44, p.717-722, 2014. Available at: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n4/a12014cr2013-0785.pdf>>. Accessed in: 3 jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000400024>

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**, v.90, p.372–379, 2009. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408003427>>. Accessed in: 03 mar. 2015. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.07.007.

NIETO A. B. et al. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v.119, p.104–114, 2013. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413002148>>. Accessed in: 6 dez. 2014. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.04.032.

NOWICKA, P. et al. Influence of Osmodehydration Pretreatment and Combined Drying Method on the Bioactive Potential of Sour Cherry Fruits. **Food and Bioprocess Technology**, v.8, p. 824–836, 2014. Available at: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11947-014-1447-y>>. Accessed in: 3 mar. 2015. doi:10.1007/s11947-014-1447-y.

NUÑEZ-MANCILLA, Y. et al. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). **LWT - Food Science and Technology**, v.52, p.151-156, 2013. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812001053>>. Accessed in: 3 jan. 2015. doi:10.1016/j.lwt.2012.02.027.

OLATIDOYE, O.P. et al. Effect of osmodehydrofreezing on the quality attributes of frozen tomato. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v.9, p.780-789, 2010.

OMS-OLIU, G. et al. Effect of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. **Food Chemistry**, v.115, p.1312–1319, 2009. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609000909>>. Accessed in: 20 jan. 2015. doi:10.1016/j.foodchem.2009.01.049

OSORIO, C., et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.8, p. 353–359, 2007. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856407000379>>. Accessed in: 30 nov. 2014. doi:10.1016/j.ifset.2007.03.009.

QUILES, A., et al. Polyphenoloxidase (PPO) activity and osmotic dehydration in Granny Smith apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1017–1020, 2005. Available at: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2062/pdf>>. Accessed in: 3 fev. 2015. doi: 10.1002/jsfa.2062.

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

RASTOGI, N. K. et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, p.48-59, 2002. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224402000328>>. Accessed in: 26 nov. 2014. doi:10.1016/S0924-2244(02)00032-8.

SILVA, K.S. et al. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v.134, p.37–44, 2014. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020>> Accessed in: 1 jan. 2015. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020.

SILVA, K.S. et al. Osmotic dehydration of pineapple with impregnation of sucrose, calcium and ascorbic acid. **Food and Bioprocess Technology**, v.7, p.385–397, 2013. Available at: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1049-0#page-1>>. Accessed in: 1 jan. 2015. doi 10.1007/s11947-013-1049-0.

SINGLA, R. et al. Antioxidant activities and polyphenolic properties of raw and osmotically dehydrated Dried mushroom (*agaricus bisporous*) snack food. **International Journal of Food Properties**, v.13, p.1290–1299, 2010. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942910903061851?journalCode=ljfp20#.VKlvoivF_oE>. Accessed in: 02 jan. 2015. doi: 10.1080/10942910903061851.

TALENS, P. et al. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.3, p.191–199, 2002.

TORREGIANI, D., BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247–253, 2001. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877400002107>>. Accessed in: 25 nov. 2014. doi:10.1016/S0260-8774(00)00210-7.

TORRES, J.D. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.240–246, 2006. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405001494#>>. Accessed in: 31 dez. 2005. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.017.

WOJDYŁO, A. et al. Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v 57, p.601–605, 2007.

YADAV, A. S.; SING, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.1654–1673, 2012. Available at: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-012-0659-2>>. Accessed in: 15 jan. 2015. doi: 10.1007/s13197-012-0659-2.

ZHAO, J. H. et al. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v.49, p.960–968, 2014. Available at: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942910701671349#.VJgcr14AA>>. Accessed in: 16 dez. 2014. doi: 1111/ijfs.12388.

ZOU, K. et al. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying **LWT - Food Science and Technology**. v.51, p.253-259, 2013. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812004537>>. Accessed in 17 dez. 2014. doi:10.1016/j.lwt.2012.11.005.

CAPÍTULO II

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA (*musa sapientum*, *shum*) EM SOLUÇÕES DE FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS E DE XAROPE DE MILHO

MATHEMATICAL MODELING OF THE OSMOTIC DEHYDRATION OF BANANA (*MUSA SAPIENTUM*, *SHUM*) IN FRUCTOOLIGOSACCHARIDES AND CORN SYRUP SOLUTIONS

Manuscrito proposto a ser submetido ao International Journal of Food Engineering

RESUMO

A banana é uma fruta perecível, que sofre rápido amadurecimento, não pode ser conservada pelo frio, resultando em grandes perdas pós-colheita. A desidratação osmótica (DO) é um método de conservação, que reduz parcialmente o conteúdo de água presente no tecido e, conseqüentemente aumenta a validade comercial, e pode ser usado para incorporar solutos que agreguem valor ao produto final. Desta forma, bananas foram desidratadas osmoticamente em diferentes soluções de xarope de milho, fruto-oligosacarídeo (FOS), bem como a mistura de ambos os solutos em temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A perda de água (PA) e o ganho de sólidos (GS) foram avaliados nos tempos 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Os parâmetros cinéticos foram modelados de acordo com os modelos de Peleg e de Page modificado utilizando regressão não-linear. A PA não foi afetada significativamente pelo tipo de soluto empregado, no entanto, a temperatura apresentou influência significativa neste parâmetro ($p < 0,05$). O GS foi influenciado significativamente pelo solutos e temperatura ($p < 0,05$). Os dados experimentais para a PA se ajustaram adequadamente utilizando os modelo de Peleg e Page modificado com os coeficientes de determinação (R^2) maiores do que 0,98 e os desvios relativos médios (E) inferiores a 6,5% em todos os tratamentos.

Palavra chave: desidratação osmótica; Modelo de Peleg; Modelo de Page; banana

ABSTRACT

The banana is a perishable fruit, as it ripens fast and cannot be adequately preserved by the cold, resulting in large post-harvest losses. The Osmotic dehydration (OD) is a conservation method, this partially reduces the water content in the tissue and, consequently, extending their shelf-life, and it can be used to incorporate solutes that add value in the final product. Thus, bananas were osmotically dehydrated in different solutions of corn syrup, fructo-oligosaccharides, as well as a mixture of both solutions, under temperatures of 40, 50 and 60 °C. The WL and SG were evaluated at 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 and 1440 minutes. The kinetic parameters were based on the models of Peleg and Page modified, utilizing non-linear regression. The WL was not affected significantly by the kind of solution employed, however, the temperature did significantly affect the parameters ($p < 0.05$). The SG was significantly influenced by solutions and temperature ($p < 0.05$). The experimental data for the WL was adequately adjusted to the Peleg and Page modified models, obtaining coefficients of determination (R^2) superior to 0.98, and mean relative deviation (E) inferior to 6.5% in all treatments.

Keyword: osmotic dehydration; Peleg's model; Page's model; banana

1. INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica (DO) é um método de conservação que, além de aumentar a validade comercial dos frutos, preserva suas características nutricionais, funcionais e sensoriais (ALMEIDA et al., 2014; SILVA et al., 2014). Esta técnica consiste em colocar a fruta, inteira ou em pedaços, imersa em uma solução hipertônica, com a finalidade de induzir a transferência de massa entre a fruta e a solução, gerando um fluxo de água e de sólidos solúveis presentes na fruta para a solução, bem como um outro fluxo de sólidos solúveis proveniente da solução para o alimento (NIETO et al., 2013; YADAV; SINGH, 2014).

A transferência de massa verificada durante o processo osmótico pode ser influenciada por diversos fatores, além do tipo e concentração do soluto, como a temperatura e agitação da solução osmótica, proporção fruta/solução, além da forma e tamanho do fruto (OSORIO et al., 2007; CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2011; GANJLOO et al., 2012; NIETO et al., 2013). Além disso, a massa molecular do agente osmótico é um dos fatores que interferem diretamente na transferência de massa durante a desidratação osmótica. Solutos com alto peso molecular encontram maior dificuldade para penetrar na célula quando comparados com solutos de baixo peso molecular (MATUSEK et al., 2008; PHISUT, 2012; BROCHIER et al., 2015).

O uso de solutos alternativos, como fruto-oligossacarídeo (MATUSEK et al., 2008; JACOB & PALIYATH, 2012), xarope de milho (BARBOSA JÚNIOR et al., 2013), oligofrutose, isomaltose e stévia (RUBIO-ARRAEZ et al., 2015), glicerol, maltodextrina, polidextrose e sorbitol (BROCHIER et al., 2015) tem sido amplamente difundido em substituição à sacarose e outros açúcares que normalmente são empregados na DO, principalmente, por proporcionar algum benefício ao consumidor, ou que, por suas características físico-químicas, acarretem uma menor impregnação. Além do mais, o uso de misturas de solutos também é apontado como alternativa, pois permite a redução do ganho de sólidos, aliada a um aumento na perda de água. Desta forma, alguns estudos têm utilizado soluções com dois ou mais solutos (RUBIO-ARRAEZ et al., 2015). No entanto, a maioria se limita à utilização de sacarose, NaCl e xaropes de glicose (TONON et al., 2006, 2007; ANTONIO et al., 2008; MERCALI et al., 2010; MERCALI et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2012; BARBOSA JÚNIOR et al., 2013). Contudo, o uso de xaropes com variados teores de carboidratos, como os fruto-oligossacarídeos (FOS) ainda é bastante incipiente e necessita de mais estudos para avaliar o seu comportamento frente à transferência de massa durante a desidratação osmótica.

As características estruturais dos tecidos das frutas, como permeabilidade da membrana plasmática, porosidade da parede celular e intracelular, apresentam influência no transporte de massa, principalmente quanto à incorporação de sólidos. No entanto, as alterações na estrutura celular durante o processamento e a grande variedade de tecidos encontrados nos diferentes vegetais, que são submetidos a este processo, resultarão também, em comportamentos distintos, frente ao ganho de sólido e à perda de água (LE MAGUER et al., 2003; MERCALI et al., 2010; MAURO et al., 2015).

Desse modo, diante das inúmeras variáveis que exercem influência sobre os mecanismos de transferência de massa que coexistem durante a DO de frutas e olerícolas, torna-se difícil a elaboração e aplicação de modelos onde todos os fatores que influenciam o processo sejam considerados. Por isso, os modelos empíricos são largamente empregados na predição da cinética de DO, sobretudo, para geometrias não-

clássicas, que são as mais usuais neste processo (BARBOSA JÚNIOR et al., 2013; ASSIS et al., 2015).

Embora a cinética do processo de desidratação osmótica tenha sido exaustivamente avaliada para diversas frutas, como a banana, boa parte destes estudos utilizaram sacarose como agente desidratante e nenhum estudo utilizando FOS como agente osmótico durante a transferência de massa em bananas desidratadas está disponível. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a cinética de transferência de massa na desidratação osmótica de banana, utilizando diferentes solutos (xarope de milho, fruto-oligossacarídeo e a combinação de ambos), sob diferentes temperaturas e fazer o ajuste dos modelos matemático de Peleg, Page modificado e Barbosa Júnior et al.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo das Amostras

Foram utilizadas bananas da variedade prata (*Musa sapientum*, shum), adquiridas no mercado local (Seropédica, RJ, Brasil) e selecionadas conforme o grau de maturação, determinado por meio do teor de sólidos solúveis e pela cor da casca, de acordo com a escala de Von Loesecke (1949), que descreve os estádios de maturação. Para a padronização das amostras, apenas as que apresentaram sólidos solúveis entre 15 e 20 °Brix foram utilizadas nos experimentos. As amostras foram higienizadas, descascadas e cortadas em cubos (10 mm de aresta).

2.2 Processo Osmótico

Cada porção de amostra (± 4 cubos) foi colocada em diferentes frascos de vidro contendo a solução, sendo em seguida, hermeticamente fechados, para evitar a evaporação da água durante os tratamentos. Os frascos foram colocados em um *Shaker*, com temperatura e agitação controlados e submetidos ao processo osmótico durante um determinado período (30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos) nas diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C). As soluções osmóticas utilizadas apresentaram as mesmas atividades de água ($a_w = 0,88$) (68 g de FOS desidratado por 100 g de solução; 66 g de xarope de milho desidratado por 100 g de solução; e 35 g de FOS:35 g de xarope de milho por 100 g de solução), numa proporção de 1:5 (g de fruta: g de solução) e agitação de 80 rpm.

As diferentes concentrações foram escolhidas a fim de se obter atividade de água semelhante para cada solução utilizada. Após o período determinado, as amostras foram lavadas com 25 mL de água destilada e em seguida drenadas para remover o excesso de solução desidratante de sua superfície. Por fim, foram cuidadosamente secas em papel absorvente para remover o excesso de umidade superficial e em seguida foram pesadas conforme descrito no item 2.3. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.3 Cinética da Desidratação Osmótica

Após a drenagem dos cubos, os mesmos foram pesados e os teores de umidade dos cubos e da fruta *in natura* foram determinados pelo método gravimétrico (AOAC 1990). Os dados obtidos foram utilizados para calcular a transferência de massa em

termos de perda de água (PA) e o ganho de sólidos (GS). Todas as determinações foram realizadas em triplicatas. Os valores de PA e GS foram calculados conforme as Equações 1 e 2, respectivamente:

$$PA (\%) = 100 \times \frac{m_0 x_0 - m_t x_t}{m_0} \quad (1)$$

$$GS (\%) = 100 \times \frac{ms_t - ms_0}{m_0} \quad (2)$$

Em que m_0 é a massa inicial da amostra (g); m_t é a massa da amostra (g) no instante t (30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos); x_0 é a umidade inicial da amostra; x_t é a umidade da amostra no instante t ; ms_t é a massa de matéria seca (g) no instante t ; e ms_0 é a massa inicial de matéria seca da amostra (g).

2.4. Modelagem Matemática

Os dados relativos aos parâmetros de transferência de massa obtidos experimentalmente foram ajustados ao modelo proposto por Peleg, modificado por BARBOSA JÚNIOR et al. 2013 e, ao modelo de Page, modificado por ELER et al., 2009.

2.4.1 Modelo de Peleg

Peleg propôs dois parâmetros para descrever a cinética de sorção de umidade que se aproxima do equilíbrio osmótico (Equação 3):

$$m_t^i = m_0^i \pm \frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \quad (3)$$

Em que m^i é a quantidade de sólidos (gramas) ($i = s$) ou água ($i = w$) no tempo t (m_t^i) ou no início do processo (m_0^i). k_1^i e k_2^i são parâmetros do modelo de Peleg. Na equação (3) ‘±’ se torna ‘+’ se o processo é impregnação e ‘-’ se o processo é a desidratação. Considerando:

$$m_i^w = m_i \times x_t \quad (4a)$$

$$m_i^s = m_i \times (1 - x_t) \quad (4b)$$

Substituindo as equações (4a) e (4b) nas equações (1) e (2), respectivamente, e relacionando com a equação (3), o modelo de Peleg pode ser reescrito para descrever PA e GS, conforme a Equação 5:

$$x(t) = \frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \quad (5)$$

Quando $t \rightarrow \infty$, o valor de k_2^i fornece $x(t)$ no equilíbrio (x_{eq}), conforme a Equação 6:

$$x_{eq} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \right) = \frac{1}{k_2^i} \quad (6)$$

Quando $t = 0$, o valor da constante de Peleg (k_1^i) está relacionado com as taxas de perda de água e ganho de sólidos, de acordo com a Equação 7:

$$\left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{k_1^i} \quad (7)$$

Dessa forma, é possível sugerir uma relação entre as taxas de desidratação/impregnação e a força motriz do processo. O tempo para se obter reduções na taxa de desidratação/impregnação ($t_{1/n}^i$) pode ser definido por:

$$\left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=t_{1/n}^i} = \frac{1}{n} \left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=0} \quad (8)$$

Neste caso, se o início do processo é $n = 1$, e se $n=2$ é a taxa de “meia vida” ($t_{1/2}^i$), isto é, o tempo necessário para a redução da metade da taxa inicial de desidratação/impregnação. E, por fim, o processo estará em equilíbrio quando $t \rightarrow \infty$.

Sendo assim, substituído a equação (5-7) na equação (8), tem-se :

$$t_{1/n}^i = \frac{k_1^i}{k_2^i} (\sqrt[n]{n} - 1) \quad (9)$$

Logo, $t_{1/n}$ representa a relação entre x_{eq} e a taxa inicial.

2.4.2 Modelo de Page Modificado

Originalmente o modelo de Page apresenta as umidades com base na massa de sólidos secos da amostra original (Equação 10):

$$Y_s(t) = Y_{se} + (Y_{so} - Y_{se})e^{-kt^n} \quad (10)$$

Em que, $Y_s(t)$ é a umidade da amostra no instante t , Y_{se} é a umidade da amostra no equilíbrio, Y_{so} é a umidade inicial da amostra, t é o tempo e k e n são os parâmetros do modelo de Page.

A umidade da amostra (inicial, de equilíbrio ou no instante t), é definida conforme a equação (11):

$$Y_s = \frac{m_{H_2O}}{m_{SS_i}} \quad (11)$$

Onde, m_{H_2O} é a massa de água da amostra e m_{SS_i} é a massa de sólido seco inicial.

Rearranjando a equação (10) tem-se:

$$(Y_{so} - Y_s(t)) = (Y_{so} - Y_{se}) - (Y_{so} - Y_{se})e^{-kt^n} \quad (12)$$

Multiplicando a equação (12) por m_{SS_i} e dividindo por m_{H_2O} , obtemos a equação (13):

$$PA(t) = PA_{\infty}(1 - e^{-kt^n}) \quad (13)$$

Em que k e n são os parâmetros do modelo de Page para a perda de água. PA_{∞} é a perda de água no equilíbrio ($t \rightarrow \infty$).

2.6 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para identificar os efeitos significativos ($p < 0,05$) dos parâmetros do processo. Usou-se a regressão não-linear para avaliar a adequação da equação de Peleg e Page modificado para cada condição estudada, usando o programa STATISTICA 7.0. A adequação do modelo entre os dados experimentais e os preditos foi verificada com base no coeficiente de determinação (R^2) e no desvio relativo médio (E), calculado como se segue:

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{exp} - V_{pre}|}{V_{exp}} \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética da Transferência de Massa

Os dados experimentais da cinética de perda de água obtidos na desidratação osmótica de bananas em soluções de xarope de milho (XM), fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX) em diferentes temperaturas são apresentados nas Figuras 1 e 2. Os diferentes agentes osmóticos utilizados não afetaram significativamente ($p > 0,05$) a cinética de perda de água (Figura 1). Embora seja reconhecido que a natureza físico-química dos solutos desempenhe papel fundamental na transferência de massa durante o processo osmótico, no presente estudo, as concentrações empregadas dos solutos conferiram às soluções osmóticas as mesmas atividades de água, além do fato dos solutos empregados possuírem propriedades químicas e físicas semelhantes, como alto peso molecular e composição de carboidratos, o que conferiu às soluções viscosidades semelhantes. Desta forma, tanto o potencial (atividade de água) quanto a resistência externa (viscosidade) à transferência de massa não tiveram efeito do tipo de soluto empregado.

Alguns estudos que utilizaram solutos de alto peso molecular observaram uma tendência à redução da perda de água, como o reportado por EL-AOUAR et al. (2006), que avaliaram a influência da sacarose e o xarope de milho como agentes osmóticos no processo de desidratação de mamão e verificaram que as amostras desidratadas em xarope de milho apresentaram PA menor que do que as desidratadas em solução de sacarose. Resultado semelhante foi observado por MATUSEK et al. (2008), que desidrataram maçãs em diferentes temperaturas e avaliaram o uso da sacarose e fruto-oligossacarídeo como agentes desidratantes. Os autores observaram que as amostras desidratadas em solução de sacarose também apresentaram uma maior PA do que as desidratadas em solução de fruto-oligossacarídeo.

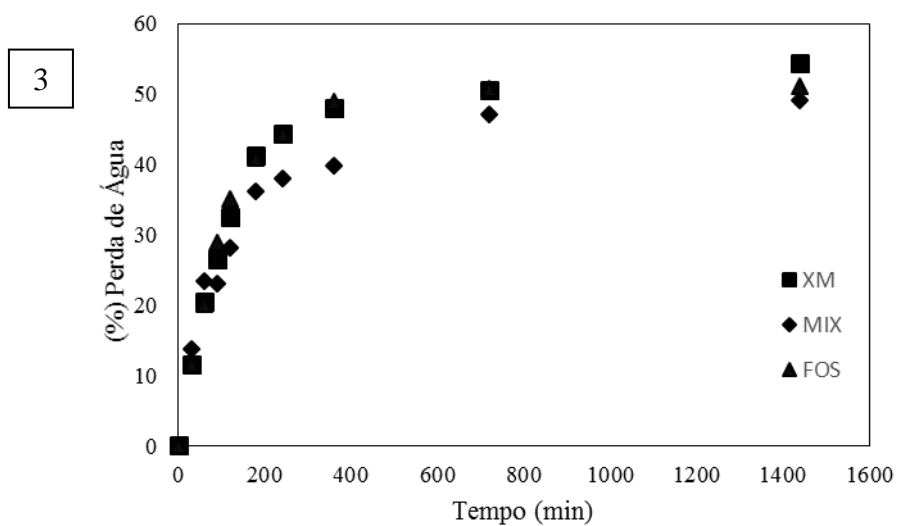
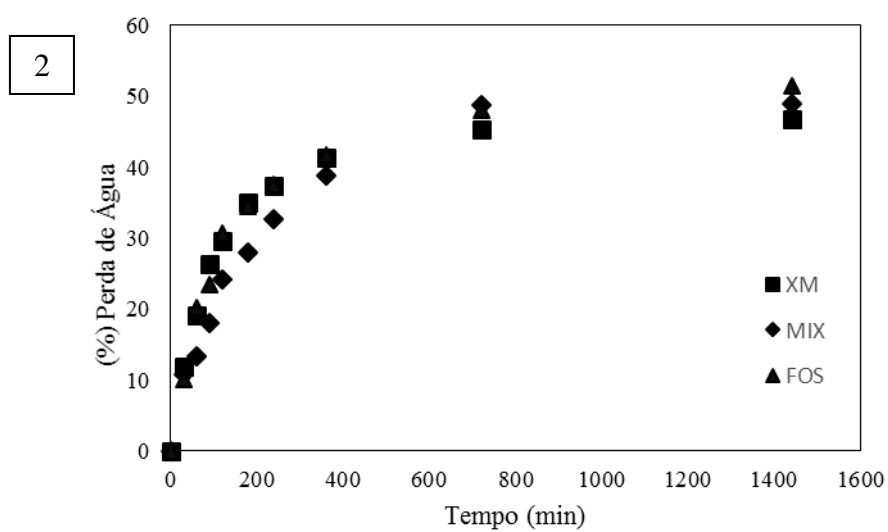
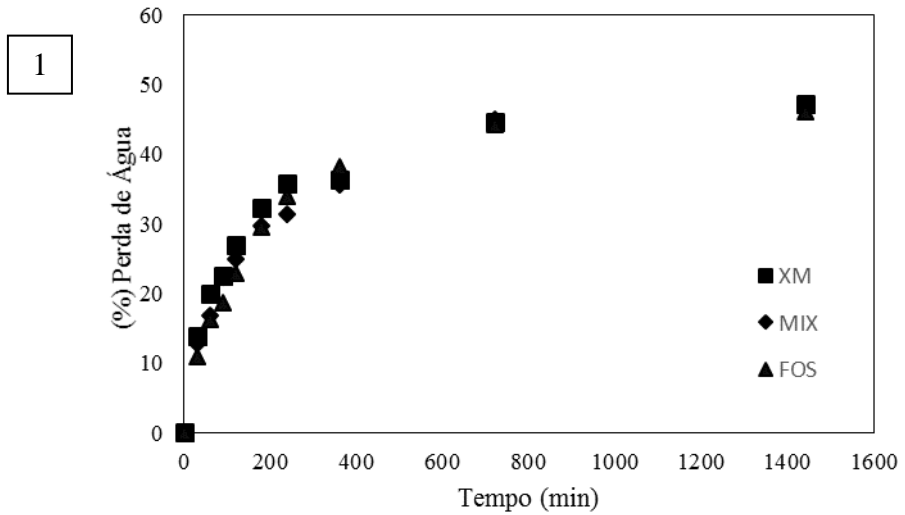
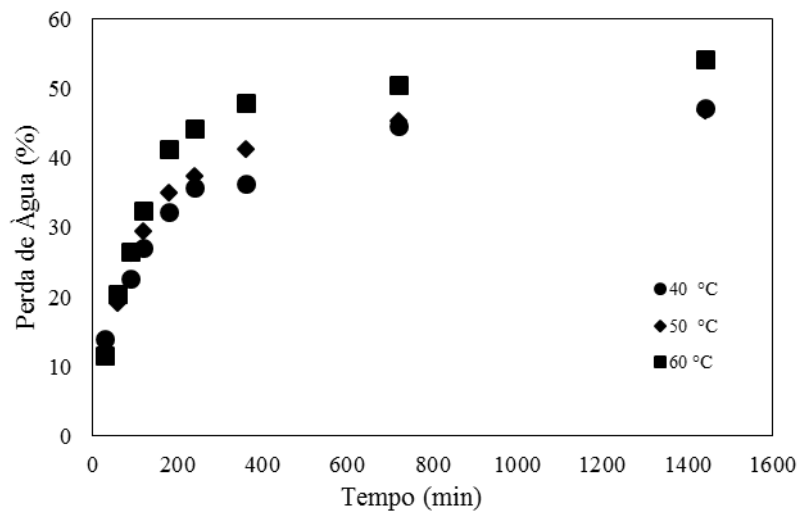
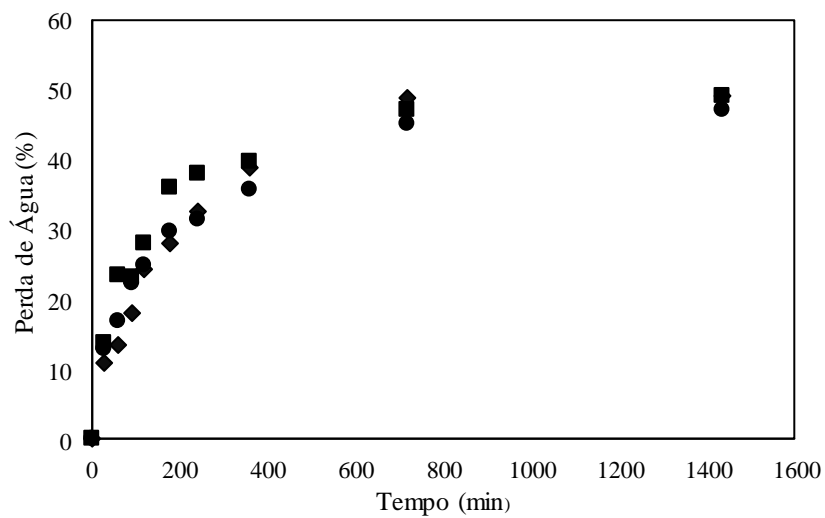


Figura 1 - Cinética de perda de água (PA) nas soluções de xarope de milho (XM), fruto-oligossacarídeo (FOS) e mistura de XM e FOS (MIX), usando temperaturas de 40 °C (1), 50 °C (2) e 60 °C (3).

1



2



3

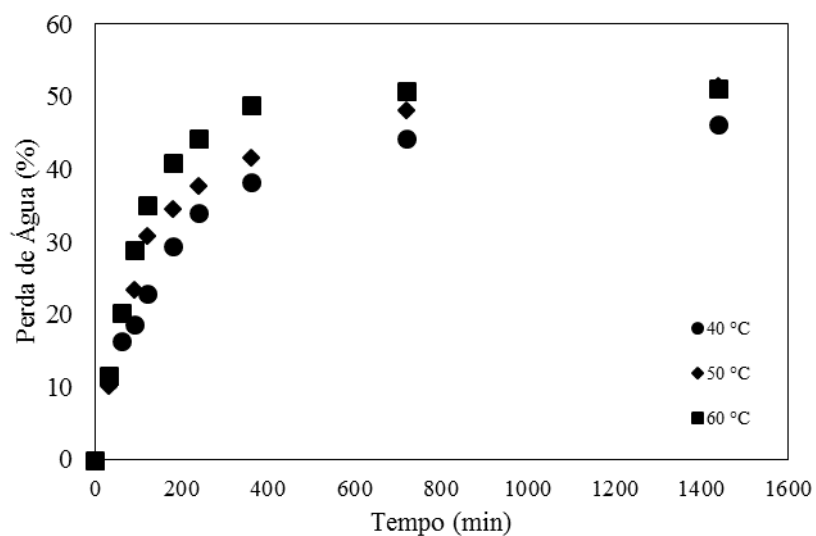


Figura 2 - Cinética de perda de água (PA) em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C), usando soluções e xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligosacarídeo (2) e fruto-oligosacarídeo (3).

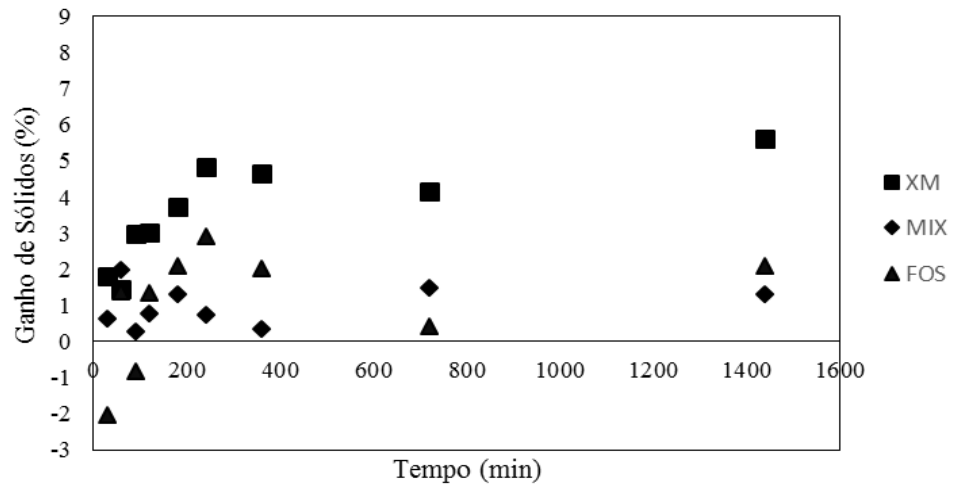
Por outro lado, verificou-se que a temperatura afetou de forma significativa ($p < 0,05$) a cinética de desidratação para a PA, cujos valores aumentaram gradativamente com o aumento da temperatura (Figura 2). A variação da temperatura pode ocasionar mudanças na membrana celular, que alteram a permeabilidade. Além disso, a temperatura reduz a viscosidade da solução osmótica e aumenta a sua fluidez, diminuindo a resistência externa e favorecendo uma maior transferência de água entre a fruta e a solução. Vários autores reportaram uma maior perda de água com o aumento da temperatura (MATUSEK et al., 2008; MERCALI et al., 2010; GANJLOO et al., 2012; BARBOSA JÚNIOR et al., 2013; KOPROVICA, et al., 2014; GARCÍA-TOLEDO et al., 2016).

A cinética do ganho de sólidos (GS) foi influenciada pelo tipo de solução e temperatura, uma vez que a análise de variância mostrou que há diferença significativa ($p < 0,05$). Embora os valores de GS sólidos tenham sido baixos ($< 8\%$), as amostras desidratadas com a solução que combinou os dois solutos (MIX) apresentaram os menores valores de GS (Figura 3). Os solutos utilizados possuem características semelhantes quanto ao alto peso molecular e solução com alta viscosidade. Adicionalmente, o xarope de milho é composto por carboidratos como dextrose, maltose e outros açúcares, enquanto que o FOS é constituído de 1-cetose, nistose e 1- β -frutofuronosil nistose e a mistura destes solutos com um perfil de carboidrato diversificado conferiu uma certa aleatoriedade em relação ao tamanho das moléculas em solução, o que causou uma grande variação nos valores de GS, aliada a uma menor impregnação nos frutos e tendência ao equilíbrio quando comparado a perda de água (PA). ALMEIDA et al. (2014), ao desidratarem bananas osmoticamente em solução de sacarose, observaram uma tendência do GS se estabilizar após 60 minutos de processo, devido à obstrução dos espaços intercelulares disponíveis para a transferência de massa. Além disto, altas concentrações de açúcar formam uma camada na superfície do tecido da fruta e atuam como uma barreira para a saída de água e incorporação de sólidos (AZOUBEL & MURR, 2000; SANGEETA & HATHAN 2013). Resultados semelhantes foram observados em melões por (FERRARI et al., 2011) e em goiabas (VIEIRA et al., 2012).

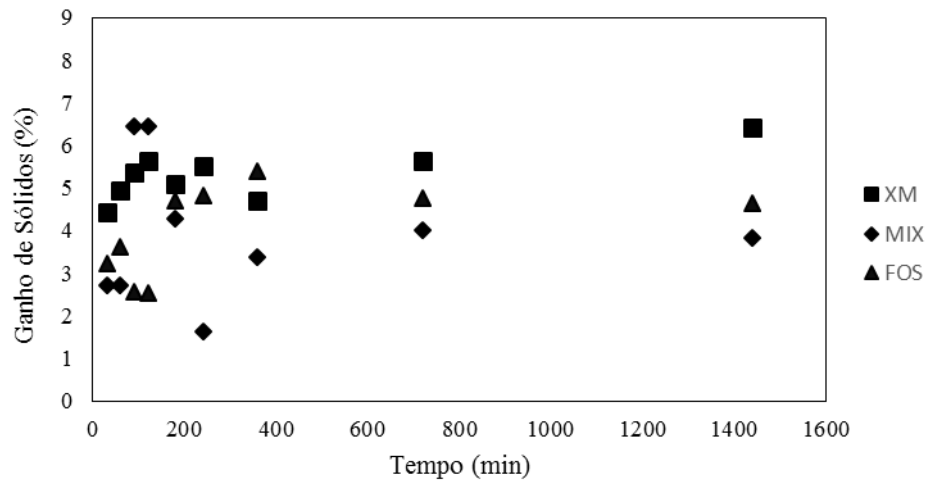
MATUSEK et al. (2008), ao compararem a sacarose e o fruto-oligossacarídeo na desidratação de maçãs, observaram que, quanto mais elevada a massa molecular do soluto, menor foi o ganho de sólidos. O mesmo comportamento em relação ao baixa incorporação de sólidos foi observado quando foram utilizados em outros estudos solutos de alto peso molecular, como sorbitol e polidextroses (BROCHIER et al. 2015) e maltodextrina e NaCl (CORRÊA et al. 2016).

Alta impregnação de sólidos não é desejável, visto que acarreta alterações das características nutricionais e sensoriais das frutas. Por conseguinte, o uso de solutos que tenham uma impregnação menor é desejável, pois mantém as características nutricionais e naturais das frutas. LENART (1996) e TREGUNNO & GOFF (1996) reportaram que um teor menor de GS no processo de desidratação osmótica acarreta em um melhor resultado em termos de cor, textura e sabor do produto final, pois esses se mantêm semelhantes aos da fruta *in natura*.

1



2



3

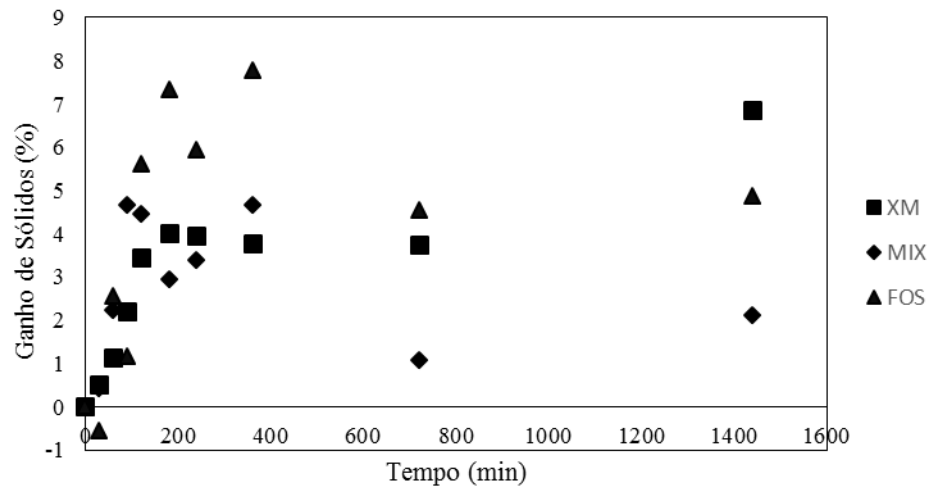


Figura 3 - Cinética de ganho de sólidos (GS) nas soluções de xarope de milho (XM), fruto-oligosacarídeo (FOS) e mistura de XM e FOS (MIX), usando temperaturas de 40 °C (1), 50 °C (2) e 60 °C (3)

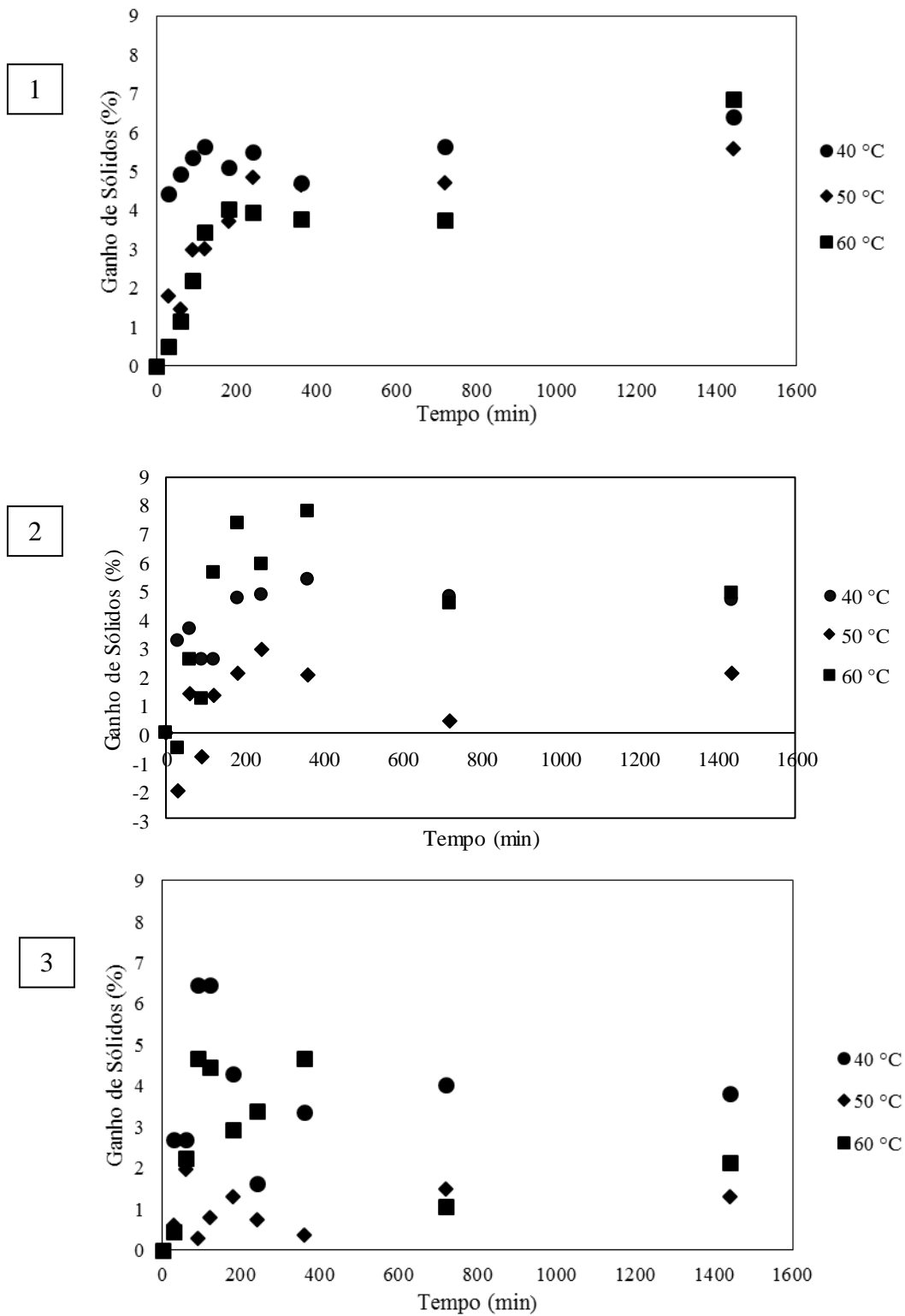


Figura 4 - Cinética de ganho de sólidos (GS) em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C), usando soluções de xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo (2) e fruto-oligossacarídeo (3).

3.2. Modelos Matemáticos

Os parâmetros de transferência de massa de acordo com os modelos de Peleg e de Barbosa Junior et al. para o tempo de n-reduções das taxas de desidratação são mostrados na Tabelas 1. Na Figura 5, são apresentados as curvas obtidas experimentalmente e a simulação do modelo de Peleg e Page Modificado. Os valores de k_1 representam a taxa de transferência de massa de água inicial e variaram de 1,52 a 3,07 mg de água por gramas de amostra por minuto para a desidratação entre todos os tratamentos. As variáveis do processo afetaram diretamente este parâmetro, justificando os baixos valores de k_1 encontrado neste estudo, pois foram utilizados solutos de alto peso molecular em altas concentrações. Além disto, com o aumento da temperatura foi possível observar uma redução de k_1 , indicando um aumento da taxa inicial da transferência de massa. Resultados semelhantes foram encontrados por GANJLOO et al. (2012), KHOYI & HESARI (2007) e SUTAR & GUPTA (2007) durante a desidratação osmótica de goiaba, damasco e cebola, respectivamente. O parâmetro k_2 está relacionado ao valor da perda de água no equilíbrio, que para o processo osmótico ocorre quando as atividades de água da fruta e da solução osmótica são iguais. Os valores de k_2 variaram entre 0,017 a 0,020 entre todos os tratamentos utilizados. Resultados similares para k_1 e k_2 foram reportados por KOPRIVICA et al. (2014), durante a desidratação de cubos de maçã em soluções de sacarose.

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos da transferência de massa para a perda de água (PA) obtidos usando o modelo de Peleg e Barbosa Júnior e valores de perda de água no equilíbrio obtidos experimentalmente (PA_∞) nas diferentes condições avaliadas

Condições	Parâmetros Estimados para o modelo de Peleg e Barbosa Júnior et al.					Parâmetros Estatísticos	
	Solução	T (°C)	PA_∞	k_2	k_1	$t_{1/3}$ (min)	R ²
Xarope	40	0,472	0,020±0,001	1,942±0,132	70,0	0,991	4,6
Xarope	50	0,469	0,020±0,000	1,748±0,067	64,7	0,997	2,9
Xarope	60	0,543	0,017±0,001	1,693±0,130	73,8	0,989	6,1
FOS	40	0,461	0,019±0,001	2,658±0,176	100,2	0,989	4,8
FOS	50	0,515	0,018±0,001	2,014±0,207	81,5	0,990	3,9
FOS	60	0,511	0,017±0,001	1,525±0,137	64,5	0,988	7,9
MIX	40	0,471	0,020±0,000	2,414±0,138	88,9	0,994	5,1
MIX	50	0,490	0,017±0,000	3,077±0,091	128,6	0,983	6,5
MIX	60	0,491	0,019±0,001	1,750±0,152	66,7	0,99	4,5

T, temperatura (°C); PA_∞ perda de água no equilíbrio obtida experimentalmente após 1440 min de processo, em g de água por grama de amostra; k_1 e k_2 parâmetros do modelo de Peleg para perda de água; R², coeficiente de determinação; E, desvio relativo médio

Os parâmetros para o modelo de Page modificado, calculados nas diferentes condições experimentais, são apresentados na Tabela 2. Para PA o parâmetro k aumentou com o aumento da temperatura de processo, e o parâmetro n apresentou um comportamento inverso, porém isto só foi observado para os tratamentos em que o xarope de milho foi empregado como soluto na DO. No entanto, nos demais

tratamentos, os parâmetros k e n não apresentaram nenhuma tendência em relação a temperatura. GANJLOO et al. (2011), ANTÔNIO, et al. (2008) e AZOUBEL et al. (2004) observaram respostas similares para PA usando o modelo de Page, onde não observaram nenhuma tendência dos parâmetros com a variação da temperatura, ao desidratarem goiaba, batata-doce e tomate, respectivamente.

Tabela 2 - Parâmetros cinéticos da transferência de massa para a perda de água (PA) obtidos usando o modelo de Page modificado e valores de perda de água no equilíbrio obtidos experimentalmente (PA_{∞}) nas diferentes condições avaliadas

Condições		Parâmetros Estimados para o modelo de Page modificado			Parâmetros Estatísticos	
Solução	T (°C)	PA_{∞}	k (min ⁻ⁿ)	n	R^2	E%
Xarope	40	0,472	0,039	0,643	0,991	2,683
Xarope	50	0,469	0,022	0,793	0,997	2,921
Xarope	60	0,543	0,012	0,901	0,989	2,847
FOS	40	0,461	0,015	0,809	0,992	3,433
FOS	50	0,515	0,022	0,749	0,99	5,410
FOS	60	0,511	0,008	1,011	0,988	1,876
MIX	40	0,471	0,030	0,669	0,994	3,356
MIX	50	0,49	0,010	0,859	0,983	5,659
MIX	60	0,491	0,035	0,679	0,99	4,885

T, temperatura (°C); PA_{∞} perda de água no equilíbrio obtida experimentalmente após 1440 min de processo, em g de água por grama de amostra; k e n parâmetros do modelo de Page para perda de água; R^2 , coeficiente de determinação; E, desvio relativo médio

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida estatística que indica o quanto o modelo proposto aproxima dos dados experimentais e o desvio relativo médio (E), permite uma comparação entre uma estimativa e um valor experimental e contribui para determinar da qualidade do ajuste. Quanto menor este parâmetro estatístico, pode-se afirmar que maior é a proximidade do modelo e do valor obtido experimentalmente. Alguns autores sugerem que valores de E inferiores a 10% indicam que o ajuste do modelo é aceitável (BOQUET et al. 1978; KAYMAK-ERTEKIN & GEDIK, 2005; DENG et al. 2007; DENG & ZHAO 2008; GANJLOO et al. 2012). Nas Tabelas 1 e 2, pode-se observar que tanto os modelos de Peleg, quanto o modelo de Page modificado foram capazes de prever satisfatoriamente os dados experimentais para a PA no tratamentos osmótico de bananas em cubo em todos os tratamentos utilizados. Os modelos, em todos os tratamentos, apresentaram altos valores de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$ a $0,99$) e E inferior a 10% (Tabela 1 e 2).

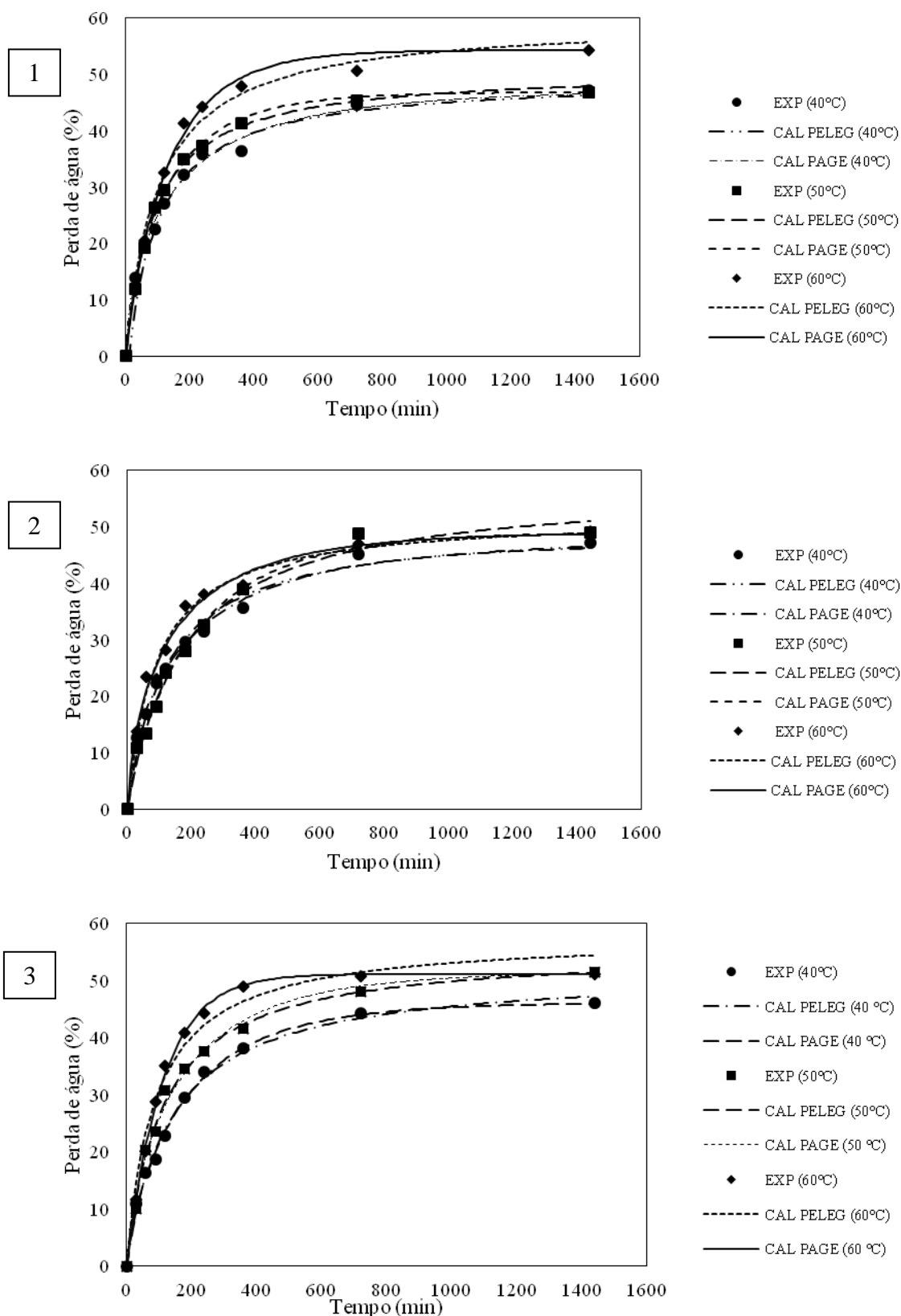


Figura 5 - Cinética de Perda de Água (PA) obtida experimentalmente utilizando os solutos xarope de milho (1), mistura de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo (2) fruto-oligossacarídeo (3), nas diferentes temperaturas e a simulação dos modelos de Peleg e Page Modificado.

Além do R^2 e E, a análise de dispersão dos resíduos é outro parâmetro que pode ser utilizado para estimar a confiabilidade de um modelo estudado. De acordo com DIONELLO et al. (2009), se os resíduos apresentarem erros aleatórios na medição das variáveis envolvidas, os modelos podem ser considerados satisfatórios na predição dos dados experimentais.

A dispersão dos resíduos em função dos valores estimados de PA referentes aos modelos de Peleg e Page Modificado, são apresentados nas Figuras 7 e 8, respectivamente. Em ambos os modelos, a dispersão dos resíduos se apresentaram de forma aleatória, indicando que o modelo não é tendencioso e, conseqüentemente, não houve influência de eventuais variáveis não controladas durante o processo. Desta forma, pode-se considerar que os modelos estudados podem ser utilizados para prever a perda de água na desidratação osmótica de banana, utilizando os solutos fruto-oligossacarídeo e xarope de milho, nas diferentes temperaturas avaliadas durante o processo.

Observando ainda a Tabelas 1, os tempos necessários para se reduzir a taxa de desidratação ou impregnanção a um terço de seus valores originais ($t_{(1/3)}$) variaram entre 64 e 128 min para PA. Conforme proposto por BARBOSA JÚNIOR et al. (2013), esse parâmetro pode ser utilizado na definição do tempo ideal de processamento. CORRÊA et al. (2016), também utilizaram este modelo para a definição do tempo de processo na desidratações osmótica de tomates.

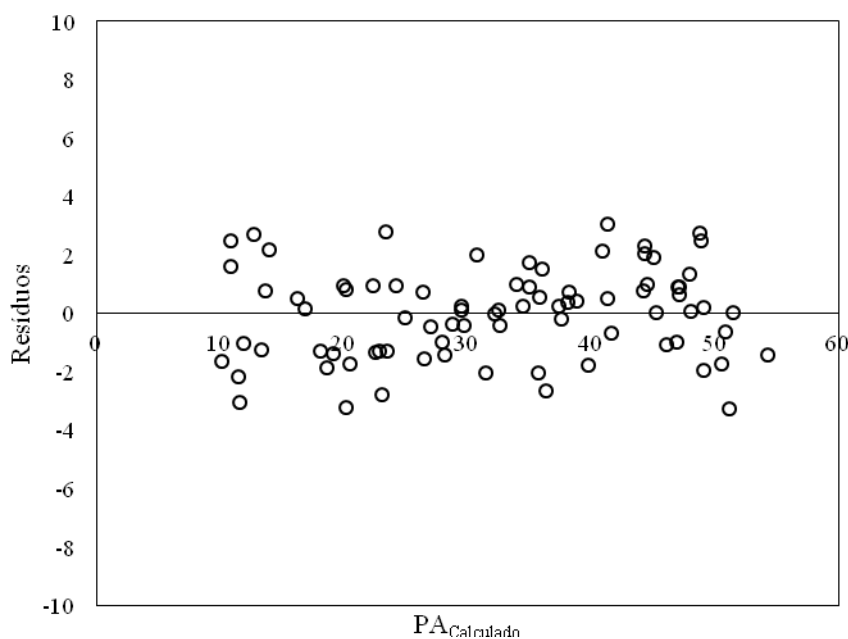


Figura 6 - Dispersão dos resíduos obtidos a partir da utilização do modelo de Peleg, na estimativa dos valores de perda de água (PA) durante a desidratação osmótica de banana em soluções contendo xarope de milho e fruto-oligossacarídeo em diferentes temperaturas

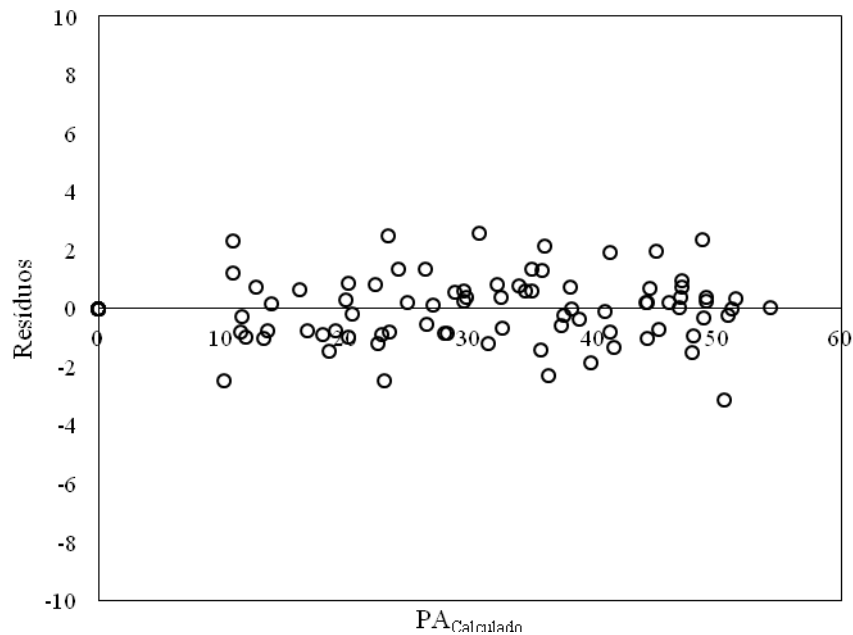


Figura 7 - Dispersão dos resíduos obtidos a partir da utilização do modelo de Page Modificado, na estimativa dos valores de perda de água (PA) durante a desidratação osmótica de banana contendo soluções de xarope de milho e fruto-oligossacarídeo em diferentes temperaturas

4. CONCLUSÃO

O uso de fruto-oligossacarídeo e xarope de milho se apresentou como uma boa alternativa de solutos, pois possibilitou obter uma elevada perda de água aliada a um baixo ganho de sólidos. A temperatura teve influência significativa no aumento da perda de água. O GS foi afetado pela temperatura e solução utilizadas. O modelo de Peleg e Page modificado descreveram adequadamente a PA, neste caso podem ser utilizado para a predição da PA de cubos de banana desidratados osmoticamente em soluções contendo xarope de milho e fruto-oligossacarídeo. O modelo do tempo de n-redução da taxa de desidratação é uma boa alternativa na definição do tempo de processamento das amostras submetidas à desidratação osmótica, uma vez que a definição do tempo ideal de processo é muito complexo e pouco elucidado, e muitos fatores devem ser levados em consideração, como os parâmetros do processo até a qualidade final dos produtos desidratados osmoticamente.

5. REFERÊNCIAS

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W.; BAKER, K. W. New dimensions in microstructure of food products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 3–9, 2000.

ALMEIDA, J. A. R.; MUSSI, L. P.; OLIVEIRA, D. B.; PEREIRA, N. R. effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. , p. 1–9, 2014.

ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; ELIZABETH, F.; MURR, X.; PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696–701, 2008.

AOAC. Official Methods of Analysis, 13^o ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1980.

ASSIS, F. R.; MORAIS, R. M. S. C.; MORAIS, A. M. M. B. Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison Between Mathematical Models. **Food Engineering Reviews**, 2015.

AZOUBEL, P. M.; ELIZABETH, F.; MURR, X. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon Esculentum* Var. *Cerasiforme*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 2000.

AZOUBEL, P. M.; ELIZABETH, F.; MURR, X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291–295, 2004.

BARBOSA JÚNIOR, J. L.; CORDEIRO MANCINI, M.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 2463–2473, 2013.

BROCHIER, B.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z. Use of Different Kinds of Solutes Alternative to Sucrose in Osmotic Dehydration of Yacon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, n. 1, p. 34–40, 2015.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M.; TYLEWICZ, U.; FITO, P. J.; DALLA ROSA, M.; FITO, P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 599–608, 2011.

CORRÊA, J.L.G.; ERNESTO, D.B.; MENDONÇA, K.S. Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. **LWT - Food Science and Technology**, v. 71, p. 17–24, 2016.

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

DIONELLO, R. G., BERBERT, P. A., MOLINA, M. A. B., PEREIRA, R. C., VIANA, A. P., CARLESSO, V.O. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.1, p. 232-240, 2009.

EL-AOUAR, Â. A.; AZOUBEL, P. M.; BARBOSA, J. L.; XIDIEH MURR, F. E. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 267–274, 2006.

ELER, F. M.; SALVATO, A. M.; MANCINI, M. C. Estudo da desidratação osmótica de fatias de maçã verde. *In*: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 14, 2009. Campinas, São Paulo.

FERRARI, C. C.; YASSUI, P. Y.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Propriedades mecânicas e estrutura celular de melão Desidratado osmoticamente

em soluções de sacarose ou Maltose, com adição de lactato de cálcio. **Ciência Agrotecnica**, v. 35, n. 4, p. 765–773, 2011.

GANJLOO, A.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J.; OSMAN, A.; BIMAKR, M. Mathematical modelling of mass transfer during osmotic dehydration of seedless guava (*Pisidium guajava L.*) cubes. **International Food Research Journal**, v. 18, p. 1105–1110, 2011.

GANJLOO, A.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J.; OSMAN, A.; BIMAKR, M. Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (*Psidium guajava L.*): Effect of Process Parameters. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 2151–2159, 2012.

GARCÍA-TOLEDO, J. A.; RUIZ-LÓPEZ, I. I.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; et al. Effect of osmotic dehydration on the physical and chemical properties of Mexican ginger (*Zingiber officinale* var. Grand Cayman). **CyTA - Journal of Food**, v. 14, n. 1, p. 27–34, 2016.

JACOB, J. K.; PALIYATH, G. Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 93–102, 2012.

KAYMAK-ERTEKIN F., GEDIK A. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage. **Journal of Food Engineering**, v.68, p. 443–453, 2005.

KHOYI, M. R., & HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1355–1360, 2007. SUTAR, P. P., & GUPTA, D. K. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 90–97, 2007.

KOPROVICA, G.; MIŠLJENOVIC, N.; BERA, O; LEVIC, L. Modeling of water loss during omotic dehydration of apple cubes in sugar beet molasses. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 1592–1598, 2014.

LE MAGUER, M.; SHI, J.; FERNANDEZ, C.; SCIENCE, F. Mass Transfer Behavior of Plant Tissues. **food science technology international**, v. 9, p. 187–192, 2003.

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

MATUSEK, A.; CZUKOR, B.; MERÉSZ, P. Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p. 365–373, 2008.

MAURO, M. A.; DELLAROSA, N.; TYLEWICZ, U.; et al. Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. **Food Chemistry**, v. 195, p. 19–28, 2015.

MEBATSION, H. K.; VERBOVEN, P.; VERLINDEN, B. E.; et al. Microscale modelling of fruit tissue using Voronoi tessellations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 52, n. 1-2, p. 36–48, 2006.

MERCALI, G. D.; TESSARO, I. C.; NOREN, C. P. Z. Original article Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.).

International Journal of Food Science & Technology, , p. 2281–2289, 2010.

NIETO, A. B.; VICENTE, S.; HODARA, K.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Osmotic dehydration of apple : Influence of sugar and water activity on tissue structure , rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 104–114, 2013.

OSORIO, C.; SOFÍA, M.; PAOLA, M.; et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 353–359, 2007.

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

PHISUT, N. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 7–18, 2012.

RUBIO-ARRAEZ, S.; CAPELLA, J. V.; ORTOLÁ, M. D.; CASTELLÓ, M. L. Modelling osmotic dehydration of lemon slices using new sweeteners. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 9, p. 2046–2051, 2015.

SANGEETA; HATHAN, B. S. Osmotic Dehydration Kinetics of Elephant Foot Yam Cubes (*Amorphophallus Spp.*) in Sucrose Solution. **International Journal of Food Agriculture and Food Science Technology**, v. 4, n. 5, p. 481–492, 2013.

SHUKLA, R., RENU, K., JOSHI, T. Mass transfer during osmotic dehydration of banana slices for drying process. *International Journal of Scientific and Research Publications*, p. 2250-3153, 2012.

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

SUTAR, P. P.; GUPTA, D. K. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. **Journal of Food Engineering**, v.78, p. 90–97, 2007.

TREGUNNO, N.B., GOFF, H.D., Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. **Food Resersrh International**, v. 29, p. 471–479, 1996.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da Desidratação Osmótica de Tomate em Soluções Ternárias pela Metodologia de Superfície de Resposta 1. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 715–723, 2006.

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**, v. 82, n. 4, p. 509–517, 2007.

VASCONCELOS, J. L. L. A. .; ANDRADE, S. A. C. .; MACIEL, M. I. S. .; GUERRA, N. B. .; VASCONCELOS, M. A. S. . Osmotic dehydration of the Indian fig (*Opuntia ficus indica*) with binary and ternary solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 11, p. 2359–2365, 2012.

VIEIRA, G. S.; PEREIRA, L. M.; HUBINGER, M. D. Optimisation of osmotic dehydration process of guavas by response surface methodology and desirability function. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 132–

140, 2012.

VON LOESECKE, H. W. **Bananas, chemistry, physiology and technology**. New York: Interscience Publishers, 1949.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables : a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1654–1673, 2014.

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DA TEXTURA, COR E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE BANANA DESIDRATADA OSMOTICAMENTE UTILIZANDO FRUTO-OLIGOSSACARÍDEO E XAROPE DE MILHO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

EVALUATION OF TEXTURE, COLOR AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF
BANANA OSMOTICALLY DEHYDRATED USING FRUCTO-
OLIGOSACCHARIDE AND CORN SYRUP IN DIFERENT TEMPERATURES

Manuscrito em preparação para submissão ao International Food Research Journal.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade final das bananas desidratadas osmoticamente em soluções contendo fruto-oligossacarídeo e/ou xarope de milho em diferentes proporções e temperaturas. Verificou-se ainda se o uso do tempo de n-redução da taxa de desidratação conforme o modelo de Barbosa Junior et al. (2013), como tempo de processamento. A perda de água e o ganho de sólidos foram calculados para todos os tratamentos. Para avaliar a qualidade final das amostras desidratadas osmoticamente, a textura, a cor, a capacidade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais foram determinados. As médias obtidas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e tiveram as médias comparadas utilizando o teste de *Tukey* a 95% de significância. Os valores de perda de água variaram de 15,70 a 28,79% nos diferentes valores de $t_{(1/3)}$ e entre 15,75 a 30,27%, ao se utilizar a média dos tempos de redução a um terço do valor original ($t_{(1/3)}$). O processo de desidratação osmótica influenciou na qualidade final dos produtos, apresentando diferenças significativas entre a fruta *in natura* e a processada para os atributos avaliados de textura, cor e capacidade antioxidante.

Palavras chaves: capacidade antioxidante, cor, textura, desidratação osmótica

ABSTRACT

The purpose of this study was the evaluation of the final quality of bananas, osmotically dehydrated in solutions containing different concentrations of fructo-oligosaccharide and/or corn syrup, under different temperatures. It has also been evaluated the use of time of n-reduction of the dehydration rate according model of Junior Barbosa et al. (2013), as processing time. The water loss and solids gain were calculated for all treatments. To assess the final quality of the osmotically dehydrated samples, the texture, the color, the antioxidant capacity and the phenolic content were determined. The means obtained were subjected to variance analysis (ANOVA) and compared utilizing the Tukey's to a significance of 5%. The water loss values varied from 15.70 to 28.79% at different values of $t_{(1/3)}$ and between 15.75 to 30.27% when using the time mean of the reduction to one time third of the original value ($t_{(1/3)}$). The process of osmotic dehydration influenced the product's final quality, showing significant differences between the fruit's and processed state in terms of color, texture, and antioxidant capacity.

Keywords: antioxidant capacity, color, texture, osmotic dehydration

1. INTRODUÇÃO

A banana (*Musa sp.*), na forma *in natura* ou processada, é uma das frutas mais consumidas no mundo e seu mercado tem relevância econômica e social, principalmente, na região dos trópicos (SOTO, 2012). Esta fruta é uma rica fonte de carboidratos, devido às altas concentrações de açúcares e amido. Além destas substâncias, o fruto possui outros compostos que apresentam propriedades funcionais, tais como vitaminas A e C, compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides e fibras (TACO 2001; JESUS et al 2004).

A desidratação osmótica (DO) tem se apresentado como uma técnica capaz de aumentar a validade comercial, agregar valor às frutas e minimizar as perdas pós-colheitas de forma alternativa às técnicas convencionais. Este processo consiste em colocar pedaços de fruta em imersão em uma solução hipertônica em que se estabelecem, simultaneamente, a saída de água e de alguns sólidos naturalmente presentes na fruta e, em contracorrente, a incorporação pelo alimento de sólidos provenientes da solução, até que ambos estejam em equilíbrio químico entre si.

A DO permite obter produtos de umidade intermediária, com poucas alterações sensoriais, nutricionais e funcionais, cuja qualidade depende de diferentes fatores, como o tipo e concentração do agente desidratante, a temperatura, o tempo de imersão, a natureza dos produtos processados e da superfície exposta à transferência de massa (DIONELLO et al., 2009).

A incorporação de soluto é um dos principais aspectos relacionados à qualidade dos produtos processados osmoticamente. A taxa de penetração do soluto depende de sua natureza e concentração, das condições de tempo e temperatura nas quais a DO normalmente ocorre e das características do tecido biológico do material desidratado. Diferentes agentes osmóticos podem atribuir diferentes características aos produtos desidratados. Usar solutos alternativos como fruto-oligossacarídeo e xarope de milho em substituição à sacarose, que é comumente utilizada, além de fornecer menor teor calórico, acarreta em uma baixa incorporação de sólidos, possibilitando a aquisição destes produtos por um número maior de consumidores (EL-AOUAR et al., 2006; MATUSEK et al., 2008).

Embora as alterações da qualidade dos produtos submetidos ao processo osmótico tenham sido alvo de vários estudos (ATARES et al., 2011; JACOB & PALIYATH, 2012; NIETO et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014), a avaliação da capacidade antioxidante dos materiais osmoticamente desidratados é muito restrita e nenhum trabalho avaliando o efeito de soluções de FOS sobre a capacidade antioxidante de bananas desidratadas osmoticamente está disponível. Não obstante, a maioria dos trabalhos sobre DO abordam a transferência de massa durante o processo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade antioxidante, textura e cor de bananas desidratadas osmoticamente em soluções contendo FOS e/ou xarope de milho a diferentes proporções e temperaturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo das Amostras

Foram utilizadas bananas da variedade prata (*Musa sapientum, shum*), adquiridas no mercado local (Seropédica, RJ, Brasil) e selecionadas conforme o grau de maturação determinado por meio do teor de sólidos solúveis e por comparação da cor da

casca, de acordo com a escala de Von Loesecke (1949). Para a padronização das amostras, apenas as que apresentaram sólidos solúveis entre 15-20 °Brix foram utilizadas no experimento. As bananas foram higienizadas, descascadas e cortadas em cubos (10 mm de aresta).

2.2 Processo Osmótico

Cada porção de amostra (5 g) foi colocada em um recipiente de vidro contendo a solução hipertônica, que foi hermeticamente fechado para evitar a evaporação da água durante os tratamentos. Cada recipiente foi colocado em *Shaker* (com temperatura e agitação controlados) e submetido ao processo osmótico, nas condições descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos aplicados aos cubos de banana nos ensaios de desidratação osmótica.

Número de ensaios	Agente osmótico	Concentração do soluto (g soluto/ 100 g de solução)	Temperatura (°C)	$t_{(1/3)}$ (min)	$t_{(médio)}$ (min)
1	FOS	68	40	100	82
2	FOS	68	50	82	82
3	FOS	68	60	65	82
4	XM	66	40	70	82
5	XM	66	50	64	82
6	XM	66	60	75	82
7	Mix	70 (35:35)	40	89	82
8	Mix	70 (35:35)	50	129	82
9	Mix	70 (35:35)	60	68	82

*FOS, fruto-oligossacarídeo; XM, xarope de milho; MIX, mistura de XM:FOS

A banana foi desidratada considerando-se os tempos n-reduções para cada temperatura (40, 50, 60 °C), na proporção de 1:5 (g de fruta: g de solução) e agitação de 80 rpm e soluções aquosas com as mesmas atividades de água ($a_w = 0,88$). Para o preparo dessas soluções, pesou-se: (1) 68 g de FOS desidratado por 100 g de solução (solução de fruto-oligossacarídeo); (2) 66 g de XM por 100 g de solução (solução de xarope de milho) e (3) 35 g de FOS + 35 g de xarope de milho por 100 g de solução (solução de mistura de fruto-oligossacarídeo e xarope de milho) (Tabela 1). As diferentes concentrações foram escolhidas a fim de se obter uma atividade de água semelhante para cada solução utilizada. Após o período determinado, as amostras foram lavadas com 25 mL de água destilada e, em seguida drenadas, para remover o excesso de solução desidratante de sua superfície).

Por fim, as frutas desidratadas osmoticamente foram cuidadosamente secas em papel absorvente para remover o excesso de umidade superficial e em seguida pesadas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.3 Cálculo da Perda de Água

Para o cálculo da perda de água (PA) determinou-se a umidade da banana *in natura* e de todas as amostras desidratadas osmoticamente pelo método gravimétrico,

conforme a AOAC (1990). Os dados obtidos foram utilizados para calcular a transferência de massa em termos de PA, conforme a Equação 1:

$$PA (\%) = 100 \times \frac{m_0 x_0 - m_t x_t}{m_0} \quad (1)$$

Onde: m_0 é a massa inicial da amostra (g); m_t é a massa da amostra (g) no instante t (30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos); x_0 é a umidade inicial da amostra; x_t é a umidade da amostra no instante t ; m_{s_0} é a massa de matéria seca (g) no instante t ; e m_{s_0} é a massa inicial de matéria seca da amostra (g).

Todas as determinações foram realizadas em triplicatas.

2.4 Avaliação da Qualidade

A bananas *in natura* e desidratadas osmoticamente foram caracterizadas quanto a cor (parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* , h^* e ΔE), concentração de compostos fenólicos, atividade antioxidante e textura.

2.4.1 Cor

As medições de cor na superfície da banana *in natura* e osmoticamente desidratada foram realizadas com colorímetro MiniScan EZ, marca Hunter Lab (Riston, Virginia, EUA). As leituras foram efetuadas diretamente sobre a superfície das amostras *in natura* e processadas com, pelo menos, seis diferentes leituras para cada amostra. Foram utilizadas as coordenadas da escala CIELab (L^* , a^* , b^*), a luminosidade ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade (a^* , do vermelho ao verde; b^* , do amarelo ao azul), BARBOSA JÚNIOR, et al. (2014).

O Chroma (C^*) e ângulo *hue* (h^*) foram obtidos conforme a equação (3) e (4), respectivamente, enquanto que, a diferença média de cor (ΔE^*) entre a fruta fresca e processada foi obtida pela equação (5):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (5)$$

2.4.2 Textura

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados nas amostras de frutas frescas e nas desidratadas osmoticamente em diferentes agentes osmóticos e temperaturas nos diferentes tempos de *n*-redução obtidos. Para cada condição avaliada, de 20 a 30 réplicas (amostras contendo 10 mm² de área superficial) foram submetidas a um ensaio de compressão em texturômetro universal (TA.XT2, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) com carga de 5 kg a 25 °C, com uma placa de acrílico de 60 mm de

diâmetro e velocidade de compressão de 5 mm.min⁻¹ até 80% de deformação da amostra (BARBOSA JÚNIOR et al. 2014).

2.4.3 Capacidade antioxidante e teor de fenólicos totais

2.4.3.1 Extração

Os extratos para análise de capacidade antioxidante e compostos fenólicos foram obtidos em triplicata, como descrito por RUFINO et al. (2010), com algumas modificações. Aproximadamente 2,5 g das amostras frescas ou processadas foram pesadas em béqueres (200 mL), adicionando-se 50 mL de uma mistura de água, acetona e metanol (numa proporção em volume 40:30:30, respectivamente) e agitada a 200 rpm numa mesa orbital (SL180/D, Solab, Piracicaba, SP, Brasil) durante 1 hora a temperatura ambiente. Após isso, o extrato foi centrifugado a 3500 rpm (1509 g) durante 1 minuto e o sobrenadante foi acondicionado sob refrigeração para posteriores análises.

2.4.3.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH e FRAP

A capacidade antioxidante foi determinada *in vitro* utilizando os ensaios *DPPH* (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), conforme BRAND-WILLIAMS, CULIVIER e BERSET (1995) e *FRAP* (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), de acordo com THAIPONG et al. (2006).

2.4.3.2.1 DPPH

2850 µL de uma solução metanólica do radical *DPPH** (0,06 mM, cuja absorvância é próxima a 700 a 515 nm) foram adicionados a 150 µL de cada extrato. Em seguida, essa solução foi homogeneizada em um tubo vedado e mantido em repouso ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 60 minutos. Os resultados foram expressos em µg equivalentes de Trolox Equivalente/g amostra. Para os cálculos, foram levados em consideração a perda de água e a incorporação de sólidos durante o processo. Esses dados permitem expressar a quantidade de compostos com capacidade antioxidante por grama de amostra inicial.

2.4.3.2.2 FRAP

O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 25 mL de tampão acetato 0,3 M; 2,5 mL de uma solução de TPTZ (2, 4, 6-tri(2-piridil)-1, 3, 5-triazina) 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM, e utilizado imediatamente após sua preparação. Em ambiente escuro, uma alíquota de 90 µL do extrato foi diluída em 180 µL de água destilada (1:2, em volume) e a mistura obtida foi adicionada a 2,7 mL do reagente FRAP previamente preparado, sendo em seguida homogeneizados em agitador de tubos e mantidos em banho-maria a 37 °C. Após 30 minutos, foi feita a leitura no espectrofotômetro a 595 nm, utilizando-se o reagente de FRAP como branco

para calibrar o espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em μg equivalentes de TE/g amostra. Para os cálculos, foram levados em consideração a perda de água e a incorporação de sólidos durante o processo. Esses dados permitem expressar a quantidade de compostos com capacidade antioxidante por grama de amostra inicial.

2.4.3.3 Determinação de Fenólicos totais

A determinação de compostos fenólicos totais (TPC) foi feita conforme SWAIN E HILLIS (1959) com algumas modificações. Adicionou-se 1 mL da solução de Foulin diluída em água destilada (1:10) a 1 mL do extrato e agitou-se vigorosamente por 1 minuto. Em seguida, deixou-se em repouso por 3 minutos para reagir e 1,5 mL de uma solução de Na_2CO_3 (10% p/p) foi adicionado, agitando-se novamente o sistema. Por fim, manteve-se o sistema ao abrigo da luz por 2 horas, fazendo-se a leitura no espectrofotômetro a 725 nm. Os resultados foram expressos em g equivalentes de GAE/g amostra. Para os cálculos, foram levados em consideração a perda de água e a incorporação de sólidos durante o processo. Esses dados permitem expressar a quantidade de compostos com capacidade antioxidante por grama de amostra inicial.

2.5 Análise Estatística

As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio do software Xlstat Analysis Solution, versão 7.5. As médias obtidas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e tiveram as médias comparadas utilizando o teste de *Tukey* a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perda de Água

Os resultados experimentais de perda de água no tempo de n -reduções e no tempo médio da taxa de desidratação são apresentados na Tabela 2. Os tempos de n -redução para os diferentes tratamentos foram obtidos conforme proposto por BARBOSA JÚNIOR et al. (2013). Segundo estes autores, este parâmetro pode ser usado para definição do tempo ideal de processo, principalmente para avaliar a qualidade dos produtos processados. O $t_{(1/3)}$ representa o tempo necessário para reduzir a taxa de desidratação ou impregnação a um terço dos seus valores iniciais. E $t_{(médio)}$ é a média de todos os $t_{(1/3)}$ nos diferentes tratamentos. Ambos os tempos foram obtidos numa etapa inicial do trabalho.

Os menores tempos, que representam a redução de 1/3 do valor inicial da taxa de desidratação, foram obtidos nas maiores temperaturas utilizadas no processo, sendo está uma variável que apresentou influência neste parâmetro. Os valores de $t_{(1/3)}$ variaram de 64 a 129 minutos, e o $t_{(médio)}$ de desidratação foi de 82 minutos, conforme apresenta na Tabela 1.

Os valores de perda de água (Tabela 2) variaram de 15,70 a 28,79% no tempo $t_{(1/3)}$, enquanto que para o tempo de $t_{(médio)}$ de 15,75 a 30,27% entre os tratamentos. Independentemente do tempo utilizado foi possível observar que a PA foi mais intensa na temperatura mais elevada. A temperatura reduz a viscosidade, o que favorece a perda de água, uma vez que diminui a resistência externa e facilita a troca de massa entre a fruta e a solução (BARBOSA JÚNIOR et al., 2013). No entanto, de maneira geral, pode-

se observar que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre o tempo de n-reduções e o tempo médio de processo para a PA.

Tabela 2 - Perda de água da banana desidratada osmoticamente no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio do processo ($t_{(médio)}$).

Solução	Condições		$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$
	Temperatura (°C)	PA (%)	PA (%)	PA (%)
XM	40	18,81 ^{bcA}	23,31 ^{bcdB}	
	50	15,70 ^{cA}	15,75 ^{eA}	
	60	26,59 ^{aA}	30,27 ^{aB}	
FOS	40	22,90 ^{abA}	19,52 ^{deA}	
	50	19,09 ^{bcA}	20,30 ^{deA}	
	60	25,06 ^{bcA}	29,67 ^{abcB}	
MIX	40	22,86 ^{abA}	22,22 ^{cdeA}	
	50	23,98 ^{abA}	17,75 ^{deA}	
	60	28,79 ^{aA}	28,94 ^{abcA}	

*Médias seguidas com letras minúsculas iguais na mesma coluna e, médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. XM, xarope de milho; FOS, fruto-oligossacarídeo; MIX, mistura de FOS:XM.

3.2 Textura

A textura está relacionada com as propriedades reológicas e estruturais dos alimentos e pode ser determinada por distintas características mecânicas, como firmeza, adesividade, coesividade, gomosidade e viscosidade (NIETO et al., 2013).

A firmeza das amostras *in natura* foi de $16,16 \pm 0,38$ N. As variações da firmeza das bananas desidratadas no tempo de n-redução e no tempo médio usando os diferentes solutos e temperaturas estão apresentadas na Tabela 3. As amostras desidratadas osmoticamente apresentaram uma redução da firmeza em relação a fruta fresca, indicando que o processo afetou a firmeza e causou um amolecimento nos frutos. As médias apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

O tempo e a temperatura utilizados nos tratamentos influenciaram a textura das amostras desidratadas. Comparando os tratamentos nos diferentes tempos avaliados durante o presente estudo, quanto maior foi o tempo de processo, maior foi a PA, portanto, menor foi a firmeza das amostras, estando diretamente relacionado com este parâmetro (Tabela 2). O mesmo comportamento foi observado para a temperatura, sobretudo para os tratamentos que utilizaram a temperatura mais elevada (60 °C) durante o processo, apresentaram um amolecimento maior. No entanto, para ambos os tempos avaliados, quando foram utilizadas a temperatura de 40 °C, as amostras não apresentaram diferença significativa entre a amostra processada e a *in natura*.

NAJAFI et al. (2014) verificaram que a dureza de pitaya desidratada em solução de sacarose reduziu-se conforme o aumento do tempo de processamento. ZHAO et al. (2014), também observaram uma redução da firmeza de mangas desidratadas osmoticamente conforme o aumento do tempo de processamento.

Por outro lado, a temperatura pode alterar a firmeza dos tecidos de duas formas; aumentando a perda de água, e/ou atuando diretamente na estrutura do tecido e provocando um amolecimento. Dessa forma, quanto maior a PA, maior são as mudanças nos tecidos celulares, como plasmólise do citoplasma, e, conseqüentemente,

perda do turgor, degradação da lamela média, dentre outras alterações, que provocam a redução da resistência mecânica (LOREDO et al., 2013).

Tabela 3 - Firmeza da banana *in natura* e processada no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$).

Condição do Processo		Firmeza (N)	
Solução	T (°C)	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$
<i>In natura</i>	-	16,16±0,38 ^a	16,16±0,38 ^a
XM	40	15,67±0,99 ^{abA}	13,22±1,24 ^{bcdB}
	50	13,00±1,69 ^{cA}	14,54±1,24 ^{abcA}
	60	13,48±2,44 ^{bcA}	12,52±1,26 ^{cdA}
FOS	40	13,98±0,87 ^{abcA}	14,43±0,98 ^{abcA}
	50	12,29±0,91 ^{cdB}	14,84±1,44 ^{abA}
	60	10,44±1,64 ^{dB}	14,91±1,52 ^{abA}
MIX	40	16,43±1,56 ^{aA}	16,00±0,95 ^{aA}
	50	12,85±2,11 ^{cdA}	14,77±1,55 ^{abA}
	60	12,37±1,69 ^{cdA}	11,93±2,02 ^{dA}

*Médias seguidas com letras minúsculas iguais na mesma coluna e, médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. XM, xarope de milho; FOS, fruto-oligossacarídeo; MIX, mistura de FOS:XM.

KOPRIVICA et al. (2012), ao avaliarem a textura de maçãs submetidas a DO em diferentes temperaturas, observaram que o aumento da temperatura apresenta efeito na redução da firmeza do tecido, causando amolecimento. CASTELLÓ et al. (2009) também observaram que as amostras de maçã desidratada osmoticamente apresentaram tensões menores, quando comparadas com as amostras não tratadas.

Além disso, durante o processo ocorreu um baixo ganho de sólidos. A incorporação de sólidos reduz o impacto do processo na textura das frutas desidratadas osmoticamente, uma vez que aumenta a integridade celular, reduzindo desta forma o amolecimento (CHIRALT et al., 2001; OLATIDOYE et al. 2010; ZHAO et al., 2014).

3.3 Cor

A alteração de cor durante a DO está relacionada diretamente com a aceitação do consumidor em relação ao produto final. Fatores físicos e químicos durante o processo estão relacionados com as mudanças que podem ocorrer por degradação, concentração ou lixiviação dos pigmentos no tecido da fruta e/ou pelo desenvolvimento de escurecimento enzimático e não enzimáticos (OSÓRIO et al., 2007; ATARÉS et al., 2012). Sendo assim, os parâmetros de cor foram avaliados nas amostras antes e após o processo e os resultados experimentais das análises instrumentais das coordenadas de cor (L^* , a^* , b^*) são apresentados na Tabela 4, e os valores das variações do croma (C^*), ângulo hue (H^*), variação global da cor (ΔE) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 - Análise instrumental de cor (CIELab) das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções de xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$)

Tratamento		$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$
Solução	T (°C)	L^*		a^*		b^*	
<i>In natura</i>		80,74 ^a	80,78 ^a	2,88 ^e	2,88 ^e	26,63 ^c	26,63 ^c
XM	40	71,11 ^{bA}	68,73 ^{bB}	5,25 ^{abB}	6,02 ^{bA}	29,25 ^{abcA}	28,42 ^{bcA}
	50	60,88 ^{eA}	63,26 ^{deA}	4,98 ^{abcA}	4,60 ^{cdA}	27,56 ^{bcA}	27,92 ^{bcA}
	60	62,43 ^{deA}	65,15 ^{cdeA}	4,56 ^{bcdA}	4,65 ^{cdA}	28,97 ^{abcA}	30,49 ^{bB}
FOS	40	65,89 ^{cdA}	66,07 ^{bcdA}	5,77 ^{aA}	5,58 ^{bcA}	29,63 ^{abA}	26,88 ^{cB}
	50	63,89 ^{cdeA}	62,98 ^{deA}	5,22 ^{abcA}	5,40 ^{bcA}	29,04 ^{abcA}	29,07 ^{bcA}
	60	64,68 ^{cdeA}	64,43 ^{cdeA}	4,20 ^{cdA}	4,45 ^{cdA}	27,70 ^{bcA}	28,27 ^{bcA}
MIX	40	66,73 ^{cA}	67,63 ^{bcA}	5,25 ^{abA}	5,36 ^{bcA}	28,14 ^{abcA}	28,11 ^{bcA}
	50	61,86 ^{eA}	61,71 ^{eA}	5,41 ^{abA}	5,25 ^{bcA}	30,73 ^{aA}	28,62 ^{bcB}
	60	66,89 ^{cA}	67,54 ^{bcA}	3,58 ^{deA}	4,45 ^{dA}	29,11 ^{abcA}	28,21 ^{bcA}

*Médias seguidas com letras minúsculas iguais na mesma coluna e, médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. XM, xarope de milho; FOS, fruto-oligossacarídeo; MIX, mistura de FOS:XM.

A Luminosidade (L^*) da amostra *in natura* foi 80,74 e as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* foram de 2,88 e 26,63, respectivamente. O processo osmótico exerceu impacto sobre as coordenadas de cor dos produtos processados. As luminosidades (L^*) das amostras reduziram, enquanto as coordenadas de cor a^* e b^* aumentaram. A redução da L^* indica que houve um escurecimento das amostras desidratadas e o aumento dos parâmetros a^* e b^* evidenciou que ocorreu uma concentração da fase líquida e dos pigmentos presentes no tecido celular como uma consequência da desidratação osmótica. O escurecimento das amostras desidratadas pode ter ocorrido pela concentração dos pigmentos naturalmente presentes nas frutas, como os carotenoides. Além disso, o uso de soluções com concentrações elevadas durante a DO promove a formação de uma camada de açúcar em torno do tecido da fruta e impede a perda dos pigmentos por lixiviação. Por outro lado, a formação de pigmentos por meio de reações químicas e enzimáticas, via oxidação dos compostos fenólicos e/ou reação de Maillard, são outras formas de alteração de cor, sobretudo, quando as frutas são submetidas ao processo sob altas temperaturas.

ATARÉS et al. (2011) desidrataram bananas em diferentes temperaturas e verificaram uma redução no parâmetro L^* . Quanto maior foi a temperatura utilizada no processo, mais intenso foi o escurecimento observado nas amostras desidratadas. A atividade de água é reduzida após o processo osmótico, devido a PA e o GS, o que favorece a ocorrência das reações que formam pigmentos e que levam ao escurecimento da fruta desidratada. Resultados semelhantes foram obtidos por ALMEIDA et al. (2014), que observaram uma redução na luminosidade de bananas desidratadas osmoticamente.

As médias de valores de C^* e h^* das amostras *in natura*, foram de 26,78 e 83,81, respectivamente. As frutas que foram submetidas a DO apresentaram diferença significativa em relação às frutas não processadas ($p < 0,05$), sendo possível observar um aumento no Cromo e uma redução no ângulo Hue. De acordo com EGEEA et al. (2012), o C^* indica a saturação da cor ou intensidade, sendo utilizada por exemplo, para

diferenciar materiais que possuem a mesma cor, porém com uma tonalidade diferente. Quanto maior o valor de Cromo, mais pura é a cor, ou seja, mais clara é a diferença de tonalidade. E o ângulo hue (h^*) indica o tom das cores descritas como verde, azul, amarelo e vermelho, sendo influenciado pelos parâmetros a^* e b^* . Segundo o sistema CIELab, se o ângulo estiver entre 0° e 90° , a cor varia de vermelho a amarelo, quanto mais próximo de 90° mais amarela é a amostra. No presente estudo, h^* das amostras desidratadas variou entre 78,03 e 82,52. Foi possível observar que, em geral, h^* diminuiu em relação a fruta *in natura*.

Tabela 5 - Resultado do croma (C^*), ângulo hue (h^*), variação global da cor (ΔE) das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$)

Tratamento		$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$
Solução	T ($^\circ$ C)	C^*		h^*		ΔE^*	
<i>In natura</i>		26,78 ^c	26,78 ^b	83,81 ^a	83,81 ^a	0	0
XM	40	29,72 ^{abcA}	29,05 ^{abA}	79,81 ^{cdeA}	79,21 ^{dA}	10,51 ^{dB}	12,79 ^{dA}
	50	28,00 ^{bcA}	28,32 ^{abA}	79,80 ^{cdeA}	80,55 ^{bcA}	19,73 ^{aA}	17,95 ^{abcA}
	60	29,32 ^{abcB}	30,85 ^{aA}	81,05 ^{cdA}	81,32 ^{bcA}	18,81 ^{abcA}	16,47 ^{abcdB}
FOS	40	30,18 ^{abA}	27,46 ^{bB}	78,98 ^{eA}	78,26 ^{dA}	15,72 ^{abcA}	15,17 ^{abcdA}
	50	29,50 ^{abcA}	29,57 ^{abA}	79,82 ^{cdeA}	79,47 ^{cdA}	16,84 ^{abcA}	18,42 ^{abA}
	60	28,01 ^{bcA}	28,62 ^{abA}	81,38 ^{bcA}	81,06 ^{bcA}	16,43 ^{abcA}	16,82 ^{abcdA}
MIX	40	28,62 ^{abcA}	28,63 ^{abA}	79,45 ^{deA}	78,03 ^{cdA}	14,59 ^{bcdA}	13,69 ^{bcdA}
	50	31,20 ^{aA}	26,79 ^{abB}	80,00 ^{cdeA}	79,60 ^{cdA}	19,17 ^{abA}	19,60 ^{aA}
	60	29,33 ^{abcA}	28,46 ^{abA}	82,95 ^{abA}	82,52 ^{abA}	14,51 ^{cdA}	13,61 ^{cdA}

*Médias seguidas com letras minúsculas iguais na mesma coluna e, médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. XM, xarope de milho; FOS, fruto-oligossacarídeo; MIX, mistura de FOS:XM.

A variação de cor (ΔE) pode ser utilizada para avaliar o quanto o processo impactou neste parâmetro, uma vez que é obtido por meio da diferença da cor entre a fruta processada e a fresca. Além disso, descreve a capacidade do olho humano discriminar a diferença entre as cores de dois produtos. Quando $\Delta E \geq 5$, o olho humano pode distinguir a diferença de cor entre dois produtos (NOWIKA et al., 2015). Nas amostras analisadas no $t_{(médio)}$ e no $t_{(1/3)}$ ΔE , apresentou valores entre 10 e 20, sendo perceptível para o olho humano a diferença de cor entre as amostras processadas e a fruta *in natura*. Quanto menor ΔE , menor é o impacto do processo e, conseqüentemente, melhor é a qualidade da fruta desidratada osmoticamente (MASKAN, 2000). ATARÉS et al. (2011), encontraram ΔE entre 7 e 15 para bananas osmoticamente desidratadas em diferentes temperaturas (30, 40 e 50 $^\circ$ C) e concentrações de sacarose (45, 55, 65% m/m), indicando que o processo acarretou em um pequeno impacto da cor.

3.4 Capacidade Antioxidante e Compostos Fenólicos Totais

A capacidade antioxidante de alimentos é determinada por uma mistura de antioxidantes com diferentes mecanismos de ação, portanto, é necessário adotar mais de

um método conjuntamente para determinar *in vitro* a real capacidade antioxidante de um alimento. No presente trabalho, dois ensaios *in vitro* (DPPH e FRAP), baseados em diferentes mecanismos de ação, foram utilizados para quantificar a capacidade antioxidante da banana antes e após o processamento.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da capacidade antioxidante obtidos pela capacidade de sequestro do radical DPPH*, pelo poder de redução do ferro (FRAP) e teor de fenólicos totais das amostras de banana *in natura* e processada, nas diferentes condições avaliadas.

Tabela 6 - Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das amostras de banana desidratadas osmoticamente em soluções de xarope de milho (XM) e fruto-oligossacarídeo (FOS) e a mistura de ambos os solutos (MIX), no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{(1/3)}$) e no tempo médio ($t_{(médio)}$).

Tratamento		$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$	$t_{(1/3)}$	$t_{(médio)}$
Solução	T (°C)	DPPH (µgTE/g)	FRAP (µgTE/g)	TPC (µg GAE/g)			
<i>In natura</i>		7,04 ^a	7,04 ^a	2,78 ^c	2,78 ^d	1,94 ^c	1,94 ^d
XM	40	4,83 ^{ba}	3,69 ^{bcB}	9,32 ^{aA}	6,70 ^{abcB}	5,58 ^{abA}	4,80 ^{bcA}
	50	3,85 ^{bcA}	4,17 ^{bcA}	5,88 ^{bcA}	7,56 ^{abA}	4,50 ^{abcA}	4,13 ^{cdA}
	60	3,07 ^{bcA}	5,51 ^{abB}	5,66 ^{bcA}	8,48 ^{abB}	3,86 ^{bcA}	7,66 ^{Ab}
FOS	40	3,78 ^{bcA}	5,77 ^{abB}	6,96 ^{abA}	9,51 ^{abB}	6,35 ^{aA}	6,96 ^{abA}
	50	2,72 ^{cA}	3,73 ^{bcA}	6,24 ^{abA}	7,13 ^{abA}	4,90 ^{abcA}	2,72 ^{cdB}
	60	4,35 ^{bcA}	4,79 ^{bcA}	6,80 ^{abA}	9,03 ^{abB}	3,80 ^{abcA}	5,42 ^{abcB}
MIX	40	2,60 ^{cA}	5,58 ^{abB}	8,11 ^{abA}	9,14 ^{aA}	5,32 ^{abA}	6,92 ^{abA}
	50	3,93 ^{bcA}	2,79 ^{cB}	6,30 ^{abA}	3,96 ^{cdB}	2,29 ^{cA}	3,11 ^{cdA}
	60	3,54 ^{bcA}	4,19 ^{bcA}	4,88 ^{bcA}	5,58 ^{bcdA}	2,67 ^{bcA}	3,46 ^{cdB}

*Médias seguidas com letras minúsculas iguais na mesma coluna e, médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. XM, xarope de milho; FOS, fruto-oligossacarídeo; MIX, mistura de FOS:XM. AAT, atividade antioxidante; TPC, Teor de compostos fenólicos totais

Em relação ao ensaio DPPH, a capacidade antioxidante em equivalente trolox variou de 2,60 a 4,83 µgTE/g para o $t_{(1/3)}$ e de 2,79 a 5,77 µgTE/g para o $t_{(médio)}$. Observa-se que houve uma redução significativa ($p < 0,05$) da capacidade antioxidante para todos os tratamentos em relação a fruta *in natura*, que apresentou 7,01 µgTE/g. É importante ressaltar que a capacidade antioxidante da amostra *in natura* foi expressada em relação a massa inicial.

GIOVANELLI et al. (2012), ao desidratarem mirtilos em solução de sacarose, observaram uma redução da capacidade antioxidante das amostras. Estes autores justificaram essa redução da capacidade antioxidante devido à perda, por lixiviação, de compostos fenólicos e antocianinas presentes na fruta.

Fatores como temperatura e concentração da solução influenciam na capacidade antioxidante das frutas desidratadas osmoticamente. O uso de temperatura elevada pode degradar os fitoquímicos. Porém, altas temperatura aliada a soluções concentradas contribui para um maior ganho de sólidos. A incorporação de sólidos apresenta efeito protetor, pois contribui para a redução da perda dos compostos bioativos por

carreamento (ALMEIDA et al., 2014). No entanto, os solutos utilizados neste estudo apresentam alto peso molecular e, conseqüentemente, acarretam em uma menor impregnação, e este baixo GS não foi considerável no efeito protetor sobre os compostos bioativos (hidrossolúveis) presentes na banana e, diante disso, pode-se observar uma redução da capacidade antioxidante em relação ao ensaio DPPH (Tabela 6).

Entretanto, os resultados do ensaio de FRAP apresentaram os maiores valores de capacidade antioxidante em relação ao DPPH. Por outro lado, a amostra *in natura* apresentou valor inferior de capacidade antioxidante em relação às amostras desidratadas osmoticamente. A capacidade antioxidante pelo método FRAP variou de 4,88 a 9,32 $\mu\text{gTE/g}$ para as amostras desidratadas no tempo $t_{(1/3)}$, e de 3,96 a 9,14 $\mu\text{gTE/g}$ para as amostras desidratadas no $t_{(\text{médio})}$. Em geral, as médias apresentaram diferença significativa entre as amostras *in natura* e processadas ($p < 0,05$). O aumento nos valores da capacidade antioxidante pelo ensaio FRAP pode ser justificado pelo enriquecimento da fruta com açúcares redutores como glicose e frutose, e, conseqüentemente, superestimado o resultado.

O método FRAP apresenta a desvantagem de quantificar compostos que não possuem a capacidade antioxidante, porém conseguem reduzir o Fe (III) a Fe (II), e, dessa forma, contribuir para o valor FRAP e induzir um aumento dos resultados (MAGALHÕES, et al., 2008; PRIOR et al., 2005). Além disto, antioxidantes cujos o mecanismo de ação não envolve reações redox com os tióis e carotenoides podem não ser quantificados por esta metodologia (MAGALHÃES, et al., 2008; SUBETIL, et al., 2009).

Os diferentes ensaios adotados para avaliar a capacidade antioxidante se basearam em diferentes mecanismos de ação. O método DPPH, se baseia na capacidade dos compostos bioativos de sequestrar o radical DPPH*, por outro lado, o ensaio FRAP, mede a capacidade do extrato em reduzir o complexo férrico de tripiridiltriiazina. Levando em consideração esses diferentes mecanismos de ação, determinados compostos antioxidantes podem ser privilegiados em relação a outros, e por este motivo apresentar diferença entre os resultados obtidos, como pode ser observado (Tabela 6). A capacidade antioxidante da banana está relacionada aos compostos funcionais como carotenoides, vitamina C e compostos fenólicos (COHEN et al. 2009; ALMEIDA et al. 2014; FACUNDO et al., 2015).

Os compostos fenólicos presentes nos vegetais são os principais responsáveis pela atividade antioxidante e constituem uma grande classe de fitoquímicos alimentares. Neste caso, a determinação do teor de fenólicos totais é importante, uma vez que o mesmo quantifica uma ampla gama de compostos fenólicos e não fenólicos que podem reduzir íons metálicos (SANTOS et al., 2008).

Os compostos fenólicos variaram de 2,29 a 6,35 mg GAE/g para as amostras tratadas no tempo de $t_{(1/3)}$, e 3,11 a 7,66 mg GAE/g para o $t_{(\text{médio})}$. No entanto, alguns tratamentos, nos dois tempos avaliados, não foram verificados diferença significativa entre a amostra *in natura* e a processada. Além disso, pode ser observada uma oscilação dos resultados do conteúdo de fenólicos totais da fruta processada (Tabela 6). A quantidade de compostos fenólicos na fruta depende de vários fatores como gênero, espécie, cultivar, manejo e armazenamento, o que pode levar a uma variação entre as diferentes frutas.

Assim como o método FRAP, o método utilizado para a avaliação de compostos fenólicos totais sofre com grande quantidade de compostos que interferem nos resultados finais, como açúcares redutores, aminas aromáticas, ácido ascórbico, dentre

outros, que, de certa forma, contribuem para a obtenção de valores superestimados (PRIOR, et al., 2005).

Alguns autores observaram a redução dos compostos fenólicos em produtos desidratados osmoticamente e atribuíram isto a ação da enzima polifenoloxidase que catalisou a reação de escurecimento enzimático (GARCÍA-TOLEDO et al., 2016; AN et al., 2013). Outros autores observaram uma redução da atividade antioxidante e dos compostos fenólicos totais após a desidratação osmótica em algumas frutas como banana (ALMEIDA et al., 2014); laranja (MENDES et al., 2013) e cereja (NOWICKA et al., 2015). No entanto, esta perda pode ter ocorrido por lixiviação ou degradação pelo uso de elevada temperatura, e não pela oxidação dos compostos como alguns autores sugerem, uma vez que durante o processo de DO as frutas não ficam em contato com o oxigênio.

4. CONCLUSÃO

O tempo necessário para reduzir a taxa de desidratação ou impregnação a um terço dos seus valores iniciais ($t_{(1/3)}$) foi menor conforme o aumento da temperatura. Os valores de perda de água foram maiores com o aumento da temperatura.

A textura da banana, assim como a cor, capacidade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais sofreram influência do processamento. Quanto maior a temperatura do processo, maior foi o amolecimento causado pelo mesmo. Quanto a cor, o parâmetro de L^* diminuiu, indicando um leve escurecimento nas frutas, porém a $\Delta E < 20$ indica que o processo não exerceu um alto impacto na banana desidratada osmoticamente. A capacidade antioxidante diminuiu em relação ao ensaio DPPH, porém para o ensaio FRAP, assim como os compostos fenólicos totais, ambos apresentaram um aumento significativo que pode ter sido induzido pela incorporação de sólidos. As alterações sofridas nas frutas desidratadas osmoticamente foram muito semelhantes nos dois tempos avaliados, e em geral não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) em todos os aspectos de qualidade avaliados, portanto o tempo necessário para reduzir a taxa de desidratação ou impregnação a um terço dos seus valores iniciais ($t_{(1/3)}$) pode ser uma boa alternativa na definição do tempo de processamento.

Apesar das alterações sofridas durante o processo, o uso de temperatura mais elevada (60 °C) é uma boa opção para a DO de banana, uma vez que proporcionou uma maior perda de água e em termos de qualidade (textura, cor e capacidade antioxidante) apresentou alterações semelhantes, quando comparada a temperatura mais baixa (40 °C) utilizada no processo, que, por sua vez, promoveu menor perda de água aos produtos processados.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A. R.; MUSSI, L. P.; OLIVEIRA, D. B.; PEREIRA, N. R. Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. p.1–9, 2014.

AOAC. Official Methods of Analysis, 13° ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1980.

ATARES, L.; GALLAGHER, M. J. S.; OLIVEIRA, F. A. R. Process conditions effect

on the quality of banana osmotically dehydrated. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 4, p. 401–408, 2011.

BARBOSA JÚNIOR, J. L.; CORDEIRO MANCINI, M.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 2463–2473, 2013.

BARBOSA JÚNIOR, J. L. *Desidratação osmótica de melão orange: estudo cinético e qualidade do produto*. 2014. 208p. Tese (doutorado em engenharia de alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, faculdade de engenharia de alimentos. Campinas, 2014.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E., & BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

CASTELLÓ, M. L.; IGUAL, M.; FITO, P. J.; CHIRALT, A. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 1–9, 2009.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. TALENS, P.; MORAGA, G.; AYLA, A.; FITO, P. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 129–135, 2001.

COHEN, ALAN A.; MCGRAW, KEVIN J. No simple measures for antioxidant status in birds: complexity in inter-and intraspecific correlations among circulating antioxidant types. **Functional Ecology**, v. 23, p. 310-320, 2009.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P.; VINICIUS, O.; CARLESSO, V. O. Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.596-605, 2009.

EGEA, M. B.; BORSATO, D.; SILVA, RUI SÉRGIO DOS SANTOS; YAMASHITA, F. DA. Osmo-Dehydrated Functional Product Containing Fructo-oligosaccharides: Physical, Chemical and Sensorial Characteristics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, p. 927–936, 2012.

EL-AOUAR, Â. A.; AZOUBEL, P. M.; BARBOSA, J. L.; XIDIEH MURR, F. E. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (Carica papaya L.). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 267–274, 2006.

FACUNDO, Hebert TF; DE PAULA, Juliana G.; KOWALTOWSKI, Alicia J. Mitochondrial ATP-sensitive K⁺ channels prevent oxidative stress, permeability transition and cell death. **Journal of bioenergetics and biomembranes**, v. 37, n. 2, p. 75-82, 2005

LOREDO, A. B.; GUERRERO, S. N.; GOMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Relationships between rheological properties, texture and structure of apple (Granny Smith var.) affected by blanching and/or osmotic dehydration. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 475–488, 2013.

GIOVANELLI, G.; BRAMBILLA, A.; RIZZOLO, A.; SINELLI, N. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 263–271, 2012.

JACOB, J. K. & PALIYATH, G. Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 93–102, 2012.

JESUS, S.C., FOLEGATTI, M.I.S., MATSUURA, F.C.A. e CARDOSO, R.L. Caracterização física e química de frutos diferentes genótipos de banana. **Bragantia**, v.63, p. 315–323, 2004.

LOREDO, A. B.; GUERRERO, S. N.; GOMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Relationships between rheological properties, texture and structure of apple (Granny Smith var.) affected by blanching and/or osmotic dehydration. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 475–488, 2013.

KOPROVICA, G.; MIŠLJENOVIC, N.; BERA, O; LEVIC, L. Modeling of water loss during osmotic dehydration of apple cubes in sugar beet molasses. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 1592–1598, 2014.

LOREDO, A. B.; GUERRERO, S. N.; GOMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Relationships between rheological properties, texture and structure of apple (Granny Smith var.) affected by blanching and/or osmotic dehydration. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 475–488, 2013.

MAGALHÃES, L. M.; SEGUNDO, M. A., REIS, S.; REIS, S.; LIMA, J. L. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytic Chemical Acta*. v. 613, p 1-19, 2008.

MASKAN, M., Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering**. v. 44, p. 71–78, 2000.

MATUSEK, A.; CZUKOR, B.; MERÉSZ, P. Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p. 365–373, 2008.

MENDES, G. R. L.; FREITAS, C. H. D.; SCAGLIONI, P. T.; SCHMIDT, C. G.; FURLONG, E. B. Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1210–1216, 2013.

NAJAFI, A. H.; YUSOF, Y. A.; RAHMAN, R. A.; GANJLOO, A.; LING, C. N. Effect of osmotic dehydration process using sucrose solution at mild temperature on mass transfer and quality attributes of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **International Food Research Journal**, v. 21, n. 2, p. 625–630, 2014.

NIETO, A. B.; VICENTE, S.; HODARA, K.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1,

p. 104–114, 2013.

NOWICKA, P.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; FIGIEL, A. Influence of osmodehydration pretreatment and combined drying method on the bioactive potential of sour cherry fruits. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 4, p. 824–836, 2015a.

NOWICKA, P.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; FIGIEL, A. Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Sensory Quality of Dried Sour Cherry Fruits pre-Dehydrated in Fruit Concentrates. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2076–2095, 2015b.

OLATIDOYE, O.P., SOBOWALE, S.S., AKINLUA, O. Effect of osmodehydrofreezing on the quality. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 9, n. 4, p. 780–789, 2010.

OSORIO, C.; SOFÍA, M.F.; CASTAÑO M.P.; GONZÁLEZ-MIRET, M.L.; HEREDIA, F.J.; MORALES, A.L. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 353–359, 2007.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized Methods for Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n.53, p. 4290-4302, 2005.

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA CALIXTO, F., MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p. 996-1002, 2010.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J.M.C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.58, n.2, p.187-192, 2008.

SOTO, M. Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.33, p.13-28, 2012.

SWAIN, T., & HILLIS, W. E. The phenolics constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.10, p. 63-68, 1959.

TACO. Brazilian table of food composition. NEPA – Núcleo de estudos e pesquisas em alimentos/ UNICAMP, 4th Ed, Revised and expanded, Fodepal, Campinas, Brazil, 2001.

THAIPONG, K., BOONPRAKOB, U., CROSBY, K., CISNEROS-ZEVALLOS, L., & BYME, D.H.. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, p. 669-675, 2006.

TORRES, J. D.; TALENS, P.; ESCRICHE, I.; CHIRALT, A. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. v. 74, p. 240–246, 2006.

VON LOESECKE, H. W. **Bananas, chemistry, physiology and technology**. New York: Interscience Publishers, 1949.

ZHAO, J.; HU, R.; XIAO, H.; et al. Original article Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango : effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, p. 960–968, 2014.

3. CONCLUSÃO GERAL

A cinética de desidratação osmótica dos cubos de banana em solução de FOS, XM e MIX para PA apresentaram valores entre 46-51%, 47-54% e 47-49%, respectivamente. Enquanto que para o GS a variação foi de 4-6%, 2-4% e 0,2-3% para as soluções de XM, FOS e MIX, respectivamente. Foi possível observar que o aumento da temperatura, aumentou a perda de água, sendo este um importante parâmetro do processamento. No entanto, o GS foi mais influenciado pela solução do que pela temperatura, apresentando os valores mais baixos quando utilizado o a solução com a mistura do xarope de milho e do fruto-oligossacarídeo.

Os modelos de Peleg e Page modificado se ajustaram adequadamente a PA. O modelo do tempo de n-redução da taxa de desidratação se mostrou como uma boa alternativa na definição do tempo de processamento das amostras submetidas à desidratação osmótica.

De modo geral, a desidratação osmótica promoveu poucas alterações nas características sensoriais e funcionais da banana. As amostras apresentaram um amolecimento, que aumentou em decorrência do aumento da temperatura. A cor da amostra processada ficou similares a da amostra *in natura*. O teor de capacidade antioxidante diminuiu e os compostos fenólicos totais aumentaram em relação a fruta fresca, sendo observado este compostamento para grande parte dos tratamentos avaliados neste estudo. No entanto, as alterações sofridas nas frutas desidratadas osmoticamente foram muito semelhantes nos dois tempos avaliados, e em geral não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), indicando que a definição de tempo adotada neste estudo é uma boa alternativa, visto que acarreta em poucas alteração na qualidade final do produto.

4. APÊNDICES

APÊNDICE A

1. Material e Métodos

1.1 Matéria Prima

Para realização do experimento, foram utilizadas bananas da variedade prata (*Musa sapientum, shum*), adquiridas no mercado local (Seropédica, RJ, Brasil). Com o intuito de minimizar as diferenças estruturais dos frutos, os mesmos foram selecionados conforme o grau de maturação, determinado por meio do teor de sólidos solúveis e pela cor da casca, de acordo com a escala de VON LOESECKE (1949), que descreve os estádios de maturação. Para a padronização das amostras, apenas às que apresentaram sólidos solúveis entre 15 e 20 °Brix foram utilizadas no experimento. As amostras foram higienizadas, descascadas e cortadas em cubos (10 mm de aresta).

1.2 Processo Osmótico

As variáveis do processo de desidratação osmótica analisados neste estudo foram temperatura e tipo de soluto. Foram utilizadas soluções de fruto-oligossacarídeo (68 g de FOS desidratado por 100 g de solução), xarope de milho (66 g de xarope de milho desidratado por 100 g de solução), e a mistura de ambos os solutos (35 g de FOS +:35 g de xarope de milho por 100 g de solução), em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C), numa proporção de 1:5 (g de fruta: g de solução) e agitação constante de 80 rpm. As diferentes concentrações das soluções foram escolhidas a fim de se obter atividade de água semelhante ($a_w = 0,88$) para cada solução utilizada.

Para o acompanhamento da cinética de desidratação osmótica o processo foi realizado como segue (Figura A1). Cada porção de amostra (± 4 cubos) foi colocada em diferentes frascos de vidro contendo a solução e sendo em seguida hermeticamente fechados, para evitar a evaporação da água durante os tratamentos. Cada frasco foi colocado em um *Shaker* (Figura A2), com temperatura e agitação controlados e submetido ao processo osmótico. Um conjunto de 3 frascos foi retirado nos intervalos de tempos determinados (30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos) nas diferentes condições do experimento.

Após o período determinado, as amostras retiradas do *Shaker* foram lavadas com 25 mL de água destilada e em seguida drenadas para remover o excesso de solução desidratante de sua superfície. Por fim, foram cuidadosamente secas em papel absorvente para remover o excesso de umidade superficial e em seguida pesadas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

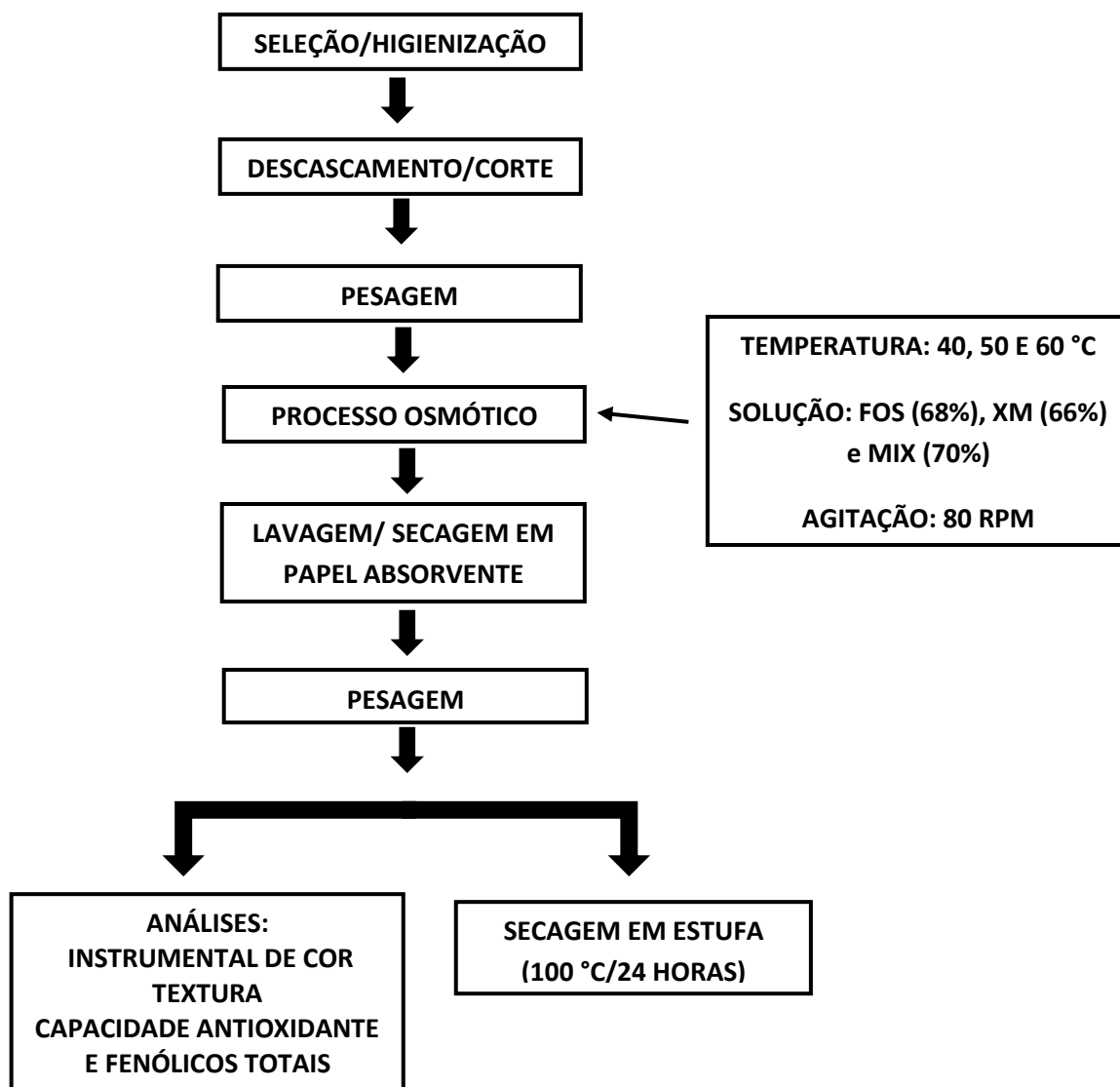


Figura A1 – Fluxograma de processamento de desidratação osmótica da banana

1.3 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade da banana *in natura* e desidratada osmoticamente foi determinado pelo método gravimétrico (AOAC, 1990). Para tal, cerca de 2,5 g de amostra foram maceradas, pesadas em balança analítica e acondicionadas em cadinhos. Logo a seguir, os cadinhos foram levados a estufa de secagem a 105 °C durante 24 horas. Após este período, os cadinhos foram retirados, resfriados e pesados novamente. Pela diferença de massa antes e após a secagem, foi medido o teor de umidade das amostras em base úmida (x), conforme a Equação 1:

$$x = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (1)$$

Em que m_i é a massa inicial, e m_f é a massa da amostra seca.

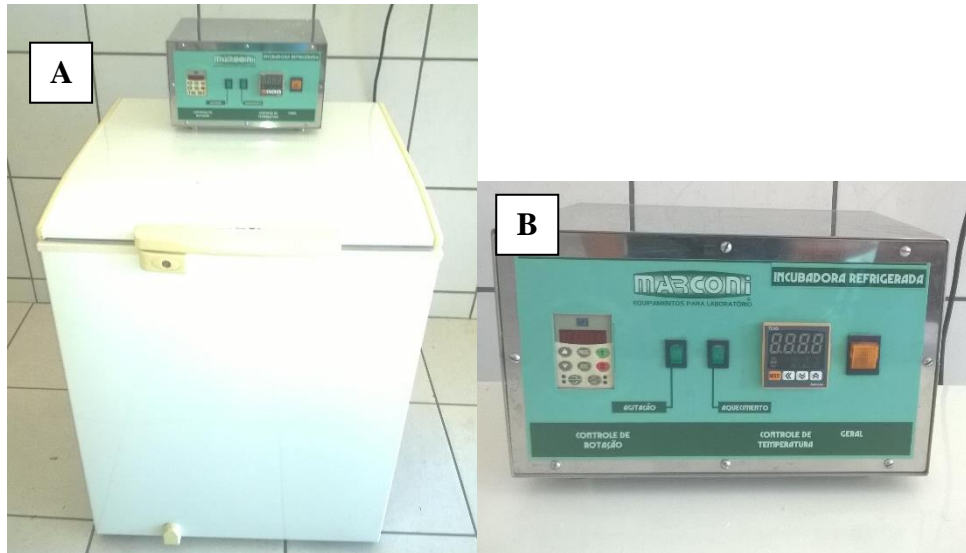


Figura A2 – A) *Shaker* B) Controle de temperatura e agitação

1.4 Cinética da desidratação osmótica

Após a drenagem dos cubos, os mesmos foram pesados e os teores de umidade dos cubos e da fruta *in natura* foram determinados conforme descrito no item 1.3. Os dados obtidos foram utilizados para calcular a perda de água (PA) e o ganho de sólidos (GS), conforme as Equações 2 e 3, respectivamente. Todas as determinações foram realizadas em triplicata:

$$PA (\%) = 100 \times \frac{m_0 - m_t x_t}{m_0} \quad (2)$$

$$GS (\%) = 100 \times \frac{ms_t - ms_0}{m_0} \quad (3)$$

Em que m_0 é a massa inicial da amostra (g); m_t é a massa da amostra (g) no instante t (30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos); x_0 é a umidade inicial da amostra; x_t é a umidade da amostra no instante t ; ms_t é a massa de matéria seca (g) no instante t ; e ms_0 é a massa inicial de matéria seca da amostra (g).

1.5 Modelagem Matemática

Os dados relativos aos parâmetros de transferência de massa obtidos experimentalmente foram ajustados aos modelos propostos por Peleg, modificado por BARBOSA JÚNIOR et al. 2013 e, no modelo de Page, modificado por ELER et al., 2009.

1.5.1 Modelo de Peleg

Peleg propôs dois parâmetros para descrever a cinética de sorção de umidade que se aproxima do equilíbrio assintoticamente (Equação 4):

$$m_t^i = m_0^i \pm \frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \quad (4)$$

Em que m^i é a quantidade de sólidos (gramas) ($i = s$) ou água ($i = w$) no tempo t (m^i_t) ou no início do processo (m^i_0). k_1^i e k_2^i são parâmetros do modelo de Peleg. Na equação (4) ‘±’ se torna ‘+’ se o processo é impregnação e ‘-’ se o processo é a desidratação. Considerando:

$$m^w_i = m_i \times x_t \quad (5a)$$

$$m^s_i = m_i \times (1 - x_t) \quad (5b)$$

Substituindo as equações (5a) e (5b) nas equações (2) e (3), respectivamente, e relacionando com a equação (4), o modelo de Peleg pode ser reescrito para descrever PA e GS, conforme a Equação 6:

$$x(t) = \frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \quad (6)$$

Quando $t \rightarrow \infty$, o valor de k_2^i fornece $x(t)$ no equilíbrio (x_{eq}), conforme a Equação 7:

$$x_{eq} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t}{k_1^i + k_2^i t} \right) = \frac{1}{k_2^i} \quad (7)$$

Quando $t = 0$, o valor da constante de Peleg (k_1^i) está relacionado com as taxas perda de água e ganho de sólidos no início do processo, de acordo com a Equação 8:

$$\left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{k_1^i} \quad (8)$$

Dessa forma, é possível sugerir uma relação entre as taxas de desidratação/impregnação e a força motriz do processo. O tempo para se obter -n- reduções na taxa de desidratação/impregnação ($t^i_{1/n}$) pode ser definida por:

$$\left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=t^i_{1/n}} = \frac{1}{n} \left. \frac{dX(t)}{dt} \right|_{t=0} \quad (9)$$

Neste caso, se o início do processo é $n = 1$, e se $n=2$ é a taxa de “meia vida” ($t^i_{1/2}$), isto é, o tempo necessário para a redução da metade da taxa inicial de desidratação/impregnação. E, por fim, o processo estará em equilíbrio quando $t \rightarrow \infty$.

Sendo assim, substituído a equação (6-8) na equação (9), temos:

$$t^i_{1/n} = \frac{k_1^i}{k_2^i} (\sqrt[n]{n} - 1) \quad (10)$$

Logo, $t_{1/n}$ representa a relação entre x_{eq} e a taxa inicial.

2.5.2 Modelo de Page Modificado

Originalmente o modelo apresenta as umidades com base na massa de sólidos secos da amostra original, como segue:

$$Y_s(t) = Y_{ss} + (Y_{SO} + Y_{ss})e^{-kt^n} \quad (11)$$

Em que, $Y_s(t)$ é a umidade da amostra no instante t , Y_{SE} é a umidade da amostra no equilíbrio, Y_{SO} é a umidade inicial da amostra, t é o tempo e k e n são os parâmetros do modelo de Page.

A umidade da amostra (inicial, de equilíbrio ou no instante t), é definida conforme a equação (12):

$$Y_s = \frac{m_{H_2O}}{m_{SSi}} \quad (12)$$

Onde, m_{H_2O} é a massa de água da amostra e m_{SSi} é a massa de sólido seco inicial.

Rearranjando a equação (11) tem-se:

$$(Y_{SO} - Y_s(t)) = (Y_{SO} - Y_{SE}) - (Y_{SO} - Y_{SE})e^{-kt^n} \quad (13)$$

Multiplicando a equação (13) por m_{SSi} e dividindo por m_{H_2O} , obtemos a equação (14):

$$PA(t) = PA_{\infty}(1 - e^{-kt^n}) \quad (14)$$

1.6 Avaliação da Qualidade

A bananas *in natura* e desidratadas osmoticamente no tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{1/3}$) e no tempo médio do processo ($t_{médio}$) foram caracterizadas quanto a cor (parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* , h^* e ΔE), textura, concentração de compostos fenólicos e capacidade antioxidante.

O tempo para reduzir a taxa de desidratação/impregnação a um terço do seu valor inicial ($t_{1/3}$) foi obtido por meio da Equação 9, e o tempo médio ($t_{médio}$) é a média de todos os tempos entre todos os tratamentos. As condições e os tempo dos tratamentos estão descritos da Tabela 1.

Tabela A1 – Tratamentos aplicados aos pedaços de banana nos ensaios de desidratação osmótica.

Número de ensaios	Agente osmótico	Concentração do soluto (g soluto/ 100 g de solução)	Temperatura (°C)	$t_{(1/3)}$ (min)	$t_{médio}$ (min)
1	FOS	68	40	100	82
2	FOS	68	50	82	82
3	FOS	68	60	65	82
4	XM	66	40	70	82
5	XM	66	50	64	82
6	XM	66	60	75	82
7	Mix	70 (35:35)	40	89	82
8	Mix	70 (35:35)	50	129	82
9	Mix	70 (35:35)	60	68	82

*FOS, fruto-oligossacarídeo; XM, xarope de milho; MIX, mistura de xarope de milho:fruto-oligossacarídeo

1.6.1 Cor

As medições de cor na superfície da banana *in natura* e osmoticamente desidratada foram realizadas com colorímetro MiniScan EZ, marca Hunter Lab (Riston, Virginia, EUA) (Figura A3). As leituras foram efetuadas diretamente sobre a superfície das amostras *in natura* e processadas, com pelo menos seis diferentes leituras para cada amostra. Foram utilizadas as coordenadas da escala CIELab (L^* , a^* , b^*). L^* apresenta a luminosidade e varia de 0, que não tem luminosidade ($L^*=0$ preto absoluto), a 100, que a luminosidade máxima ($L^*=1$ branco absoluto), a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade (a^* , do vermelho ao verde; b^* , do amarelo ao azul).

O Chroma (C^*) varia de 0, que é completamente insaturado (cinza, preto ou branco) a 100 que indica alta saturação ou "a pureza da cor", o ângulo *hue* (h^*) é representado em graus, que varia de 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde), 270° (azul) a 360° (vermelho), ambos foram obtidos conforme a equação 14 e 15, respectivamente, enquanto a diferença média de cor entre a fruta fresca e processada (ΔE^*), foi obtida pela equação 16.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (15)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (16)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (17)$$



Figura A3 – Colorímetro MiniScan EZ, marca Hunter Lab.]

1.6.2 Textura

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados nas amostras de frutas frescas e nas desidratadas osmoticamente em diferentes agentes osmóticos e temperaturas nos diferentes tempos de *n*-redução obtidos. Para cada condição avaliada, de 20 a 30 réplicas (amostras contendo 10 mm² de área superficial) foram submetidas a um ensaio de compressão em texturômetro universal (TA.XT2, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) (Figura A4) com carga de 5 kg a 25 °C, com uma placa de acrílico de 60 mm de diâmetro e velocidade de compressão de 5 mm.min⁻¹ até 80% de deformação da amostra.



Figura A4 - Texturômetro universal TA.XT2, Stable Micro Systems.

1.6.3 Capacidade Antioxidante e Teor de Fenólicos Totais

1.6.3.1 Extração

Os extratos para análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos foram obtidos em triplicata, como descrito por RUFINO et al. (2010), com algumas modificações. Aproximadamente 2,5 g das amostras frescas ou processadas foram pesadas em béqueres (200 mL), adicionando-se 50 mL de uma mistura de água, acetona e metanol (numa proporção em volume 40:30:30, respectivamente), e agitada a 200 rpm numa mesa orbital durante 1 hora a temperatura ambiente. Após isso, o extrato foi centrifugado a 3500 rpm (1509 g) durante 1 minuto e o sobrenadante, utilizado para as análises.

1.6.3.2 Determinação da capacidade antioxidante pelo método DPPH e FRAP

A capacidade antioxidante foi determinada *in vitro* utilizando os ensaios *DPPH* (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), conforme BRAND-WILLIAMS, CULIVIER E BERSET (1995) e *FRAP* (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) de acordo com THAIPONG et al. (2006).

1.6.3.3 DPPH

Nos ensaios de DPPH, 2850 μ L de uma solução metanólica do radical *DPPH** (0,06 mM, cuja absorvância é próxima a 700 a 515 nm) foram adicionados a 150 μ L de cada extrato. Em seguida, essa solução foi homogeneizada em um tubo vedado e mantido em repouso ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 60 minutos (Figura A5). Os resultados foram expressos em μ g equivalentes de Trolox Equivalente/g amostra.

DPPH

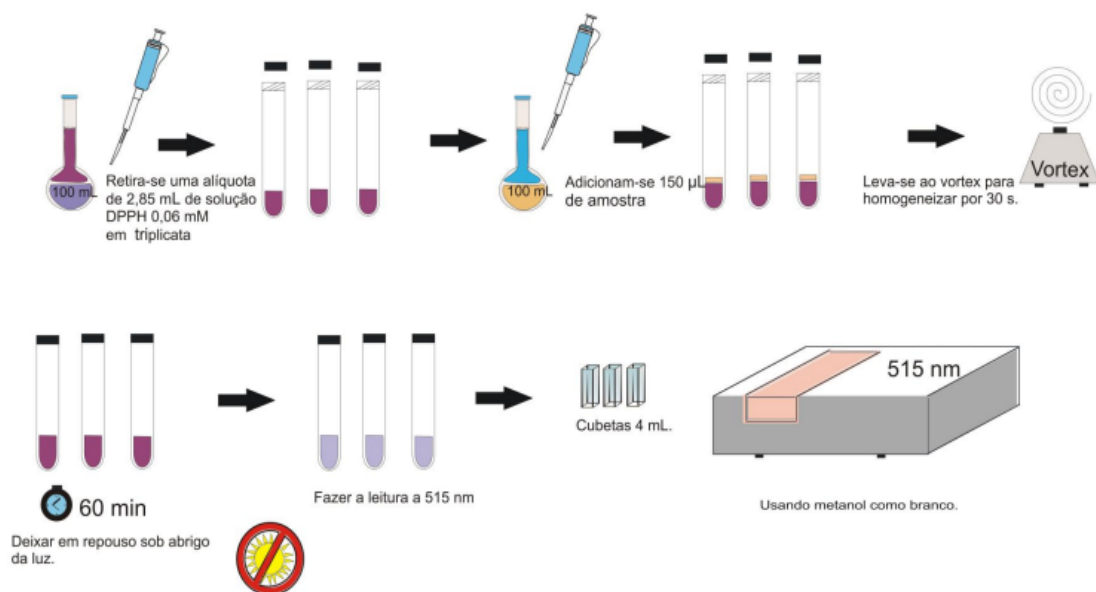


Figura A5 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método DPPH (BARBOSA JÚNIOR et al., 2014).

1.6.3.4 FRAP

O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 25 mL de tampão acetato 0,3 M; 2,5 mL de uma solução de TPTZ (2, 4, 6-tri(2-piridil)-1, 3, 5-triazina) 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM, e utilizado imediatamente após sua preparação. Em ambiente escuro, uma alíquota de 90 µL do extrato foi diluída em 180 µL de água destilada (1:2, em volume) e a mistura obtida foi adicionada a 2,7 mL do reagente FRAP previamente preparado, sendo em seguida homogeneizados em agitador de tubos e mantidos em banho-maria a 37 °C. Após 30 minutos, foi feita a leitura no espectrofotômetro a 595 nm, utilizando-se o reagente de FRAP como branco para calibrar o espectrofotômetro (Figura A6). Os resultados foram expressos em µg equivalentes de TE/g amostra.

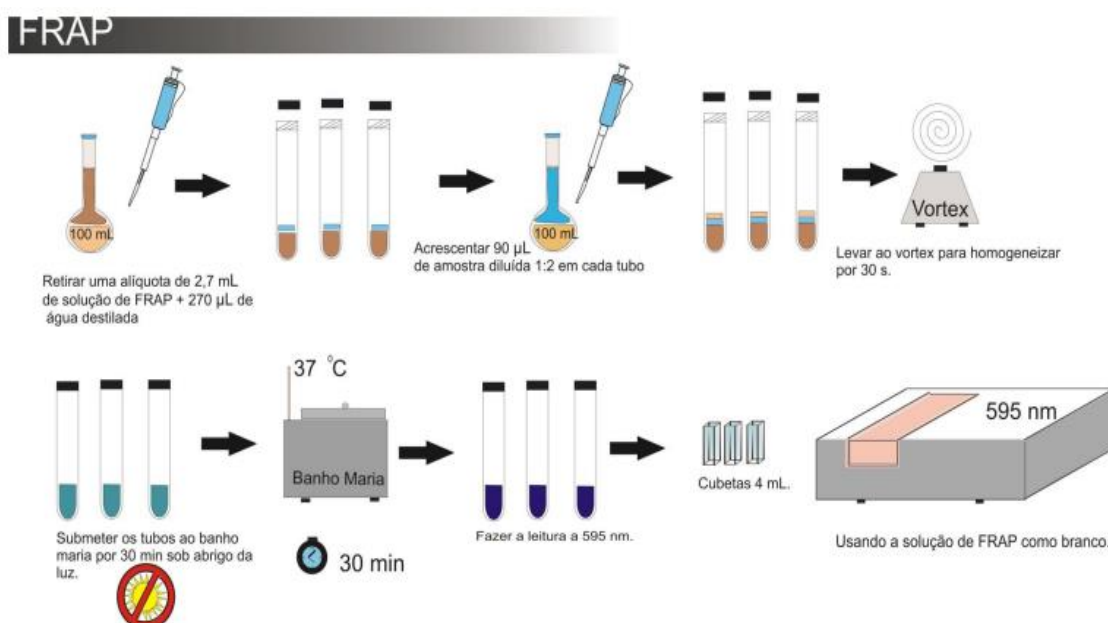


Figura A6 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método FRAP (BARBOSA JÚNIOR et al., 2014)

1.6.3.5 Compostos Fenólicos Totais (TPC)

A determinação de compostos fenólicos totais (TPC) foi feita conforme SWAIN E HILLIS (1959) com algumas modificações. Adicionou-se 1 mL da solução de Folin diluída em água destilada (1:10) a 1 mL do extrato e agitou-se vigorosamente por 1 minuto. Em seguida, deixou-se em repouso por 3 minutos para reagir e 1,5 mL de uma solução de Na_2CO_3 (10% p/p) foi adicionado, agitando-se novamente o sistema. Por fim, manteve-se o sistema ao abrigo da luz por 2 horas, fazendo-se a leitura no espectrofotômetro a 725 nm (Figura A7). Os resultados foram expressos em termos de mg de GAE/g de amostra.

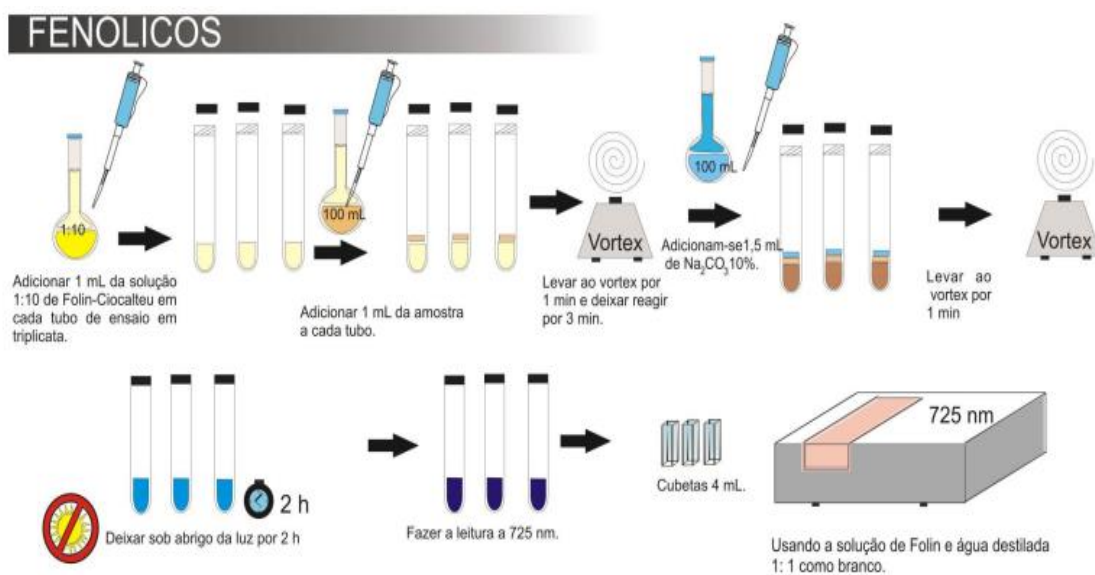


Figura A7 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via Compostos Fenólicos Totais (BARBOSA JÚNIOR et al., 2014).

1.7 Análise Estatística

Usou-se a regressão não-linear para avaliar a adequação da equação de Peleg, para cada condição estudada, usando o programa STATISTICA 7.0. A adequação do modelo entre os dados experimentais e os preditos foi verificada com base no coeficiente de determinação (R^2) e no desvio relativo médio (E), calculado conforme a Equação (12). As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio do software Xlstat Analysis Solution, versão 7.5. As médias obtidas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e tiveram as médias comparadas utilizando o teste de *Tukey* a 5% de significância.

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{exp} - V_{pre}|}{V_{exp}} \quad (12)$$

1.8 Referências

AOAC. Official Methods of Analysis, 13° ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC,1980.

BARBOSA JÚNIOR, J. L.; CORDEIRO MANCINI, M.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 2463–2473, 2013.

BARBOSA JÚNIOR, J. L. *Desidratação osmótica de melão orange: estudo cinético e qualidade do produto*. 2014. 208p. Tese (doutorado em engenharia de alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, faculdade de engenharia de alimentos. Campinas, 2014.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E., & BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

ELER, F. M.; SALVATO, A. M.; MANCINI, M. C. Estudo da desidratação osmótica de fatias de maçã verde. *In*: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 14, 2009. Campinas, São Paulo.

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

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA CALIXTO, F., MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p. 996-1002, 2010.

SWAIN, T., & HILLIS, W. E. The phenolics constituents of *prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.10, p. 63-68, 1959.

THAIPONG, K., BOONPRAKOB, U., CROSBY, K., CISNEROS-ZEVALLOS, L., BYME, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, p. 669-675, 2006.

VON LOESECKE, H. W. **Bananas, chemistry, physiology and technology**. New York: Interscience Publishers, 1949.

APÊNDICE B

Artigo aceito para publicação na Ciência Rural

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Influence of osmotic dehydration process on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of vegetables: a review"

Your paper has been approved provisionally and may still need some corrections or additional information after it has been verified by our staff. So we will contact you in the near future with the suggestions and before the paper is published in the *Ciência Rural*

The comments of the reviewer(s) who reviewed your manuscript are included at the foot of this letter.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the *Ciência Rural*, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,

Dr. Leandro Souza da Silva

Editor-in-Chief, *Ciência Rural*

**Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity,
color and texture of fruits and vegetables: a review**

**Influência da desidratação osmótica sobre os compostos bioativos, capacidade
antioxidante, cor e textura de frutas e olerícolas: uma revisão**

Ana Paula Miguel Landim^{I*} Maria Ivone M. J. Barbosa^I José Lucena Barbosa

Júnior^I

-REVIEW-

ABSTRACT

Osmotic dehydration (OD) is a conservation technique applied to foodstuffs, which promotes partial reduction of water, extends their shelf life and reduces both post-harvest losses and changes in product characteristics. Currently, it has been given emphasis on trying to understand how the process affects the quality of processed vegetables, because process variables can interfere in their antioxidant capacity, color and texture. Moreover, the antioxidant capacity can be affected by chemical changes, leaching losses, reduced moisture and solid gain as well as the present bioactive in the profile of the performed analysis method. In color, the overall changes are caused by temperature increase, which can cause enzymatic and/or non-enzymatic browning, decomposition or entrainment of pigments present in the tissue. Conversely, the osmotic agent has a greater impact on texture, which causes changes in the sensory attributes such as gumminess, even crispness and flavor of the product. Although there is a large

^I Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 23.890-000, Rodovia BR 465, km 7, Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: anapaula_landim@yahoo.com.br

*Corresponding author.

number of studies on the OD, the current scenario in terms of effect on the quality of osmodehydrated products are still incipient, especially in relation to antioxidant capacity. Despite the fact that there is a large number of studies on the OD, current efforts are focused on understanding the process effect on the product quality, notably in relation to antioxidant capacity. Thus, further studies on the internal changes in osmodehydrated foods are needed, since there is a variation of process factors, which may have an impact on the different tissues of the fruit and vegetable crops submitted to OD.

Key words: processing, quality, phytochemicals.

RESUMO

A desidratação osmótica (DO) é uma técnica de conservação de alimentos que promove a redução parcial de água, estende a validade comercial, diminui as perdas pós-colheita e as alterações nas características dos produtos. Atualmente, tem sido dada ênfase à busca do entendimento de como o processo afeta a qualidade dos vegetais desidratados, pois as variáveis do processo podem interferir em sua capacidade antioxidante, cor e textura. Além disso, a capacidade antioxidante pode ser afetada por transformações químicas, perdas por lixiviação, redução da umidade e ganho de sólidos, bem como pelo perfil dos compostos bioativos presentes e método de análise realizado. Quanto à cor, as alterações em geral são provocadas pelo aumento da temperatura, que pode ocasionar escurecimento enzimático e/ou não enzimático, decomposição ou carreamento dos pigmentos presentes no tecido. Por outro lado, o agente osmótico apresenta maior impacto na textura, provocando alterações nos atributos sensoriais como gomosidade, crocância e sabor do produto. Embora exista um grande número de trabalhos abordando a DO, os esforços atuais estão concentrados no entendimento sobre o efeito do processo sobre a qualidade dos produtos, sobretudo em relação à capacidade antioxidante. Dessa

forma, há a necessidade de mais estudos sobre as alterações geradas pela DO nos alimentos, uma vez que há uma variação de fatores do processo, capaz de impactar de diversas formas os diferentes tecidos vegetais das frutas e olerícolas submetidas à DO.

Palavras-chave: processamento, qualidade, fitoquímicos.

INTRODUCTION

Currently, it has been verified a growing demand for processed products of high sensory, functional and nutritional quality. Not only the ready-to-eat ones, but also the ingredients used in many areas of food industry, such as ice cream, dairy, cereals, bakery and confectionery products. Therefore, it has been verified an increase in the searching for processes which preserve the sensory and functional aspects of food (CARVALHO et al., 2006; CHANDRA & KUMARI, 2015).

In order to extend the shelf life of foods, conventional methods of dehydration have been largely applied. However, they usually are associated with reduction of nutritional, sensory and functional quality of the products undergoing these processes. Thus, partial moisture removal process like osmotic dehydration (OD), which reduces substantially these negative effects, has been shown to be a viable alternative in food processing over the past few years (YADAV & SING, 2012; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Fruits (sliced or whole part) can be dehydrated by immersion in concentrated salts or sugar solutions. Thus, three simultaneous mass streams are generated: water loss from the fruit to the solution; migration of solutes from the solution to the fruit and loss of some soluble solids from fruit (such as sugar, minerals and many other water-soluble nutrients) to concentrated solution (RAOULT-WACK, 1994; TORREGIANI & BERTOLO, 2001; YADAV & SING, 2012; NIETO et al., 2013; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Since it does not apply high temperatures for water removal, the OD is more appropriated to some kinds of food than several other techniques, because OD promotes no drastic changes in some important properties, this ensures the preservation of natural compounds and the fruits properties (ANAND & GENITHA, 2011; ALMEIDA et al., 2014; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Moreover, when it is used as pretreatment during the drying process, OD increases the quality of dehydrated fruits and vegetables (ATARES et al., 2011; MERCALI et al., 2011; ALMEIDA et al., 2014), because it minimizes the injury generated by further processes, which are often required to ensure the stability of the final product, once the OD promotes only a partial water removal (RASTOGI et al., 2002; ZHAO et al. 2013; MIMURA et al., 2014; CHANDRA & KUMARI, 2015).

Nonetheless, the mass transfer rates between the solution and the food and the parameters related to the quality of fruits (i.e. the presence of phytochemicals with antioxidant capacity, the color and the texture) are influenced by the solute (type and concentration), agitation and temperature of the osmotic solution, proportion food/solute, shape and size of the food (OSORIO et al., 2007; RASTOGI et al., 2002; CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2011; NIETO et al., 2013; ALMEIDA et al., 2014).

In addition, there is a great interest to evaluate the quality by the nutritional point of view, as well as sensory characteristics, like color and texture variations, because they directly affect the acceptance of dehydrated fruits, since they can suffer physical and chemical changes during their processing (TALENS et al., 2002; OSORIO et al., 2007; CHONG et al., 2013; NIETO et al., 2013; ALMEIDA, et al., 2014).

Although the OD has been target of many studies over the years, most of the works evaluate the process kinetics in terms of water loss and solid gain and only a few studies report the process effect on the functional properties of osmodehydrated foods.

However, it has been verified a great effort on the understanding of the effects related to the mass flows on the physical and chemical properties of the osmodehydrated fruits and vegetables.

Thus, the aim of this research was to provide an overview of the most recent studies, which evaluated the effects of osmotic dehydration on the main attributes related to sensory and functional quality of dehydrated fruits, mainly their antioxidant capacity, color and texture.

Quality parameters: Bioactive compounds and antioxidant capacity

The importance of the consumption of phytochemicals with antioxidant capacity is well known and, thus, studying the impact of osmotic processing on these substances has been required. The chemical compounds in fruits can suffer damages by different variables during the process. Besides, their content can be affected by chemical and biochemical transformations or by the leaching out from water flow. Conversely, the water reduction can generate an increase in the concentration of chemical compounds in the raw material, while the solid gain causes an opposite effect and promotes an apparent variation in concentration of chemical compounds in osmodehydrated fruits (BLANDA et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014).

In Table 1, it is verified that high temperatures are related to negative effects on the antioxidant capacity of bananas (ALMEIDA et al., 2014), because the temperature increase causes a reduction on the membrane selectivity, which results in leaching of water soluble compounds (such as phenolics) to the osmotic solution (DEVIC et al., 2010). Moreover, high temperatures reduce viscosity of the osmotic solution and consequently the external resistance to the mass transfer that accelerates the process (BARBOSA JUNIOR et al., 2013). In addition, the OD process acts on degradation of

some phenolic compounds and, thus, it reduces the antioxidant capacity (WOJDYŁO et al., 2007).

The osmotic agent applied in OD has direct influence on the retention of bioactive compounds and their antioxidant capacity. The use of different solutes generates difference on the retention of these bioactive compounds, and consequently on antioxidant capacity (GIOVANELLI et al., 2012).

ALMEIDA et al. (2014) observed that the use of high concentrations of osmotic solution favored a higher retention of antioxidant capacity. The solute incorporation in the banana tissue had a protector effect because it generates a barrier to soluble solids leaching, mainly those which are responsible for antioxidant capacity, such as tannins and phenolic acids.

Water activity reduction and low O₂ concentration reduce the phenolic compounds degradation rates. These effects arise from the solute penetration and the water loss by the vegetal tissue and the air absence in the food surroundings during the osmotic process, respectively. They reduce the action of enzymes, which could induce the loss of antioxidant capacity of these compounds (QUILES et al., 2005).

Moreover, different fruits have different characteristics regarding retention of phenolic compounds during OD. However, this difference can be correlated to the different phenolic profiles found in fruits, which present different behavior during the process (JACOB & PALIYATH, 2012).

Even though the antioxidant capacity has not been directly evaluated in the processed samples, HEREDIA et al. (2009) reported that the osmotic process had no influence on the lycopene and β -carotene content. However, under high temperatures (50°C), the authors reported a decrease in the lycopene levels.

Conversely in certain processing conditions, some studies have reported an increase in carotenoids concentration, such as lycopene and β -carotene in osmodehydrated tomatoes. According to HEREDIA et al. (2009), this behavior was due to a hypothetical biosynthesis of those carotenoids as a response to the osmotic stress suffered by the fruit during the processing. However, TONON et al. (2007) proposed that OD promotes a disruption in the cell organelles, which could facilitate the further carotenoid extraction procedures and it could lead to an increase in the carotenoids levels.

Carotenoid biosynthesis occurs inside the plastids in the higher plants and it involves many reactions controlled by genetic transcription, which include the enzymatic production that is responsible for the pigment synthesis during the plant growth (OTHMAN et al., 2014; MARTINS et al., 2016). In addition, this biosynthesis needs numerous conditions to occur, which cannot be satisfied during the osmotic process. Thus, the increase in the carotenoids concentration under certain OD conditions needs more investigation.

The high pressure process (HPP) could efficiently improve the yield of flavonoids and other phenolics compounds in different types of vegetables and fruits. This effect is due to cell organelles disruption that improves the phenolic extraction and reduces the destruction flavonoids structure, which results in higher antioxidant capacity of the samples submitted to HPP (JING et al., 2016). Similar results were noticed for some authors who studied grape (CORRALES et al., 2008), watermelon (OMS-OLIU et al., 2009) and strawberry (NUÑEZ-MANCILLA et al., 2011, 2013) residues.

SINGLA et al. (2010) evaluated the effect of OD as pre-treatment to vacuum drying in mushrooms and verified that OD reduced the drying time, which favors a

higher retention of the nutritional substances that are usually instable, when it was exposed to a high temperature for a long time.

Conversely, NOWICKA et al. (2014) verified that OD presented a negative effect on total phenolic content and antioxidant capacity in sour cherry fruits. However, the OD was an important pre-treatment in dehydration, since it reduced the water activity in over 50% and, in this case, on following treatments of convective drying and vacuum microwave drying, the time, the temperature and the microwave power required to complete the dehydration were lower.

Quality parameters: color

Color changes during the osmotic dehydration can be very significant. Therefore, color parameters are evaluated in the fruits before and after the processing (OSORIO et al., 2007). These alterations can occur because of the degradation pigment losses in fruits; browning development during the processing; or increase in pigments concentration caused by water loss, which can increase simultaneously the refractive index of food liquid phase and it impacts mainly in color attributes, such as luminosity and Chroma (TALENS et al., 2002).

Color changes play a crucial role in the food products acceptance and it is related to the pigments alterations in the foods during processing, such as enzymatic or non-enzymatic browning. The use of low temperatures associated with the protector effect that sugar has in some pigments can minimize these alterations during OD process (CHIRALT & TALENS, 2005).

High temperatures cause a more intense browning on osmodehydrated fruits. Chemical reactions, which form browning pigments, are favored by water activity reduction that occurs during the osmotic process. Moreover, high temperatures can favor the browning by chemical and enzymatic reactions that lead to oxidation of

phenolic compounds and Maillard reaction, which involves presence of reducing sugar and amino acids (ATARES et al., 2011; ALMEIDA et al., 2014).

Both temperature and solute concentration are linked to the color changes, which are verified in dehydrated products (Table 2). HEREDIA et al. (2009) reported that the color alteration in dehydrated cherry tomato was more pronounced when the process occurred under high temperature, especially when sucrose was used. This alteration was due to the higher water loss and, thus, a higher lycopene concentration in the tissue. This change indicates that there was no pigment degradation, which results in higher nutritional quality products.

However, the process parameters can distinctly affect the color of different fruits, since these factors depend on the vegetal tissue characteristics, pigments and physicochemical properties, such as tortuosity, permeability, solubility, water activity, etc. ATARES et al. (2011) observed no average differences between the color of fresh and osmodehydrated bananas in all studied conditions of temperature and osmotic solution concentration, which means a higher product color quality that has direct influence on the dehydrated fruits acceptance by consumers.

The application of high concentrated solutions favors higher water loss and it generates a concentration effect on the pigments in the fruit tissue, which lead to alterations in the instrumental color parameters. However, these alterations are lower than the changes caused by other dehydration processes (SILVA et al., 2014). The use of osmotic dehydration as pre-treatment allows the obtainment of dehydrated fruits with more natural color appearance. Many studies could observe a protective effect on the color of fruits and vegetables submitted to osmotic pre-treatment, such as in air-dried carrot (KOWALSKI & MIERZWA, 2011), in lyophilized strawberry (GARCIA-NOGUERA et al., 2012), in frozen mango (ZHAO et al., 2013) and in mango chips

(ZOU et al., 2013). According to KOWALSKI et al. (2013), the use of OD as pre-treatment in banana and beet reduced the time required for drying, which leads to a lower color degradation in the dehydrated products.

Quality parameters: texture

Texture is one of the main qualitative parameters and it is related to the rheological and structural food properties, which can be evaluated by different mechanical parameters, such as firmness, adhesiveness, cohesiveness, gumminess and viscosity (NIETO et al., 2013).

Mechanical properties of vegetal tissues are influenced by cellular swelling, force of connection between cells (middle lamella), cell wall resistance to compression and traction forces, and other factors like size, shape, temperature and strain rate of the sample (NIETO et al., 2013).

Some studies about the effect of osmotic treatment on the texture of fruits and vegetables are presented in Table 3. According to ZHAO et al. (2014), the incorporation of sugar and calcium chloride during OD contributed to the firmness increase in frozen mangoes. The sugar promoted increase in cell integrity and the calcium chloride interacted with the cell structure of the food matrix. OLATIDOYE et al. (2010) observed the same effect during the thawing of the osmotically pre-treated tomatoes, which presented an increase in firmness caused by solute incorporation in the fruit structure.

Loss of firmness is related to pectin and insoluble protopectin degradation, since they are responsible for the structural rigidity of the fruit. Action of pectinase enzymes, mainly the polygalacturonase and polymethylesterase in ripe fruits, causes pectic substances solubilization. Reduction of respiration rate in fruits reduces the enzyme activity, which results in a lower effect on the food texture (FERRARI et al., 2013).

Presence of calcium lactate also causes a protector effect on the texture, since these ions act on vegetal tissue in which they could form complexes with carboxyl groups of pectin and, thus, produce an increase in the firmness. This effect reduces the damage caused to cell wall structure by the dehydration process. Moreover, the use of these salts can increase the water loss rates, which reduces the water activity of the processed products (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2014; ZHAO et al., 2014).

According to TORRES et al. (2006), the higher concentrations of calcium lactate, higher the food processed firmness. Conversely, at very high concentrations an opposite effect could be verified, in which the rupture of the cell membranes promoted by pectin dissolution and consequently causing a considerable reduction in the tissue firmness (SILVA et al., 2014).

Efficiency of calcium on the firmness improvement is influenced by the fruit tissue structure. MORAGA et al. (2009) have reported different mechanical properties in the tissue of osmodehydrated toranja, mainly when compared to other fruits, which have parenchymatic tissue. The toranja tissue is formed by segments of long cells filled with juice and part of it is extracted during the cutting process of samples that influenced the mechanical behavior of this fruit.

According to MAVROUDIS et al. (2012), the temperature plays an important role on the firmness of osmodehydrated apples. At higher temperatures, it is verified a reduction on the wall turgor (via water loss and solid gain by cells) and an increase on temperature-induced tissue softening. These effects occur simultaneously, are temperature-induced by different ways and responsible for the overall effect of this factor on the texture.

Different variations in process parameters (temperature, solution and fruit) result in different mass transfer kinetics during the OD and affect the composition of vegetal

tissue in distinct ways. These effects promoted unequal physico-chemical changes in osmodehydrated products (JACOB & PALIYATH, 2012; NIETO et al., 2013).

CONCLUSION

Osmotic dehydration plays an important role in the preservation of the sensory and functional attributes of processed food, and also reduces the thermal and oxidative injuries, when used as pre-treatment to other preservation technics. However, despite of being a largely studied process, studies aimed to understand the effect of this process on the antioxidant capacity of osmodehydrated products are lacking. Thus, more studies by this perspective are required. Moreover, the different variables involved in the process act in distinct ways over color and texture characteristics of the different vegetal tissues submitted to OD.

Studies which optimize the process regarding the conservation of bioactive compounds, their antioxidant capacity and the maintenance of color and texture, can enlarge industrial application of this technique and provide high sensorial and functional quality products.

REFERENCES

- ALMEIDA, J.A.R. et al. Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.38, p.1-9, 2014. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.12321/pdf>. Accessed: Dec. 24, 2014. doi:10.1111/jfpp.12321.
- ANAND, P.; GENITHA T.R. Physico chemical and sensory qualities of osmo dehydrated banana (*Musa paradisiaca*). **Progressive Agriculture**, v.1, p.330-336, 2011.

ATARES, L. et al. Process conditions effect on the quality of banana osmotically. **Journal of Food Engineering**, v.103, p.401-408, 2011. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410005479#>>. Accessed: Jan. 08, 2015. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.11.010.

BARBOSA JÚNIOR, J.L. et al. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, v.48, p.2463-2473, 2013. Available from: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.12237/pdf>>. Accessed: Dec. 22, 2014. doi: 10.1111/ijfs.12237.

BLANDA, G. et al. Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. **Food Science and Technology**, v.42, p.30-36, 2009. Available from: <<http://65.54.113.26/Publication/41282657>>. Accessed: Jan. 02, 2015. doi: 10.1016/j.lwt.2008.07.002.

CARVALHO, P. et al. Hortaliças como alimentos funcionais. **Revista Horticultura Brasileira**, v.24, p.397-404, 2006. Available from: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v24n4/01.pdf>>. Accessed: Feb. 03, 2015. doi: 10.1590/S0102-05362006000400001.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.240-246, 2011. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410006059>>. Accessed: Feb. 03, 2015. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.10.034.

CHANDRA, S.; KUMARI, D. Document recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.55, p.552-561, 2015.

CHIRALT, A.; TALENS P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.167-177, 2005. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404003322>>. Accessed: Dec. 17, 2014. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.055.

CHONG, C.H. et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v.141, p.3889-3896, 2013. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461300819>>. Accessed: Jan. 03, 2015. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.042.

CORRALES, M. et al. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.9, p.85-91, 2008. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856407000756>>. Accessed: Jan. 15, 2015. doi: 10.1016/j.ifset.2007.06.002.

DEVIC, E. et al. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.606-614, 2010. Available from: <<http://pubs.acs.org/doi/ipdf/10.1021/jf903006g>>. Accessed in: Jan. 15, 2015. doi: 10.1021/jf903006g.

FERRARI, C. C. et al. Effect of osmotic dehydration and pectin edible coating on quality and shelf life of fresh-cut melon. **Food and Bioprocess Technology**, v.4, p.1-

12, 2013. Available from:
<<http://download.springer.com/static/pdf/567/art%253A101007%252Fs11947011-07046.pdf>>. Accessed: Jan. 01, 2015. doi: 10.1007/s11947-011-0704-6.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.1-6, 2012. Available from:
<<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-012-0724-x#page-1>>. Accessed: Mar. 03, 2015. doi: 10.1007/s13197-012-0724-x.

GIOVANELLI, G. et al. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Research International**, v.49, p.263-271, 2012. Available from:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912003249>>. Accessed: Jan. 08, 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2012.08.015.

HEREDIA, A. et al. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p.285-294, 2009. Available from:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157509000805>>. Accessed: Mar. 04, 2015. doi: 10.1016/j.jfca.2008.11.018.

JACOB, J.K.; PALIYATH, G. Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. **Food Research International**, v.45, p.93-102, 2012. Available from:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691100593X?np=y>>. Accessed: Jan. 13, 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2011.10.017.

JING, J. et al. Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and bioactivities of *Cyperus esculentus* (*C. esculentus* L.) leaves flavonoids. **Food Chemistry**, v.192, p.319-327, 2016. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615009899>>. Accessed: Feb. 13, 2016. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.06.097.

KOWALSKI, S.J.; MIERZWA, D. Influence of preliminary osmotic dehydration on drying kinetics and final quality of carrot (*Daucus carota* L.). **Chemical and Process Engineering**, v.32, p.185-194, 2011. Available from: <<http://processengineering.net/chpe/download/02Influenceofpreliminaryosmoticdehydrationon.pdf>>. Accessed: Jan. 02, 2015. doi: 10.2478/v10176-011-0014-6.

KOWALSKI, S.J et al. Quality aspects of fruit and vegetables dried convectively with osmotic pretreatment. **Chemical and Process Engineering**, v.34, p.51-62, 2013. Available from: <<http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-61d1b53f-29e8-4d68-a4ca-386129f435bb>>. Accessed: Jan. 02, 2015. doi: 10.2478/cpe-2013-0005.

MARTINS, G.F. et al. The ripening influence of two papaya cultivars on carotenoid biosynthesis and radical scavenging capacity. **Food Research International**, v.81, p.197-202, 2016. Available from: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996915302660>>. Accessed: Mar. 10, 2016. doi: 10.1016/j.foodres.2015.11.027.

MAVROUDIS, N.E et al. Osmotic processing: effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. **Food Research International**, v.48, p.839-847, 2012. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912002384>>. Accessed: Jan. 02, 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2012.06.034.

MERCALI, D.G. et al. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum). **LWT – Food Science and Technology**, v.44, p.82-91, 2011. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381000229X>>. Accessed: Jan. 14, 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2011.10.017.

MIMURA, H.J. et al. Pré-tratamentos na secagem e reidratação de champignon em fatias. **Ciência Rural**, v.44, p.717-722, 2014. Available from: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n4/a12014cr2013-0785.pdf>>. Accessed: Jan. 03, 2015. doi: 10.1590/S0103-84782014000400024.

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**, v.90, p.372-379, 2009. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408003427>>. Accessed: Mar. 03, 2015. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.07.007.

NIETO A.B. et al. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v.119, p.104-114, 2013. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413002148>>. Accessed: Dec. 06, 2014. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.04.032.

NOWICKA, P. et al. Influence of osmodehydration pretreatment and combined drying method on the bioactive potential of sour cherry fruits. **Food and Bioprocess Technology**, v.8, p.824-836, 2014. Available from: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11947-014-1447-y>>. Accessed: Mar. 03, 2015. doi: 10.1007/s11947-014-1447-y.

NUÑEZ-MANCILLA, Y. et al. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). **LWT - Food Science and Technology**, v.52, p.151-156, 2013. Available from : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812001053>>. Accessed: Jan. 03, 2015. doi: 10.1016/j.lwt.2012.02.027.

OLATIDOYE, O.P. et al. Effect of osmodehydrofreezing on the quality attributes of frozen tomato. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v.9, p.780-789, 2010.

OMS-OLIU, G. et al. Effect of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. **Food Chemistry**, v.115, p.1312-1319, 2009. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609000909>>. Accessed: Jan. 20, 2015. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.049.

OSORIO, C. et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.8, p.353-359, 2007. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856407000379>>. Accessed: Nov. 30, 2014. doi:10.1016/j.ifset.2007.03.009.

OTHMAN, R. et al. Carotenoid biosynthesis regulatory mechanisms in plants. **Journal of Oleo Science**, v.63, n.8, p.753-760, 2014. Available from: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25017864>>. Accessed: Mar. 10, 2016. doi: 10.5650/jos.ess13183.

QUILES, A. et al. Polyphenoloxidase (PPO) activity and osmotic dehydration in Granny Smith apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1017-

1020, 2005. Available from:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2062/pdf>>. Accessed: Feb. 03, 2015.
doi: 10.1002/jsfa.2062.

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

RASTOGI, N.K. et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, p.48-59, 2002.
Available from:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224402000328>>. Accessed:
Nov. 26, 2014. doi:10.1016/S0924-2244(02)00032-8.

SILVA, K.S. et al. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v.134, p.37-44, 2014. Available from:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020>>. Accessed: Jan. 01, 2015. doi:
10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020.

SILVA, K.S. et al. Osmotic dehydration of pineapple with impregnation of sucrose, calcium and ascorbic acid. **Food and Bioprocess Technology**, v.7, p.385-397, 2013.
Available from: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1049-0#page-1>>.
Accessed: Jan. 01, 2015. doi: 10.1007/s11947-013-1049-0.

SINGLA, R. et al. Antioxidant activities and polyphenolic properties of raw and osmotically dehydrated dried mushroom (*Agaricus bisporous*) snack food. **International Journal of Food Properties**, v.13, p.1290-1299, 2010. Available from:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942910903061851?journalCode=ljfp20#.VKlvoivF_oE>. Accessed: Jan. 02, 2015. doi: 10.1080/10942910903061851.

TALENS, P. et al. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydro-freezing of kiwi fruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.3, p.191-199, 2002.

TONON, R.V. et al. 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**, v.82, p.509-517, 2007. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407001756>>. Accessed: Mar. 10, 2016. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.03.008.

TORREGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877400002107>>. Accessed: Nov. 25, 2014. doi: 10.1016/S0260-8774(00)00210-7.

TORRES, J.D. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.240-246, 2006. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405001494#>>. Accessed: Dec. 31, 2005. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.017.

WOJDYŁO, A. et al. Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.57, p.601-605, 2007.

YADAV, A.S.; SING, S.V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.1654-1673, 2012. Available from: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-012-0659-2>>. Accessed: Jan. 15, 2015. doi: 10.1007/s13197-012-0659-2.

ZHAO, J.H. et al. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality

attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v.49, p.960-

968, 2014. Available from:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942910701671349#.VJgcr14AA>>.

Accessed: Dec. 16, 2014. doi: 1111/ijfs.12388.

ZOU, K. et al. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.51, p.253-259, 2013.

Available from:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812004537>>. Accessed:

Dec. 17, 2014. doi:10.1016/j.lwt.2012.11.005.

Table 1 - Main effects of osmotic dehydration (OD) process on bioactive compounds and antioxidant capacity of foods.

Product	Authors
Main observations	
<i>Banana</i>	
- Different temperatures were evaluated (30, 40 and 50 °C). The highest retention of phenolics compounds was observed at lower temperatures.	ALMEIDA et al. (2014)
<i>Strawberry</i>	
- A combined HPP and OD processing presented a higher preservation in antioxidant capacity, phenolics and vitamin C contents.	NUÑEZ-MANCILLA et al. (2013)
- High pressure promotes higher preservative effect on phenolics content.	
<i>Blueberry</i>	
- Sucrose solutions provided higher anthocyanins retention and glucose/fructose solutions provided higher total phenolics content and antioxidant capacity.	GIOVANELLI et al. (2012)
<i>Apple</i>	
- High temperature (60 °C) reduces phenolics and vitamin C contents.	DEVIC et al. (2010)
<i>Mushroom</i>	
- OD at 45 °C did not affect antioxidant capacity and total phenolics content (flavonoids and non-flavonoids).	SINGLA et al. (2010)
<i>Cherry tomato</i>	
- OD at 50 °C promoted a reduction on lycopene and β -carotene contents.	HEREDIA et al. (2009).
- 2% of salt solutions reduced lycopene content. Conversely, sucrose solutions promoted preservation of this phytochemical.	

Table 2 - Main effects of osmotic dehydration (OD) on color attributes of foods.

Product	Authors
Main observations	
<i>Banana</i>	
- OD did not affect the color parameters (a^* , b^* and ΔE), but temperature presented effect on L^* value.	ALMEIDA et al. (2014)
<i>Mango</i>	
- Glucose showed more intense effect on color parameters than sucrose and maltose.	ZHAO et al. (2014)
<i>Pineapple</i>	
- Higher concentration sucrose promoted an increase on C^* values of osmo-dehydrated pineapples.	SILVA et al. (2014)
<i>Banana and beet</i>	
- Higher times and solution concentration promoted lower color changes on pre-treated (OD) dried bananas and beet.	KOWALSKI et al. (2013)
<i>Cherry tomato</i>	
- The L^* values were reduced.	HEREDIA et
- High temperature favored the increase on a^* and b^* values, especially using sucrose as osmotic agent.	al. (2009).
<i>Strawberry</i>	
- An reduction on Hue was verified after long immersion times.	GARCIA-
- The impregnated sucrose in the tissue performed an important role on the changes of L^* and C^* values.	NOGUERA et al. (2012).

Table 3 - Main effects of osmotic dehydration (OD) on texture of foods.

Product	Authors
Main observations	
<i>Manga</i>	ZHAO et al.
- An increase on firmness, independently if the slow- or quick-freezing step were utilized, after OD.	(2014)
<i>Melão</i>	FERRARI et al.
- Pre-treated samples by OD and associated to edible coating did not differ significantly from fresh fruits.	(2013)
<i>Mango</i>	TORRES et al.
- OD reduced the hardness of samples. However, the use of calcium in the solution promoted the opposite effect.	(2006)
- Higher solute concentrations provided firmer and more resistant to deformation samples, and the presence of calcium lactate favored this effect.	
<i>Pineapple</i>	SILVA et al.
- Lower calcium lactate concentrations promoted an increase on firmness in relation to higher ones.	(2014)
<i>Apple</i>	MAVROUDI S et al.
- Higher temperatures caused more impact on texture, resulting in considerable loss of firmness in the tissue.	(2012).
<i>Grapefruit</i>	MORAGA et al.
- An increase on the mechanical parameters (strain-stress curve parameters) was observed.	(2009).
- No differences were observed in the texture of the samples osmo-dehydrated with or without calcium lactate.	

Apêndice C

Tabela 1C – Valores de perda de água para a desidratação osmótica de banana para cada ensaio da cinética de desidratação.

Tempo (min)	Perda de água																	
	XM						MIX						FOS					
	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)
30	13,96	0,69	11,85	7,60	11,50	3,85	12,72	4,13	10,81	4,05	13,67	7,34	10,89	8,52	10,13	16,17	11,61	7,36
60	20,00	10,42	19,16	10,60	20,52	9,02	16,84	2,49	13,30	0,86	23,44	5,24	16,26	3,64	20,23	7,57	20,16	6,99
90	22,58	3,66	26,37	6,13	26,55	5,04	22,41	9,25	18,10	3,78	23,04	5,90	18,66	5,70	23,47	7,53	28,83	8,69
120	27,01	6,68	29,53	4,29	32,53	2,10	24,91	5,75	24,18	4,07	28,13	4,07	22,85	4,15	30,74	5,56	35,04	8,90
180	32,21	9,05	34,97	3,66	41,27	3,42	29,72	5,18	27,97	3,74	36,06	2,57	29,48	4,57	34,47	6,57	40,92	4,91
240	35,85	2,60	37,39	5,32	44,31	4,08	31,45	3,01	32,61	3,43	38,06	3,04	33,93	4,88	37,63	5,52	44,28	4,22
360	36,33	5,78	41,31	0,55	47,93	2,80	35,68	0,76	38,86	2,22	39,74	1,48	38,2	3,00	41,64	6,89	48,86	2,93
720	44,58	6,85	45,29	0,90	50,56	1,70	45,08	1,43	48,74	1,35	47,06	2,44	44,23	4,48	48,05	6,19	50,81	5,10
1440	47,17	5,17	46,87	4,28	54,29	1,98	47,15	2,12	49,03	0,16	49,123	3,14	46,13	4,00	51,45	5,04	51,13	4,48

XM: xarope de milho; Mix: mistura de xarope de milho e fruto-oligosacarídeo; FOS: fruto-oligosacarídeo; CV: coeficiente de variação

Tabela 2C – Valores de ganho de sólidos para a desidratação osmótica de banana para cada ensaio da cinética de desidratação.

Tempo (min)	Ganho de Sólidos																	
	XM						MIX						FOS					
	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)	40 °C	CV (%)	50 °C	CV (%)	60 °C	CV (%)
30	4,44	13,87	1,80	83,40	0,51	290,936	2,70	36,15	0,62	55,77	0,44	176,03	3,24	87,11	-2,02	-145,81	-0,56	-190,45
60	4,94	13,44	1,47	52,32	1,14	58,059	2,70	20,64	1,97	24,79	2,25	35,27	3,62	9,66	1,38	74,68	2,57	75,62
90	5,37	18,63	3,00	23,27	2,2	51,466	6,46	22,00	0,28	164,77	4,68	11,29	2,56	15,74	-0,82	-220,84	1,18	308,52
120	5,65	9,54	3,01	22,09	3,45	49,971	6,45	35,13	0,79	56,25	4,45	31,80	2,55	32,39	1,34	68,90	5,63	43,47
180	5,11	21,21	3,73	28,63	4,03	13,517	4,29	16,17	1,30	59,99	2,94	42,06	4,71	15,94	2,10	15,92	7,35	63,21
240	5,51	12,12	4,85	27,93	3,96	34,122	1,64	44,61	0,74	14,57	3,39	13,83	4,83	4,77	2,92	32,16	5,94	65,56
360	4,71	9,13	4,65	4,85	3,77	11,072	3,37	10,44	0,36	210,29	4,68	20,50	5,41	9,33	2,04	43,72	7,79	53,51
720	5,64	47,03	4,14	39,76	3,74	36,259	4,02	43,55	1,48	82,26	1,07	69,72	4,76	12,84	0,41	31,27	4,56	92,76
1440	6,41	46,76	5,60	13,51	6,85	28,007	3,82	24,42	1,34	115,03	2,14	1,19	4,64	44,37	2,10	61,24	4,88	74,17

XM: xarope de milho; Mix: mistura de xarope de milho e fruto-oligosacarídeo; FOS: fruto-oligosacarídeo; CV: coeficiente de variação