



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO SAPOTI
(Achras zapota L.)

LÍVIA MURITIBA PEREIRA DE LIMA

Recife

2013

LÍVIA MURITIBA PEREIRA DE LIMA

OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO SAPOTI

(Achras zapota L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADORA: Prof^ª. Dr^ª. Samara Alvachian Cardoso Andrade

CO-ORIENTADORA: Prof^ª. Dr^ª. Silvana Magalhães Salgado

Recife

2013

Ficha Catalográfica

L732o Lima, Livia Muritiba Pereira de
Otimização da desidratação osmótica do sapoti (Achras
Zapota L.) / Livia Muritiba Pereira de Lima. -- Recife, 2013.
82 f.

Orientador (a): Samara Alvachian Cardoso Andrade.
Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural
de Pernambuco, Departamento de Ciência Doméstica, Recife,
2013.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Cinética 2. Difusão 3. Alimentos – Análise sensorial
4. Microscopia 5. Sapoti I. Andrade, Samara Alvachian
Cardoso, orientadora II. Título

CDD 640

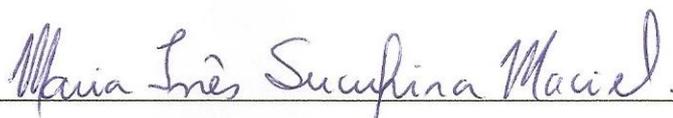
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO SAPOTI
(Achras zapota L.)

Por Livia Muritiba Pereira de Lima

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 24/07/2013 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:



Profª Drª Maria Inês Sucupira Maciel

Universidade Federal Rural de Pernambuco



Profª Drª Margarida Angélica da Silva Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco



Profª Drª Olga Martins Marques

Universidade Federal de Pernambuco

Dedico,
À Deus, razão de tudo que sou.
À meu irmão Victor Muritiba e
À meu amor Victor Coimbra,
pelo apoio, incentivo, confiança e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e força para realização dos meus sonhos.

À meus pais, Maurício e Lourdes, pelo incentivo aos estudos.

À meu irmão, Victor Muritiba, motivo do meu viver, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis.

À meu noivo, futuro marido e eterno namorado, Victor Coimbra, por acreditar em mim mais do que eu mesma, pelo companheirismo, dedicação, cumplicidade e paciência.

À minha segunda família, meus sogros Niedja e Fernando, e Dona Conceição, por todo apoio e presença em todos os momentos.

À todos os familiares e amigos que torceram e colaboraram para conclusão desta etapa.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PGCTA), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de execução deste trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) por meio do edital 14/2011 – Universal através do processo 473208 / 2011-3, pelo apoio financeiro à pesquisa.

À CAPES, pelo auxílio financeiro, possibilitando a dedicação ao curso.

Às minhas orientadoras Prof^a. Dr^a. Samara Alvachian Cardoso Andrade e Prof^a. Dr^a. Silvana Magalhães Salgado, pela amizade, incentivo, por toda dedicação e exemplo de profissionais e competência.

À Prof^a. Dr^a. Celiane Gomes Maia da Silva por toda atenção que teve comigo no decorrer do mestrado.

Aos professores que compõem o PGCTA por todo conhecimento compartilhado, contribuindo de forma significativa para minha formação.

À Prof^a. Dr^a. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel pelo auxílio na interpretação das imagens de Microscopia Eletrônica de Transmissão.

À Prof^a. Dr^a. Josenilda Maria da Silva pela intermediação junto ao CETENE (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste).

Aos Técnicos em laboratório da UFPE Vivaldo, Suélen e Alexandre, por toda ajuda que me deram.

À Técnica em laboratório do CETENE, Josy, pela ajuda no preparo das amostras para análise de microscopia.

Aos meus colegas de turma do mestrado Alexandre, Hayanna, Jackeline, Náira e Renata pelo auxílio nos experimentos e por dividirem momentos de angústia e descontração.

Aos funcionários e colegas do Departamento de Economia Doméstica.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Resumo

O Sapoti (*Achras zapota L.*) é muito apreciado no nordeste brasileiro, porém devido a sua perecibilidade, requer aplicação de processos tecnológicos que aumentem sua vida útil, preservando suas características de qualidade. A preservação pelo controle de umidade tem a finalidade de reduzir as perdas geradas por reações metabólicas que ocorrem nestes frutos após a colheita, dentre estes tratamentos se destaca o processo de desidratação osmótica, que vem sendo utilizado principalmente como tratamento prévio à alguns processos convencionais. Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo otimizar a desidratação osmótica do referido fruto. Na sua implementação foram realizados estudos cinéticos por meio de planejamento fatorial 2^2 , para determinar a influência das variáveis independentes: concentração do agente osmótico e tempo de imersão sobre os coeficientes de difusão da água e da sacarose. Na sequência, com o objetivo de diminuir a incorporação de sólidos foi aplicado um planejamento fatorial 2^3 , para avaliar a influência das variáveis independentes: temperatura, tempo de imersão e concentração da solução osmótica sobre a perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e IED (Índice de Eficiência de Desidratação). O processo de secagem foi completado em estufa, com ventilação forçada a $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A partir dos resultados destas etapas procedeu-se a otimização do processo por meio da avaliação das figuras de superfície de resposta geradas utilizando o planejamento 2^3 , para determinar as melhores temperaturas, tempos de imersão e concentrações da solução osmótica. Os dois ensaios com melhores valores de IED foram submetidos à análise sensorial e o produto selecionado foi submetido à análise de composição centesimal, físico-química, microbiológica e estrutural. Os resultados demonstraram: a maior influência do tempo de imersão sobre o coeficiente de difusão da água e sacarose; máxima PU e GS na concentração da solução osmótica de 60°Brix ; influência significativa da temperatura e concentração da solução osmótica sobre a PU e GS; influência significativa da concentração da solução osmótica e tempo de imersão sobre o IED; as melhores condições, utilizando IED como parâmetro, foram 34°C ; 56°Brix ; 210 minutos e 40°C ; 50°Brix ; 165 minutos. O produto elaborado à 40°C ; 50°Brix ; 165 minutos obteve maiores notas nos atributos sensoriais e conformidade com os padrões microbiológicos; a desidratação gerou redução de turgor e ruptura das paredes celulares do sapoti.

Palavras-chave: cinética, coeficiente de difusão, análise sensorial, microscopia, sapoti.

Abstract

The Sapodilla (*Achras zapota* L.), is widely appreciated in northeastern Brazil, but owing to its perishability requires application of technological processes that enhance your shelf life, preserving their quality characteristics. The preservation by moisture control aims to reduce losses generated by metabolic reactions that occur in these fruits after harvest, among these treatments highlights the osmotic dehydration process, which has been used primarily as a pretreatment to some conventional processes. Therefore, this research aims to optimize the osmotic dehydration of said fruit. In its implementation kinetic studies were performed using a factorial design 2^2 to determine the influence of the independent variables: osmotic agent concentration and immersion time on the diffusion coefficients of water and sucrose. Further, with the goal of reducing solid incorporation was applied 2^3 factorial design to evaluate the influence of independent variables: temperature, immersion time and concentration of osmotic solution on water loss (WL), solid gain (SG) and DEI (Dehydration Efficiency Index). The drying was completed in oven with forced ventilation at $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. From the results of these steps proceeded up the optimization process by evaluating the response surface figures generated using the 2^3 planning to determine the best temperature, immersion time and concentration of the osmotic solution. The two trials with better values of DEI were subjected to sensory analysis and the selected product was subjected to analyzes of chemical composition, physico-chemical, microbiological and structural. The results showed: the greatest influence of immersion time on the diffusion coefficient of water and sucrose; maximum WL and SG in osmotic solution concentration of 60°Brix; significant influence of temperature and osmotic solution concentration on the WL and SG; significant influence osmotic solution concentration and immersion time on the DEI; the best conditions using DEI as parameters were 34°C, 56°Brix, 210 minutes and 40°C, 50°Brix; 165 minutes. The product prepared at 40°C, 50°Brix, 165 minutes showed higher scores on sensory attributes and compliance with the microbiological standards; dehydration caused reduced turgor and rupture the cell walls of the sapodilla.

Keywords: kinetics, diffusion coefficient, sensory analysis, microscopy, sapodilla.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Sapoti.....	15
2.2. Desidratação Osmótica.....	16
2.2.1. Fundamentos do processo.....	16
2.2.2. Variáveis do processo.....	19
2.2.2.1. Permeabilidade do tecido.....	19
2.2.2.2. Tipo de agente osmótico.....	20
2.2.2.3. Concentração e Temperatura da solução osmótica.....	21
2.2.2.4. Agitação e Tempo de imersão.....	23
2.2.2.5. Geometria do fruto e Pressão do sistema.....	24
3. REFERÊNCIAS.....	26
4. OBJETIVO.....	34
4.1. Objetivo Geral.....	34
4.2. Objetivos Específicos.....	34
5. RESULTADOS.....	35
5.1. ARTIGO I: Avaliação do coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do sapoti (<i>Achras zapota L.</i>).....	35
5.2. ARTIGO II: Otimização da desidratação osmótica do sapoti (<i>Achras zapota L.</i>).....	53
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	82

Lista de Figuras

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico.....18

ARTIGO I: Avaliação do coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Figura 1. Cinética da perda de água no sapoti durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose.....42

Figura 2. Cinética do ganho de sólidos no sapoti durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose.....43

Figura 3. Microestruturas do sapoti *in natura*.....45

Figura 4. Diagrama de Pareto para o coeficiente de difusão aparente da água.....47

Figura 5. Diagrama de Pareto para o coeficiente de difusão aparente da sacarose.....47

ARTIGO II: Otimização da desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Figura 1. Superfície de resposta da perda de umidade (PU) em função a Concentração da solução de sacarose (°Brix) e Temperatura (°C).....64

Figura 2. Superfície de resposta do ganho de sólidos (GS) em função do Tempo de imersão (minutos) e Temperatura (°C).....66

Figura 3. Superfície de resposta do ganho de sólidos (GS) em função da Concentração da solução de sacarose (°Brix) e Temperatura (°C).....67

Figura 4. Superfície de resposta do índice de eficiência de desidratação (IED) em função do Tempo de imersão (minutos) e Concentração da solução de sacarose (°Brix) com Temperatura igual a 40°C.....	68
Figura 5. Superfície de resposta do índice de eficiência da desidratação (IED) em função do Tempo de imersão (minutos) e Temperatura (°C).....	69
Figura 6. Microestruturas do sapoti <i>in natura</i> (a, b).....	74
Figura 7. Microestruturas do sapoti osmoticamente desidratado (a); áreas de ruptura da parede celular (b).....	76

Lista de Tabelas

ARTIGO I: Avaliação do coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Tabela 1. Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica do sapoti.....39

Tabela 2. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da água durante o tratamento osmótico do sapoti.....46

Tabela 3. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da sacarose durante o tratamento osmótico do sapoti.....46

ARTIGO II: Otimização da desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Tabela 1. Níveis codificados e decodificados das variáveis independentes.....58

Tabela 2. Efeito das variáveis independentes sobre a PU, GS, IED do sapoti.....62

Tabela 3. Coeficientes de regressão da equação quadrática para PU, GS e IED.....63

Tabela 4. Média das notas do teste de aceitação do sapoti desidratado.....69

Tabela 5. Percentual das notas obtidas na intenção de compra para os ensaios 7 e 9.....70

Tabela 6. Análise microbiológica de sapoti desidratado osmoticamente (ensaio 9).....70

Tabela 7. Composição centesimal do sapoti *in natura* e do desidratado osmoticamente (em 100g do produto).....71

Tabela 8. Características físico-químicas do sapoti *in natura* e desidratado osmoticamente.....72

1.INTRODUÇÃO

O sapotizeiro, planta originária da América Central, adaptou-se em praticamente todo o Brasil. No Nordeste brasileiro, as condições edafoclimáticas adequadas para produção do sapotizeiro, associadas ao uso da fertirrigação, tem favorecido a produção de frutos durante quase todo o ano (BANDEIRA et al., 2003).

O sapoti apresenta formato ovoide, casca marrom, polpa granulada marrom, agradável e peculiar sabor adocicado, levemente adstringente, e na maioria das vezes é consumido na forma *in natura* (JAIN; JAIN, 1998; MORAIS et al., 2006).

Apesar da ampla aceitação, o sapoti é raro fora das regiões tropicais, o que se deve em parte à sua alta perecibilidade, pois por ser climatérico, seu amadurecimento sob condições naturais é rápido, dificultando sua conservação e comercialização (DAMASCENO et al., 2008).

Existe a necessidade de se buscar formas de processamento do fruto para prolongar o período de consumo, reduzindo as perdas devido à deterioração e aumentando a sua estabilidade, permitindo assim sua comercialização para regiões distantes de sua produção (DAMASCENO et al., 2008).

A secagem, o mais antigo processo de conservação de alimentos desenvolvido pelo homem, apresenta-se como alternativa para solucionar e/ou minimizar os problemas acima, além de agregar valor ao produto e reduzir perdas, dentro dos quais se destaca o tratamento osmótico, que vem sendo utilizado principalmente como pré-tratamento a alguns processos convencionais, como a secagem ao ar. Esta técnica consiste na imersão do fruto em uma solução hipertônica para remover parte da água do fruto, e esta remoção da água se dá pelo gradiente de pressão entre a solução osmótica e a fruta (SILVA et al., 2012).

Neste contexto, a desidratação osmótica apresenta-se como alternativa para reduzir em média de 20% a 50% a umidade inicial da fruta. Este processo envolve mecanismos de absorção de açúcar e remoção de água, e, como ambos são dependentes da temperatura e concentração, espera-se que estes parâmetros exerçam influência na velocidade de desidratação (CASTRO-GIRÁLDEZ, 2011).

Podem ser citadas vantagens da desidratação osmótica sobre outros processos de secagem, como maior retenção de componentes voláteis e da cor natural, sem utilização de conservantes; inibição de escurecimento enzimático, durante a subsequente secagem;

baixo consumo de energia e melhora da qualidade final do produto (CHAVARRO-CASTRILLÓN et al., 2006; PARK; YADO; BROD, 2001; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006).

Diante do exposto torna-se válida a realização desta pesquisa, tendo como objetivo a aplicação da desidratação osmótica em sapoti, procurando manter suas características *in natura* e oferecer ao produtor uma nova alternativa para preservar e comercializar o referido fruto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sapoti

O sapotizeiro (*Achras zapota L.*), espécie pertencente à família Sapotaceae, é nativo da América Central, incluindo o Sul do México, mas difundiu-se por todas as regiões tropicais do mundo, como América do Sul, Índias Ocidentais, na Índia, e Flórida, nos Estados Unidos (GOMES, 2006; MICKELBART, 1996).

A planta pode atingir até 15 metros de altura, é mais produtiva em altitudes inferiores a 400 metros, apesar de desenvolver-se, relativamente bem, em altitudes acima de 1000 metros. O desenvolvimento do sapotizeiro é favorecido por temperatura acima de 28°C, suportando longos períodos de seca. A produtividade é, no entanto, reduzida em ambientes de baixas temperaturas (BANDEIRA et al., 2003)

As sapotáceas, de modo geral, adaptam-se a uma ampla variedade de solos. Assim, embora se desenvolvam e cresçam em solos muito pobres, têm preferência por solos silício-argilosos e argilo-silicosos, profundos, bem drenados, férteis ou bem adubados (BANDEIRA et al., 2003; GOMES, 2006).

Apesar dessa planta adaptar-se às mais diferentes condições de solo, clima e altitude, seu desenvolvimento e produção são favorecidos por altas temperaturas e umidade, fato que propiciou boa adaptação do sapotizeiro em praticamente todo o Brasil, sendo produzido principalmente nos litorais e serras nordestinas, mas também é possível observar o desenvolvimento e produção de sapotizeiros nos planaltos mais baixos do centro-oeste e sudeste (GOMES, 2006; MORAIS et al., 2006).

O fruto do sapotizeiro era denominado pelos Astecas de "tzapotl" e nos países da América com idioma espanhol era chamado de sapota, zapotilha e zapota Chico, origem dos nomes sapoti e sapota usados no Brasil (GOMES, 2006). Os diferentes nomes que o fruto recebe são, provavelmente, devido as muitas pequenas áreas isoladas de cultivo que os mesmos ocupam, onde os nomes são muitas vezes derivados de palavras locais (MICKELBART, 1996).

O fruto do sapotizeiro varia na forma em que se apresenta. No nordeste brasileiro o fruto de formato ovoide e de menor tamanho é conhecido como "sapoti", e o

de formato arredondado e maior tamanho é chamado “sapota” (GOMES, 2006; MORAIS et al., 2006).

Os frutos de sapoti são pequenos, variando de 5 a 9 cm de diâmetro, e pesam entre 75 e 200 gramas. Apresentam casca áspera marrom que protege uma polpa doce e levemente adstringente, bastante apreciada pelos consumidores, de cor castanho claro ao castanho-avermelhado. O fruto pode ter de uma a duas sementes pretas, apesar de existirem frutas sem sementes (MICKELBART, 1996).

Segundo Gonsalves (2002), nutricionalmente, 100g da polpa do sapoti fornecem 96 calorias e possui 75% de umidade, 26% de hidratos de carbono, 0,7% de proteínas, além de apresentar minerais como cálcio, fósforo, ferro e pró-vitamina A, vitamina C e do complexo B.

Segundo o calendário de comercialização de hortigranjeiros de 2012 do Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco-CEASA/PE, o sapoti apresenta boa oferta no Estado nos meses de fevereiro, junho, julho, agosto e outubro (CEASA, 2012).

Geralmente um sapotizeiro adulto produz cerca de 1.000 frutos, mas pode ultrapassar os 3.000 frutos. A maior dificuldade para o produtor, porém, é determinar o ponto de colheita do fruto. Um dos processos utilizados é esperar que os sapotis amoleçam na árvore, o que necessita de frequentes exames (GOMES, 2006).

Nos diferentes países onde o sapotizeiro é cultivado, como o Brasil, o mesmo é principalmente consumido *in natura*, mas a partir da fruta podem-se produzir doces, compotas, geleias, sucos, sorvetes e milk-shakes. Na Índia é produzida a fruta seca. Além disso, o látex exsudado do tronco da árvore é levemente aromático e utilizado em alguns países, como México, Venezuela e Guatemala para a fabricação de goma de mascar (MICKELBART, 1996; MIRANDA et al., 2002).

2.2. Desidratação osmótica

2.2.1. Fundamentos do processo

Uma das principais causas de deterioração dos alimentos frescos é a quantidade de água livre presente neles. Pois a água tem influência decisiva sobre a qualidade e a durabilidade do alimento, por favorecer reações físico-químicas e biológicas. A diminuição da atividade de água pode ser obtida com a desidratação osmótica,

contribuindo assim para a conservação e tempo de vida útil dos alimentos (EL-AOUAR; AZOUBEL; MURR, 2003; FERNANDES et al., 2006; GOMES; CEREDA; VILPOUX, 2007).

A desidratação osmótica tem sido utilizada como um pré-tratamento para frutas e hortaliças e mais recentemente em carnes e peixes, tem como objetivos: reduzir o teor de água inicial do alimento gerando alimentos de umidade intermediária; reduzir o tempo total de processamento e secagem; reduzir o consumo de energia; reduzir custos na embalagem e distribuição, em função da diminuição do volume e do peso do alimento, e melhorar a qualidade final dos alimentos (COLLIGNAN et al., 2001; SERENO et al., 2001; KHIN; ZHOU; PERERA, 2006). Além disso, o tratamento osmótico pode inibir a degradação enzimática e oxidativa, favorecer a retenção dos pigmentos da fruta, reter aromas voláteis, o que pode melhorar os aspectos nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos, sem comprometer sua integridade (FERNANDES et al., 2006; LENART, 1992; TORREGGIANI, 1993).

Apesar da notável redução na umidade inicial do produto, o processo de desidratação osmótica não elimina toda água livre do alimento, o que pode possibilitar a ocorrência de reações prejudiciais à segurança do produto obtido, sendo necessária a utilização de métodos combinados de conservação, como: congelamento (BUNGER et al., 2004; DERMESONLOUOGLU; POURGOURI; TAOUKIS, 2008); secagem por microondas (BÓRQUEZ; CANALES; REDON, 2010); secagem por ar quente (GARCIA; MAURO; KIMURA, 2007; MEDINA – TORRES et al., 2008; MOREIRA et al., 2011; RODRIGUES; FERNADES, 2007).

Utilizando métodos combinados de preservação, grande parte do conteúdo de água inicial pode ser removida do tecido dos alimentos assegurando a estabilidade do produto final durante o armazenamento, e conseqüentemente, evitando a deterioração do mesmo.

O processo da desidratação osmótica consiste na imersão de alimentos sólidos em pedaços ou inteiros, em uma solução aquosa concentrada (hipertônica), resultando em três tipos de fluxos, devido à diferença de concentração entre o agente osmótico (açúcar ou sal) e a fruta. O primeiro e mais importante é a saída de água do tecido do alimento para a solução osmótica, o segundo é a transferência de soluto da solução osmótica para o tecido do alimento. Estes dois fenômenos ocorrem em fluxos

simultâneos e contra correntes, através das paredes celulares do alimento. O terceiro fluxo consiste em uma lixiviação dos solutos naturais do tecido do alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas) para solução osmótica. Esta transferência é quantitativamente insignificante quando comparada com os dois primeiros fluxos (Figura 1). A força motriz do processo é a diferença na pressão osmótica das soluções em ambos os lados das membranas semipermeáveis das células (PONTING, 1973; LENART; FLINK, 1984; TORREGIANI, 1993; TORREGIANI; BERTOLO, 2001).

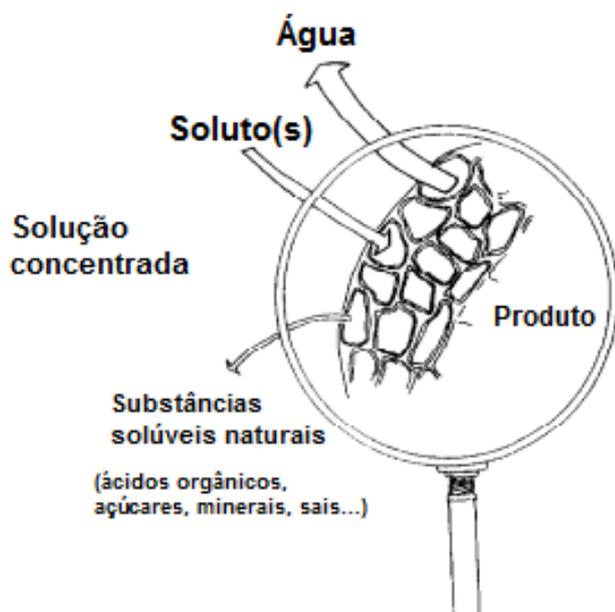


Figura 1. Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico

Fonte: Torregiani (1993)

A incorporação de soluto é considerada uma desvantagem do processo, especialmente quando se busca maior similaridade com a fruta fresca, mas é desejável para mascarar a acidez. Como alternativa para reduzir a passagem do soluto para o alimento, cita-se o revestimento da fruta com uma cobertura comestível de alta afinidade pela água, permitindo seu fluxo para o exterior da fruta, e baixa afinidade pelo soluto, reduzindo sua incorporação (KHIN; ZHOU; PERERA, 2006).

As variáveis que influem no processo de desidratação osmótica são: fatores de permeabilidade do tecido do alimento; tipo, concentração e temperatura do agente

osmótico utilizado; agitação do sistema; tempo de imersão; geometria do fruto a ser desidratado e pressão do sistema (FALADE; IGBEKA, 2007; TORTOE, 2010; PHITSU, 2012).

2.2.2. Variáveis do processo

2.2.2.1. Permeabilidade do tecido

Em uma situação ideal a membrana semipermeável seria permeada pelas moléculas do solvente, mas não pelas moléculas de soluto. Porém, em frutas ou hortaliças, as barreiras celulares para o transporte de massa são a membrana e parede celular, que são unidades biológicas vivas. Estas membranas celulares, que são compostas principalmente de células do parênquima, permitem que as moléculas de solvente passem livremente através delas, mas também permitem, em menor grau, a passagem de algumas moléculas de soluto (TORREGANI, 1993). Portanto, durante a desidratação osmótica pode ocorrer perda de turgor da célula, alterações na lamela média e na resistência da parede celular, mudanças nas frações de volume de ar e líquido na amostra, além de mudanças no tamanho e forma do alimento (CHIRALT et al., 2001).

Existem fatores como composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), estrutura física (porosidade, arranjo de células, orientação das fibras) e pré-tratamentos que afetam a permeabilidade da membrana celular e estrutura da parede celular (TORTOE, 2010).

A utilização de pré-tratamentos como alta pressão hidrostática, vácuo parcial, tratamento de ultra-som, pulsos elétricos de alta intensidade e branqueamento tem mostrado aumentar os coeficientes de transferência de massa durante o processo osmótico (ESCOBAR et al., 2007).

As diferentes espécies, variedades e graus de maturação dos vegetais também interferem na cinética de desidratação. Quanto à maturação as frutas e hortaliças, quando estão maduras apresentam aumento na porosidade do tecido possibilitando maior saída de água, com maior perda de peso (CHAVARRO-CASTRILLÓN et al., 2006). A variedade está relacionada principalmente com a compactação de tecidos,

conteúdo inicial de sólidos solúveis e insolúveis, espaços intercelulares e atividade enzimática da fruta (TORTOE, 2010; CHAVAN, 2012).

2.2.2.2. Tipo de agente osmótico

A escolha do agente osmótico mais adequado depende de vários fatores: solubilidade do soluto em água e permeabilidade na membrana celular, custo, ação de preservação adicional no alimento, efeito sobre as propriedades organolépticas e estabilidade final do produto (OSORIO et al., 2007; ANTONIO et al., 2008).

Os dois tipos mais comuns de solutos utilizados são os açúcares, como a sacarose (principalmente para frutas) e sais (para hortaliças, carnes e queijos), com predominância na utilização de sacarose e cloreto de sódio, respectivamente (ALVES et al., 2005; ANTONIO et al., 2008). Porém, outros agentes osmóticos também são comuns, tais como: glicose, sorbitol, glicerol, frutose, xarope de glicose, xarope de milho, fruto-oligossacárideo e suas combinações (PHISUT, 2012).

A sacarose tem sido o soluto mais utilizado para preservação de frutas devido a sua eficiência, conveniência, custo, capacidade de reduzir escurecimento (sua presença na superfície do material representa um obstáculo ao contato com o oxigênio), retenção de volátil aumentada e aroma desejável, devido ao reforço do sabor doce (LENART, 1996; OSORIO et al., 2007).

O cloreto de sódio, também, é considerado ótimo agente desidratante, pois apresenta alta capacidade de redução da atividade de água. No entanto, os produtos tratados com este soluto, normalmente, apresentam elevado ganho de sólidos, decorrente de seu baixo peso molecular, o que torna seu uso limitado (TONON; BARONI; HUBINGER; 2006).

O tipo de agente osmótico afeta significativamente a cinética de remoção de água, ganho de sólidos e teor de água de equilíbrio. Açúcares com elevada massa molecular, como é o caso da sacarose, acarretam diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, já sacarídeos de baixa massa molecular como a glicose, frutose e sorbitol, favorecem o ganho de sólidos por causa da alta velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, e reduzem a perda de água. Sucintamente pode-se afirmar que agentes osmóticos de baixa massa molecular

penetram mais facilmente na célula de frutas em comparação com agentes osmóticos de alto peso molecular (DIONELLO et al., 2007; PHISUT, 2012)

Ispir e Togrul (2009) investigaram os efeitos de diferentes agentes osmóticos (sacarose, frutose, glicose, maltodextrina, e sorbitol), utilizando concentração de 70%, na desidratação osmótica de damascos, e observaram que a maior e menor perda de água foi obtida na solução de sacarose e sorbitol, respectivamente. Este resultado pode ser explicado pelo peso molecular do agente osmótico e estrutura dos poros do damasco. O maior e menor ganho de sólidos ocorreram na solução de maltodextrina e frutose, respectivamente. Assim, os autores concluíram que as soluções de sacarose e frutose foram as melhores para desidratação osmótica de damascos, devido à alta perda de água e baixo ganho de sólidos.

Antonio et al. (2008) avaliaram a desidratação osmótica de batata-doce (*Ipomoea batatas*) utilizando soluções de sacarose (50% w/w) e NaCl (0, 5 e 10% w/w), a uma temperatura de 40°C, sob agitação constante de 90 rpm. As perdas de água mais elevadas foram obtidas com mistura de sacarose e NaCl, devido a um aparente efeito sinérgico dos solutos. Estes autores relataram que o processo de desidratação osmótica é principalmente influenciado pela mudança da concentração de NaCl, mas o efeito positivo da interação do sal com a sacarose também determinou a diminuição do ganho de sólidos quando os solutos estavam em concentrações máximas (sacarose a 50% e NaCl a 10%).

2.2.2.3. Concentração e Temperatura da solução osmótica

Durante o processo osmótico o aumento da concentração de soluto resulta no aumento das taxas de perda de água e ganho de sólidos. Por outro lado, soluções de sacarose com concentrações maiores que 75°Brix são difíceis de serem preparadas, devido à solubilidade e por apresentarem altas viscosidades, o que dificulta a manipulação, o processo de agitação e o aumento da temperatura (MAEDA; LORETO, 1998).

Ispir e Togrul (2009) estudaram a desidratação osmótica de damascos, estes foram embebidos em soluções de diferentes concentrações (40%, 50%, 60% e 70%) de sacarose. Os autores relataram que o aumento na concentração da solução osmótica favoreceu a perda de água e ganho de sólidos em todo período de desidratação. Falade e

Igbeka (2007) pesquisaram a desidratação osmótica de fatias de melancia em três diferentes concentrações de sacarose (40, 50 e 60°Brix), com proporção fruta: solução de 1:25 e temperaturas de 20, 30 e 40°C. A perda de água e ganho de sólidos aumentaram com a elevação da concentração e temperatura da solução osmótica.

Giraldo et al. (2003) desidrataram osmoticamente cilindros de manga a 30°C, em solução de sacarose (35, 45, 55 e 65°Brix) em diferentes tempos. Foi observado que o ganho de sólidos e perda de água tiveram maior intensidade à 45°Brix. A taxa de perda global de massa aumentou quando a concentração da solução osmótica passou de 35 para 55°Brix, mas o mesmo não ocorreu de 55 para 65°Brix.

Lima et al. (2004) utilizando soluções de sacarose nas concentrações de 45, 55 e 65°Brix a temperatura de 65°C durante a desidratação osmótica de melão constataram que o tratamento osmótico a vácuo aliado a soluço de sacarose com concentra o de 65°Brix mostrou-se eficiente por acelerar a perda de água do produto, possibilitando alcançar em curto período de tempo uma excelente desidrata o com ganho de sólidos relativamente pequeno. Portanto, a utiliza o de maiores concentra es de soluto na soluço osmótica minimizam o efeito da dilui o da soluço aumentando a eficiência da desidrata o.

  bem conhecido o fato que o processo de desidrata o osmótica   um fen meno dependente da temperatura. Altas temperaturas no processo causam in a o e plastifica o da membrana celular e, desse modo, a membrana se torna mais permeável   água, facilitando sua perda. Além disso, temperaturas mais elevadas geram diminui o na viscosidade do meio osmótico e da resistência externa   taxa de transferência de massa na superfície do produto. Assim, facilita a saída de água da fruta e promove altas taxas de difusão de soluto para fruta (JOKIC et al., 2007; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

Com rela o as frutas, estas possuem estrutura porosa de forma que altas temperaturas liberam o ar preso no tecido, resultando em mais efetividade para a remo o de água e capta o de sólidos.

De acordo com Torreggiani (1993) em temperaturas acima de 45°C podem ocorrer o escurecimento enzimático e a deteriora o do sabor e temperaturas acima de 60°C modificam e danificam as membranas celulares do tecido, favorecendo a impregna o, com conseqüente ganho de sólidos.

Lombard et al. (2008) realizaram a desidratação osmótica de cilindros de abacaxi, a pressão atmosférica, utilizando a sacarose, nas concentrações de 45, 55 e 65°Brix à 30, 40 e 50°C durante 20, 40, 60, 120, 180 e 240 minutos. Estes autores constataram que a perda de água e ganho de sólidos foram maiores com o aumento da temperatura e concentração da solução, e que a temperatura teve maior influência sobre a perda de água.

Singh, Kumar, Gupta (2007) desidrataram osmoticamente cubos de cenoura à 35, 45 e 55°C, razão do fruto: solução de 1:5 e concentração da solução a 50°Brix + 10% de NaCl. Os resultados revelaram que o aumento da temperatura favoreceu a perda de água mas o ganho de soluto manteve-se relativamente estável.

2.2.2.4. Agitação e Tempo de imersão

O processo de desidratação osmótica envolve a utilização de soluções concentradas, com um ou mais solutos, que normalmente apresentam viscosidade elevada. A viscosidade é uma propriedade física importante, pois exerce grande influência sobre o nível de agitação do processo afetando a taxa de transferência de massa. Quando o meio osmótico é muito viscoso, o contato entre o material e a solução osmótica pode ser dificultado, pois os pedaços do alimento podem flutuar na solução, podendo haver deficiência na transferência de massa. Normalmente, costuma-se conduzir o processo de desidratação osmótica sob agitação, visando minimizar os efeitos da resistência externa e aumentar a taxa de transferência de massa. A agitação proporciona a circulação da solução osmótica em torno da amostra, assegurando contato contínuo da superfície do alimento com a solução hipertônica, gerando um gradiente na interface do produto/solução, aumentando a força motriz nas regiões próximas a superfície da fruta (MOREIRA; SERENO 2003; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007; TORTOE, 2010).

Azura, Garcia e Beristain (1996) realizaram estudos com cilindros de batata e maçã que foram imersos em soluções de sacarose, cloreto de sódio e uma mistura de sacarose e cloreto de sódio. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de sólidos foi menor quando a força centrífuga era aplicada ao sistema. Os cilindros de batata perderam 70% de sua umidade original após 6h, enquanto que apenas 2% dos solutos foram incorporados pelas amostras. No sistema estático houve perda de 65% da

umidade e 15% dos solutos foram incorporados. Com relação aos cilindros de maçã, resultados semelhantes foram obtidos: 83% de água perdida e 6% de ganho de sólidos no sistema dinâmico, em comparação com 75% e 12% respectivamente, para o sistema estático.

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) utilizaram velocidades de agitação de 0; 200; 500; 800 e 1000 rpm na desidratação osmótica de metades de tomates e constataram que a agitação influenciou positivamente na perda de água durante todo o processo, ou seja, quanto maior a velocidade, maior foi a perda água.

Mavroudis, Gekas e Sjöholm (1998) observaram durante a desidratação osmótica de maçãs, que a perda de água foi maior em fluxo turbulento do que em laminar, comprovando a afirmação de Phisut (2012) que a perda de água é maior no fluxo turbulento.

Ocorrem dois estágios durante a desidratação osmótica: a velocidade de desidratação é praticamente constante durante as primeiras horas, reduzindo-se continuamente a partir de um dado instante (MAEDA; LORETO, 1998).

Alguns pesquisadores relataram que, enquanto a perda de água diminui rapidamente após as duas primeiras horas, o ganho de sólidos continua por um longo período de tempo (BRENNAN, 2003; CHAVAN, 2012). Giangiacomo, Torregiani e Abbo (1987) e Torregiani (1993) reafirmam que a perda de água ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas e o maior ganho de sólidos, durante os 30 minutos iniciais.

Jokic et al. (2007) estudaram a influência do tempo de imersão (30 - 240 minutos), concentração de sacarose (30-70%), concentração de cloreto de sódio (0-8%), e temperatura da solução osmótica (30-50°C) na desidratação osmótica de fatias de beterraba. Foi observado que o tempo e concentração de sacarose exerceram efeito significativo sobre a perda de água. O tempo e concentração de cloreto de sódio influenciaram significativamente o ganho de sólidos. A perda de água foi maior no início do processo e o ganho de sólidos aumentou com o tempo de imersão.

2.2.2.5. Geometria do fruto e Pressão do sistema

Em geral as formas geométricas mais utilizadas na desidratação osmótica de vegetais são: anéis, cubos, retângulos e fatias (CHAVAN, 2012).

Ispir e Togrul (2009), ao desidratarem damascos cortados em cubos, na metade e inteiro em diferentes soluções observaram que a perda de água e ganho de sólidos foi maior com as dimensões dos damascos menores.

Sablani e Rahman (2003) estudaram a influência da geometria de amostras de manga (cubos de 2,0 cm de lado; fatias de $3,5 \times 1,8 \times 1,0$ cm e cunhas com comprimento de 5,5 cm e laterais do triângulo $2,0 \times 2,5 \times 1,5$ cm) sobre os coeficientes de distribuição de equilíbrio durante a desidratação. O aumento da perda de água e diminuição da incorporação de sólidos ocorreu com a diminuição da espessura geométrica da fruta.

A pressão operacional é um fator importante na cinética de transferência de massa durante a desidratação osmótica de alimentos. Utiliza-se a pressão atmosférica para saber o efeito de fatores como a concentração da solução osmótica, tipo de soluto, temperatura, tempo de imersão e agitação na desidratação.

Nos últimos anos tem-se estudado a aplicação de vácuo na desidratação osmótica de várias frutas, podendo esta técnica manifestar algumas características que poderiam conduzir a vantagens importantes em sua aplicação industrial, quando comparada a desidratação osmótica sob pressão atmosférica. Entre as vantagens está o aumento das taxas de perda de água pelo fruto e aceleração da difusão de água do alimento que conseqüentemente reduz o tempo total do processo (FITO, 1994; SHI; FITO; CHIRALT, 1995). Segundo Shi e Fito (1993), reduzir o tempo de duração da desidratação osmótica contribui para a obtenção de frutas desidratadas de boa qualidade.

O mecanismo hidrodinâmico aliado aos fenômenos de relaxamento-deformação tem sido usado para explicar o modelo de transferência de massa que ocorre durante a desidratação osmótica à vácuo. Durante todo o processo, a pressão à vácuo e os gradientes de concentração da solução osmótica podem produzir mudanças na estrutura do produto e na cinética de desidratação, que dependem em grande parte, das propriedades viscoelásticas da matriz sólida (FITO; CHIRALT, 1994).

Nuñez-Mancilla et al. (2011) observaram que a aplicação de pressão hidrostática elevada durante a desidratação de morangos propiciou aumento nos coeficientes de difusão de água e de sólidos solúveis em relação à operação realizada em pressão atmosférica.

3. REFERÊNCIAS

ALVES, D. G.; JUNIOR, J. L. B.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 1, p. 99–103, 2005.

ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. 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.

AZURA E.; GARCIA H. S.; BERISTAIN, C. I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. **Food Research International**, v. 29, n. 2, p. 195-199, 1996.

BANDEIRA, C. T. ; MESQUITA, A. L. M.; AQUINO, A. R. L.; CAVALCANTI JR., A. T.; SANTOS, F. J. S.; OLIVEIRA, F. N. S.; NETO, J. S.; BARROS, L. M.; SOBRINHO, R. B.; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, V. H. **O cultivo do sapotizeiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 20p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular técnica, 13).

BÓRQUEZ, R.M.; CANALES,E.R.; REDON, J.P. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**, v.99, n.2, p. 121-127, 2010.

BRENNAN, J. G. **Dielectric and Osmotic Drying**. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. London: Elsevier Science, 2003, p.1938-1942.

BUNGER, A.; MOYANO, P. C.; VEJA, R. E.; GUERRERO, P.; OSÓRIO, F. Osmotic Dehydration and Freezing as Combined Process on Apple Preservation. **Food Science and Technology International**, v. 10, n.3, p. 163-170, 2004.

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, n. 4, p.599–608, 2011.

Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco-CEASA/PE. Disponível em: <http://www.ceasape.org.br/calendario_pdf/CALENDARIO_DE_COMERCIALIZACAO_DE_HORTIGRANJEIROS_2012.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2012.

CHAVAN, U. D. Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 2, p. 201-209, 2012.

CHAVARRO – CASTRILLÓN, L. M.; OCHOA- MARTINEZ, C. I.; AYALA- APONTE, A. Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p.596-603, 2006.

CHIRALT, A.; MARTINÉZ,-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; AYALA, A.; FITO, P. Changes in mechanical properties throughout osmotic process Cryoprotectant effect. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 1, p. 129-135, 2001.

COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 153-162, 2001.

DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. S.; MOREIRA, G. E. G.; AZEREDO, H. M. C. Avaliação da aceitação de sapoti de umidade intermediária. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 177-180, 2008.

DERMESONLOUOGLU, K. E.;POURGOURI, S.; TAOUKIS, P. S. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. , p. 542-549, 2008.

DIONELLO, R. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 85-91, 2003.

ESCOBAR, M. P.; GALINDO, F. G.; WADSO, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 313-317, 2007.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, n. 4, p.373–405, 2007.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492–498, 2006.

FITO, P. Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 2, p. 313-328, 1994.

GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, v.82, n.3, p. 109-115, 2007.

GIANGIACOMO, R. TORREGIANI, D. ABBO,E. Osmotic Dehydration of Fruits: Part1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, n.3, p. 183-195, 1987.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 33–43, 2003.

GOMES, A.T.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. Desidratação Osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 3, n. 3, p. 212-226, 2007.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 13^a ed. São Paulo: Nobel, 2006. 446p.

GONSALVES, P. E. **Livro dos Alimentos**. São Paulo: MG Editores, 2002. 266p.

ISPIR, A.; TOGRUL, I. T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 2, p. 166–180, 2009.

JAIN, R. K.; JAIN, S. K. Sensory Evaluation of an Intermediate Moisture Product from “Sapota” (*Achras zapota* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 37, n. 3, p. 323-330, 1998.

JOKIC, A.; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGÓ, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 47-51, 2007.

KHIN, M.M.; ZHOU, W.; PERERA, C. A study of mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 84-95, 2006.

LENART, A. Mathematical modelling of osmotic dehydration of apple and carrot. **Polish Journal of Food Nutrition Science**, v. 1, p. 1-33, 1992.

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

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. **Journal Food Technology**, v. 19, p.65-89, 1984.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p.107-109, 2004.

LOMBARD, G. E. ; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 277–284, 2008.

MAEDA, M.; LORETO, R. L. Desidratação osmótica de bananas. **Semina: Ciências Agrárias** , v.19, n.1, p.60-67,1998.

MAVROUDIS, N. E.; GEKA, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples - effects of agitation and raw material characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 2, p. 191-209, 1998.

MEDINA-TORRES,L., GALLEGOS-INFANTE, J.A.; GONZALEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMAN, N.E. Drying kinetics of nopal (*Opuntia ficus-indica*) using three different methods and their effect on their mechanical properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, n.7, p. 1183–1188, 2008.

MICKELBART, M. V. Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In: JANICK, J. **Progress in new crops**. Alexandria: ASHS Press, 1996. p.439-446.

MIRANDA, M. R. A.; SILVA, F. S. S.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ARAÚJO, N. C. C. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 644-646, 2002.

MORAIS, P. L. D.; LIMA L. C. O.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C; ALMEIDA, A. S. Alterações físicas, fisiológicas e químicas durante o armazenamento de duas cultivares de sapoti. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.4, p.549-554, 2006.

MOREIRA, R., SERENO, A. M.. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 1, p. 25–31, 2003.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; CHAGURI, L.; VÁZQUEZ, G. Air drying and colour characteristics of chestnuts pre-submitted to osmotic dehydration with sodium chloride. **Food and Bioproducts Processing**, v.89, n.2, p. 109-115, 2011.

NUÑEZ-MANCILLA, Y.; PEREZ-WON, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; ARIAS, V.; TABILO-MUNIZAGA, G.; BRIONES-LABARCA, V.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA K. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 338–343, 2011.

OSORIO, C.; FRANCO, M. S.; 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, n. 3, p. 353–359, 2007.

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

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

PONTING , J. D. Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and application. **Process Biochemistry**, v. 8, n. 12, p. 18-20, 1973.

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

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 678- 687, 2007.

SABLANI, S.; RAHMAN M. S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Food Research International**, v. 36, n. 1, p. 65–71, 2003.

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

SHI, X. Q.; FITO, P. Vacuum osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v. 11, n. 6, p. 445-454, 1993.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, n. 5, p. 445-454, 1995.

SILVA, M. A. C.; SILVA, Z. E.; MARIANI, V. C.; DARCHE, S. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, v. 2, p. 246-252, 2012.

SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A. K. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 471–480, 2007.

TONON R. V., BARONI A. F., HUBINGER M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p. 715-723, 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. 5, p. 509-517, 2007.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 247–253, 2001.

TORTOE, C. A review of osmodehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 6, p. 303 - 324, 2010.

4. OBJETIVO

4.1. Objetivo Geral:

- Otimizar o processo de desidratação osmótica do Sapoti (*Achras zapota L.*).

4.2. Objetivos Específicos:

- Determinar a cinética de transferência de massa e o coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do sapoti;
- Avaliar a influência do tempo de imersão, temperatura e concentração da solução osmótica sobre o IED (Índice de Eficiência da desidratação), perda de umidade, ganho de sólidos;
- Estabelecer as melhores condições do processo utilizando como parâmetro o IED;
- Avaliar as características de qualidade sensorial, físico-química, microbiológica e estrutural do produto selecionado.

5. RESULTADOS

5.1 ARTIGO I:

Avaliação do coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Resumo

O sapoti é um fruto originário da América Central que está bem adaptado em todas as regiões do território brasileiro. Apesar de sua ampla adaptação e aceitação, o fruto é raro fora das regiões tropicais, o que se deve em parte à sua alta perecibilidade. O desenvolvimento de métodos alternativos, simples e de baixo custo para prolongar a conservação e comercialização desses frutos é importante e a desidratação osmótica é um desses métodos. O objetivo principal desta pesquisa foi determinar os coeficientes de difusão da água e sacarose durante a desidratação osmótica de sapoti. Desidratação osmótica de sapoti foi realizada em um curto período de tempo (até 6 horas), tendo como finalidade fornecer informações detalhadas da cinética da perda de água e ganho de sólidos no início do processo, e em longos períodos de tempo (até 60 horas), a fim de determinar as concentrações de equilíbrio no sapoti. O tempo de imersão teve maior influência sobre o coeficiente de difusão da água e sacarose ($p < 0,05$); a máxima perda de umidade e ganho de solutos pela fruta ocorreram na solução osmótica de maior concentração (60°Brix). O coeficiente de difusão da água e sacarose variou de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ a $1,858 \times 10^{-10}$ e de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ a $2,304 \times 10^{-10}$, respectivamente. Assim, torna-se válida a realização desta pesquisa, tendo como objetivo conhecer a cinética da perda de umidade e ganho de solutos durante a desidratação osmótica do sapoti e oferecer ao produtor uma nova alternativa para preservar e comercializar o referido fruto.

Palavras-chave: Cinética; Coeficiente de difusão; Sapoti.

Abstract

Sapodilla is an original fruit from Central America that is well adapted in all regions of the Brazilian territory. Despite its wide adaptation and acceptance in fruit markets, it is rare to find it outside tropical regions, partially because of its high perishability. The development of alternative, simple, and inexpensive methods to extend the conservation and marketing of these fruits is important, and osmotic dehydration is one of these methods. The main objective of this study was to determine the water and sucrose diffusion coefficients during the osmotic dehydration of sapodilla. This process was performed in short duration (up to 6 h) to evaluate detailed information on water loss and solid gain kinetics at the beginning of the process and in long duration (up to 60 h) to determine the equilibrium concentrations in sapodilla. The immersion time had greater influence on the water and sucrose diffusion coefficients ($p < 0.05$); the maximum water loss (WL) and solute gain (SG) occurred in the osmotic solution at the highest concentration (60°Brix). The water and sucrose diffusion coefficients ranged from $0.00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ to 1.858×10^{-10} , and from $0.00 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}$ to 2.304×10^{-10} , respectively. Thus, understanding the WL and SG kinetics during the process of sapodilla osmotic dehydration could significantly contribute to new alternatives of preservation and commercialization of this fruit.

Keywords: Kinetics; Diffusion coefficient; Sapodilla.

1.Introdução

O sapoti, fruto originário da América Central, adaptou-se em praticamente todo o território brasileiro, tendo destaque na região Nordeste, devido às condições edafoclimáticas favoráveis (Gomes, 2006; Mickelbart, 1996).

Segundo Gonsalves (2002), 100g da polpa do sapoti fornecem 96 calorias e possuem 75% de umidade, 26% de hidratos de carbono, 0,7% de proteínas, além de apresentar minerais como cálcio, fósforo, ferro e pró-vitamina A, vitamina C e do complexo B.

Apesar da ampla adaptação e aceitação, o sapoti é raro fora das regiões tropicais, o que se deve em parte à sua alta perecibilidade, pois por ser climatérico, seu amadurecimento sob condições naturais é rápido, dificultando sua conservação e comercialização (Damasceno et al., 2008).

Existe então a necessidade do desenvolvimento de métodos alternativos, simples e baratos para prolongar a conservação e comercialização destes frutos. A desidratação osmótica é um desses métodos.

O tratamento osmótico consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica para remover parte da água do alimento. A força motriz para a remoção da água é a diferença de pressão osmótica entre a fruta e a solução. Este processo envolve fluxos simultâneos e contracorrentes, através das paredes celulares do alimento, são eles: saída de água do alimento para solução e transferência de soluto da solução para o alimento até que o equilíbrio seja atingido (Lenart e Flink, 1984; Ponting, 1973; Torregiani, 1993; Torregiani e Bertolo, 2001).

O processo de desidratação osmótica tem sido utilizado com sucesso em muitos alimentos como acerola (Alves et al., 2005; Silva et al., 2012), abacaxi (Lombard et al., 2008), abóbora (Garcia et al., 2007; Silva et al., 2011), banana (Mercali et al, 2011) dentre outros. Apesar da ampla aplicação da desidratação osmótica, não existem relatos na literatura da aplicação deste método de conservação no sapoti.

Assim o objetivo desta pesquisa foi avaliar o processo de desidratação osmótica do sapoti, através do coeficiente de difusão da água e sacarose. Estes parâmetros irão auxiliar na produção de frutos com uma vida de prateleira longa e com maior potencial de comercialização.

2. Material e Métodos

2.1. Matéria-prima

Sapotis (*Achras zapota L.*) maduros (15°Brix a 21°Brix) refrigerados foram adquiridos aleatoriamente em supermercado local (Recife-PE, Brasil). Os frutos foram selecionados visualmente pela cor da casca completamente marrom, formato ovoide e ausência de danos físicos. Em seguida, foram lavados em água corrente, secos em papel absorvente e cortados em fatias longitudinais de 1cm de espessura, das quais foram removidas, manualmente, a casca e as sementes.

2.2. Tratamento Osmótico

Sacarose comercial dissolvida em água destilada foi utilizada como agente osmótico. Três níveis de concentração de sacarose (20°Brix, 40°Brix e 60°Brix) foram selecionados para um planejamento fatorial 2^2 , incluindo o ponto central (Barros Neto et al., 2001). Estas concentrações foram escolhidas com base nos resultados obtidos por Andrade et al. (2007).

O planejamento experimental foi avaliado usando níveis codificados -1, 0 e 1. As variáveis independentes foram concentração da sacarose e tempo de imersão, e as variáveis dependentes os coeficientes de difusão da água e da sacarose (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica do sapoti

Variáveis	Níveis codificados		
	-1	0	1
Sacarose (°Brix)	20	40	60
Tempo (h)	4	32	60

O processo foi realizado em becker de 1000 ml, contendo as diferentes concentrações da solução osmótica, mantidas sob temperatura controlada ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e agitação constante (110 rpm). A relação amostra/solução utilizada foi de 1:20, com a finalidade de minimizar mudanças na concentração da solução osmótica. As fatias de sapoti foram pesadas e amarradas com linhas coloridas (para identificação do tempo) e colocadas nos beckers.

Em intervalos de tempo pré-determinados, as amostras foram retiradas dos beakers, drenadas por 1 minuto e colocadas em papel absorvente, para retirar o excesso do xarope e em seguida pesadas.

As primeiras amostras foram retiradas em um curto intervalo de tempo: 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas, com a finalidade de obter informações detalhadas sobre a cinética da perda de água e o ganho de sólidos, enquanto as demais foram coletadas a 12, 24, 32 36, 48 e 60 horas, para determinar a concentração de equilíbrio para água e sacarose

2.3.Métodos analíticos

A umidade foi determinada em balança de infravermelho, modelo ID 50, os sólidos solúveis por refratômetro de bancada ATAGO e o peso obtido em balança semi-analítica (marca Tecnal). Todas as análises foram realizadas em triplicata, antes e após o tratamento osmótico.

2.4.Procedimento matemático e análises estatísticas

A taxa de perda de umidade, durante a desidratação osmótica, foi calculada tendo por base a solução analítica da segunda lei de Fick (Eq.(1)) e a taxa de ganho de sólidos pela Eq.(2), uma modificação da Eq.(1) (Telis et al., 2004).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{C_o - C}{C_o - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

Nas equações acima, X e C são o conteúdo de umidade e a concentração de açúcar, respectivamente, no tempo t ; X_o e C_o os valores iniciais destas variáveis, e X_{eq} e C_{eq} os valores de equilíbrio correspondentes. D é o coeficiente de difusão e L meia espessura da placa (alimento).

2.5. Análise Estatística

As análises dos resultados foram realizadas empregando-se o programa computacional Statistica 5.0 (Statsoft, 1997), ao nível de significância de 5%.

3. Resultado e discussão

As Figuras 1 e 2 revelam as velocidades de perda de umidade e ganho de sólidos durante o processo de desidratação osmótica do sapoti.

O aumento da concentração da solução promoveu uma maior perda de água e ganho de sólidos (Figura 1 e 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Falade et al. (2007) ao desidratarem retângulos de melancia utilizando solução osmótica de sacarose a diferentes concentrações. Os autores afirmam que a amostra de melancia imersa em solução de sacarose a 60°Brix induziu maior perda de água e ganho de sólidos em comparação com aquela imersa em soluções de menor concentração, 50°Brix e 40°Brix. Estes autores explicam que a grande diferença de concentração entre a solução osmótica e a melancia propicia um aumento na taxa de difusão do soluto e da água. Resultados similares foram encontrados por Khoyi e Hesari (2007) ao desidratarem fatias de damasco.

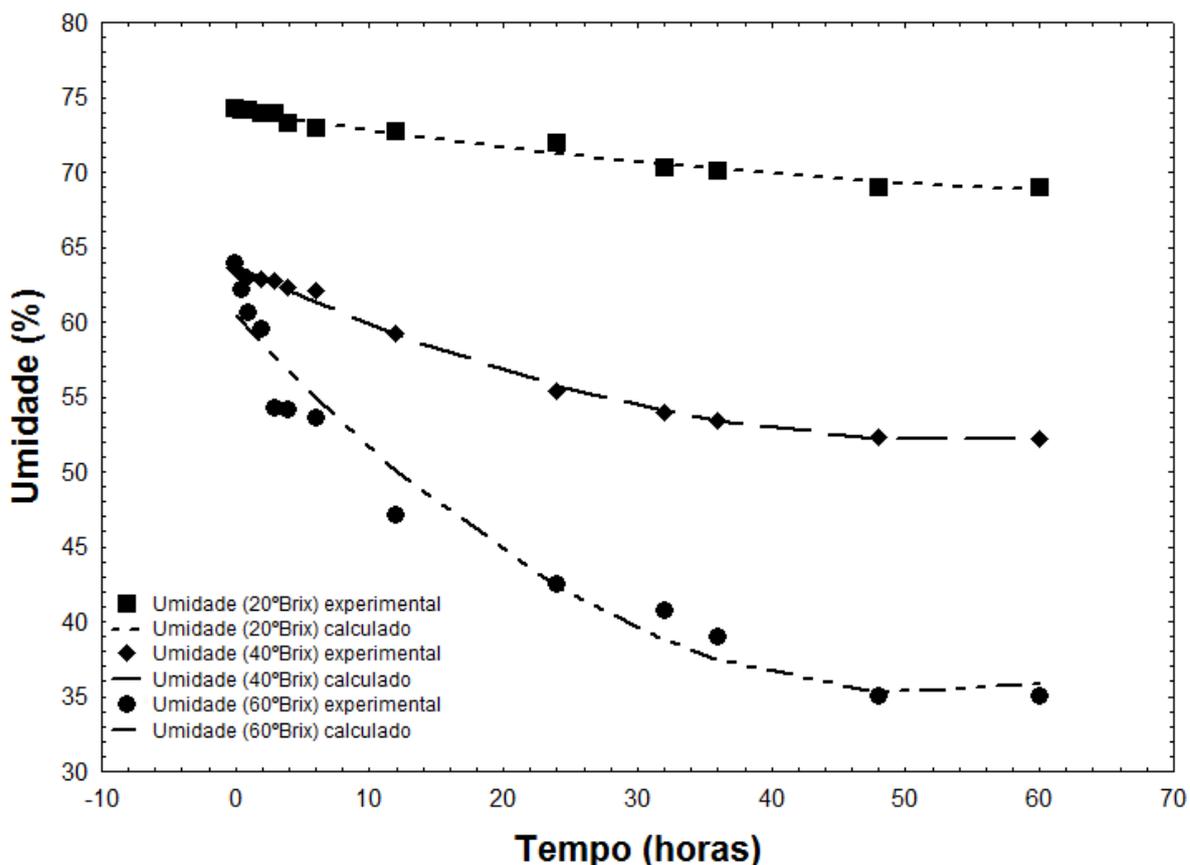


Figura 1. Cinética da perda de água no sapoti durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose

A redução do conteúdo de água nas duas primeiras horas de desidratação osmótica do sapoti foi de 0,5%, 1,12% e 6,81% para solução de 20, 40 e 60°Brix, respectivamente. Valores estes considerados pequenos e muito mais baixos aos obtidos por Silva et al. (2011) ao desidratarem abóboras branqueadas, durante 2 horas, obtendo-se 15,11% e 20,85% de perda de umidade, utilizando solução de sacarose a 50 e 65°Brix, respectivamente.

Esta baixa perda de água nas duas primeiras horas pode ser devido as características do tecido vegetal do sapoti, que são determinantes sobre a cinética de transferência de massa. De acordo com Chiralt e Talens (2005) o transporte de massa e o movimento no interior do material é determinado pelas características do tecido celular, tais como: tamanho das células, porosidade, tortuosidade, permeabilidade da membrana celular, entre outros.

Existem outros fatores que podem ter influenciado a perda de água, como temperatura, pressão, forma, superfície de contato e proporção solução : fruto (Chenlo et al., 2007), ressaltando que o referido processo ocorreu a temperatura ambiente.

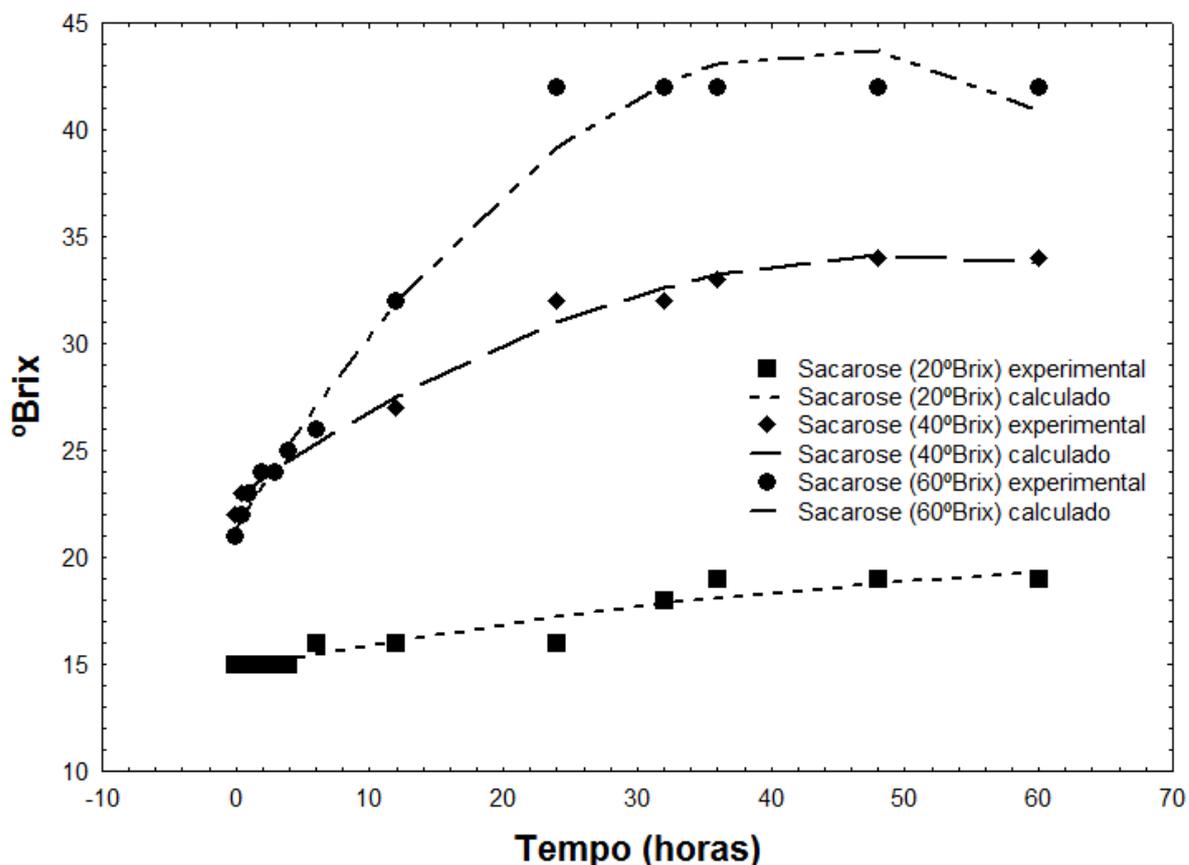


Figura 2. Cinética do ganho de sólidos no sapoti durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose

Quanto ao ganho de sólidos foi observado que os percentuais nas duas primeiras horas do processo foram 0%, 9,09% e 14,28% para as soluções de 20, 40 e 60°Brix, respectivamente. Valores baixos, mas que favorecem o desenvolvimento de um produto similar ao natural.

Resultados contrários foram encontrados por Andrade et al. (2007) e Falade et al. (2007) cuja perda de água e ganho de sólidos foi maior nas duas primeiras horas, diminuindo com a progressão do tempo de processo. Brennan (2003), Chavan (2012), Giangiacomo et al. (1987), Raoult-Wack (1994) e Torregiani (1993) afirmam que a perda de água ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas e o maior ganho de sólidos, durante os 30 minutos iniciais da desidratação osmótica. A partir deste ponto

a velocidade de transferência torna-se progressivamente lenta até estacionar a perda de água, enquanto o ganho de sólidos continua a aumentar, até alcançar o equilíbrio.

A perda de água e ganho de sólidos aumentaram com a progressão do tempo (Figura 1 e 2). Resultados similares foram obtidos por Mercali et al. (2011), Silva et al. (2012) e Souraki et al. (2012) ao desidratarem banana utilizando solução mista de sacarose e sal, acerola utilizando solução de sacarose e feijão verde utilizando sal como a gente osmótico, respectivamente.

A perda de água alcançou o equilíbrio em 48 horas para as três concentrações (20, 40 e 60°Brix). O ganho de sólidos alcançou o equilíbrio em 36, 48 e 24 horas para soluções osmóticas de 20, 40 e 60°Brix, respectivamente, a partir do qual alterações significativas de perda de água e ganho de sólidos não foram observadas.

Ao final do processo (60h) os percentuais de perda de umidade e ganho de sólidos para as concentrações de 20, 40 e 60°Brix, respectivamente, foram 7,09%, 16,85%, 45,20% e 26,27%, 54,54%, 100%. Estes resultados demonstram que, embora as concentrações mais elevadas favoreçam a perda de água, implicam em maior ganho de sólidos.

O ideal é, segundo Torreggiani (1993), favorecer a perda de água com o mínimo possível de ganho de sólidos, visto que a impregnação de solutos ao alimento poderá modificar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto.

Nas Tabelas 2 e 3 são mostradas as concentrações de equilíbrio para água e sacarose, respectivamente, determinadas no sapoti tratado nas diferentes soluções osmóticas.

O fato deste equilíbrio ter requerido maior tempo para ser alcançado no sapoti é provavelmente devido ao tipo de membrana diferencialmente permeável, ao invés de semipermeável (Andrade et al., 2007). Segundo Tortoe (2010) existem fatores como composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), estrutura física (porosidade, arranjo de células, orientação das fibras) e pré-tratamentos que afetam a permeabilidade da membrana celular e estrutura da parede celular, influenciando na perda de água e ganho de sólidos pela matéria prima. A microestrutura das células do sapoti in natura é apresentada na Figura 3.

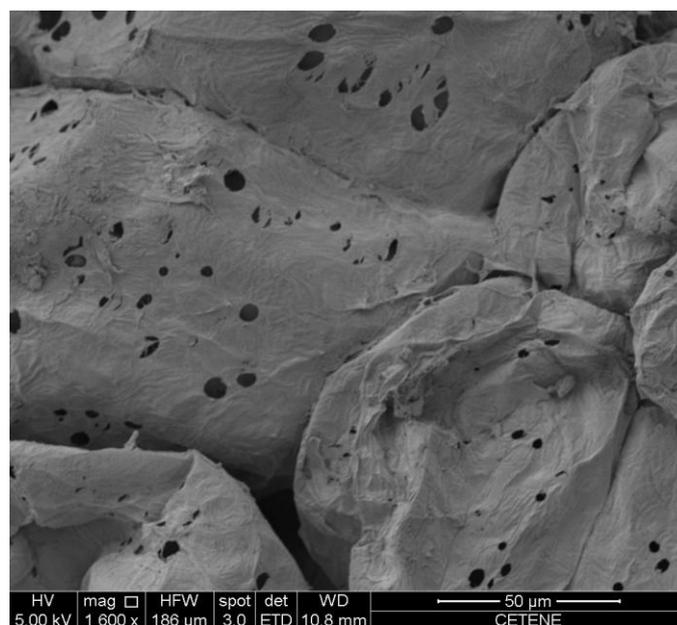
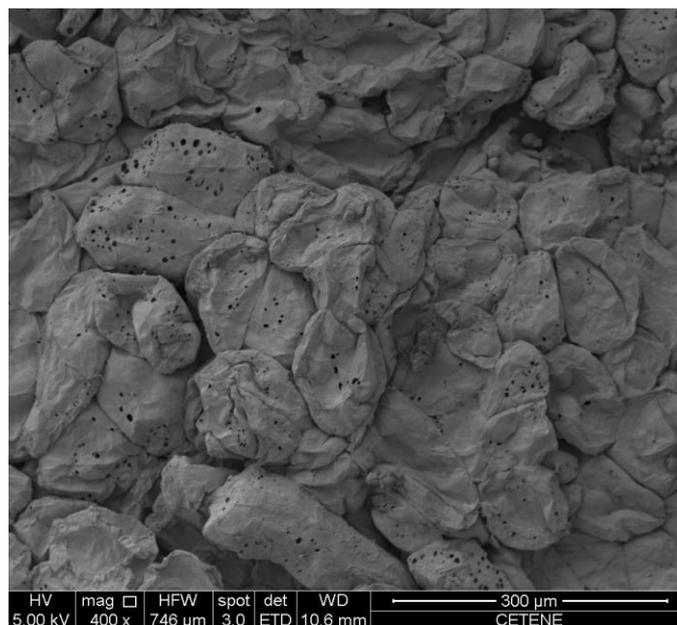


Figura 3. Microestuturas do sapoti *in natura*

Três diferentes coeficientes de difusão aparente foram calculados para água e sacarose em condição de tratamento osmótico. O primeiro corresponde ao experimento realizado em curto período de tempo, no qual as amostras foram mantidas por 4 horas na solução osmótica. O segundo e terceiro, com períodos longos de 32 e 60 horas, respectivamente (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da água durante o tratamento osmótico do sapoti

Ensaio	S (°Brix)	T(h)	Coeficiente de difusão aparente D água (10^{-10} m ² /s)	Concentração de equilíbrio (g/100g)
1	20	4	1,858	
2	60	4	1,526	
3	20	60	0,00	69,00
4	60	60	0,00	35,00
5	40	32	0,391	52,00
6	40	32	0,395	52,31
7	40	32	0,388	52,20

S = sacarose (°Brix); T = tempo (h)

Tabela 3. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da sacarose durante o tratamento osmótico do sapoti

Ensaio	S (°Brix)	T(h)	Coeficiente de difusão aparente D sacarose (10^{-10} m ² /s)	Concentração de equilíbrio (g/100g)
1	20	4	2,304	
2	60	4	1,450	
3	20	60	0,0	19
4	60	60	0,0	42
5	40	32	0,209	34
6	40	32	0,210	33
7	40	32	0,207	34

S = sacarose (°Brix); T = tempo (h)

A análise de variância do planejamento fatorial mostrou que o tempo de imersão foi o que teve maior efeito ($p < 0,05$) sobre ambos os coeficientes (água e sacarose) (Figura 4 e 5). As diferentes concentrações de sacarose utilizadas neste trabalho exerceram também, com menor intensidade, efeitos significantes sobre o coeficiente da água e sacarose.

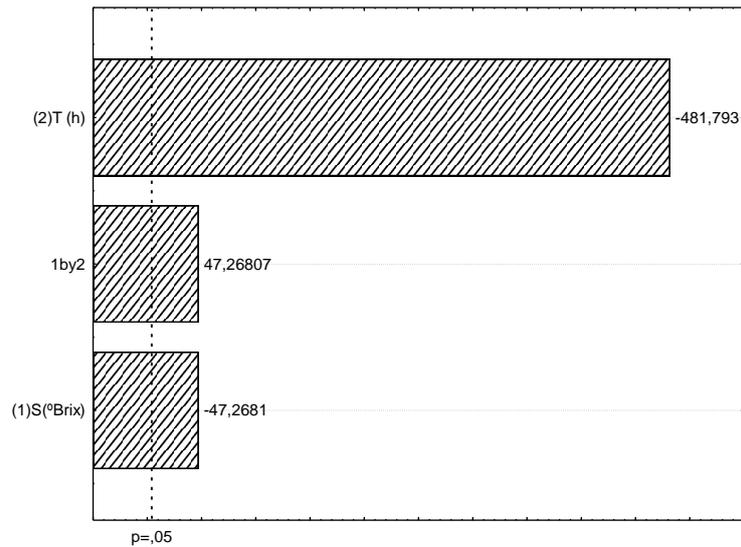


Figura 4. Diagrama de Pareto para o coeficiente de difusão aparente da água

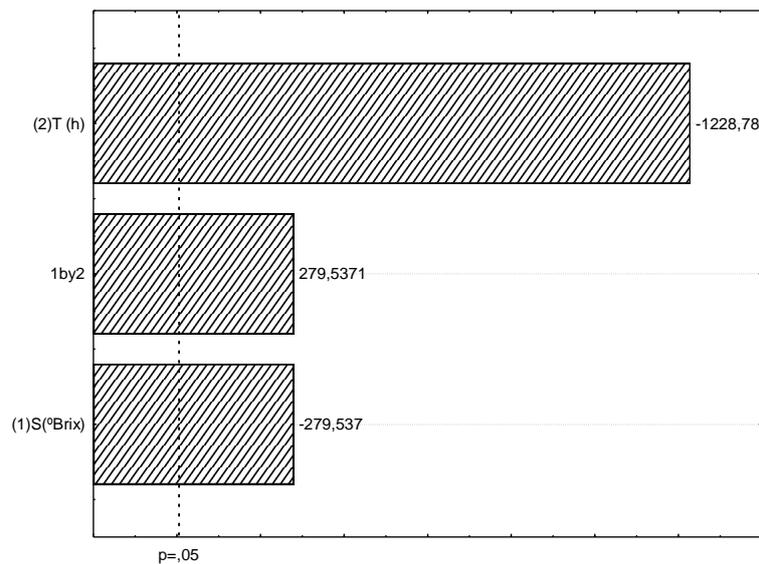


Figura 5. Diagrama de Pareto para o coeficiente de difusão aparente da sacarose

Nas tabelas 2 e 3 observa-se um comportamento inverso do tempo de imersão sobre os coeficientes de difusão da água e da sacarose, isto é, aumentando o tempo de imersão diminui o coeficiente da água e soluto.

O coeficiente de difusão aparente da água e sacarose variou de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para $1,858 \times 10^{-10}$ e $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para $2,304 \times 10^{-10}$, respectivamente, dentro da faixa de concentração da sacarose e de temperatura estudadas neste trabalho. De acordo com Silva et al. (2012) a comparação entre difusividades relatadas na literatura torna-se difícil devido aos diferentes métodos de estimação e modelos empregados, além da variação da composição e estrutura física dos alimentos. Como exemplo, temos Souraki et al. (2012) ao desidratarem osmoticamente feijão verde, o coeficiente de difusão da água variou de $1,776 \times 10^{-10}$ a $2,707 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e de solutos de $1,126 \times 10^{-10}$ a $1,667 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Nas Tabelas 2 e 3 observamos que, com o aumento do tempo de tratamento, considerando o mesmo °Brix, a taxa de difusão, tanto da água como da sacarose, diminui. Segundo Singh et al (2007), a rápida perda de água e absorção de sólidos na superfície da amostra no início do processo podem resultar em alterações estruturais que conduzem a compactação destas camadas superficiais e aumento da resistência de transferência de massa. Além disso, a captação progressiva de sólidos pode resultar na formação de uma camada superficial que funciona como uma barreira contra a remoção de água e absorção de sólidos. Conforme Telis et al. (2004) quando a concentração da água e sacarose dentro do fruto aproxima-se do valor de equilíbrio, a taxa de difusão diminui, reduzindo o coeficiente de difusão.

4. Conclusão

O tempo de imersão teve maior influência sobre o coeficiente de difusão da água e sacarose; a máxima perda de umidade e ganho de solutos pela fruta em estudo ocorreram na solução osmótica de maior concentração. Os coeficientes de difusão aparente calculados para água e sacarose nas condições destas pesquisas encontram-se nas faixas de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $1,858 \times 10^{-10}$ e de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $2,304 \times 10^{-10}$, respectivamente. Esses resultados são válidos para se conhecer melhor a cinética da perda de umidade e ganho de solutos durante a desidratação osmótica do sapoti e oferecer ao produtor uma nova alternativa para preservar e comercializar o referido fruto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) por seu apoio através do processo (473208 / 2011-3).

Referência Bibliográfica

Alves, D.G., Junior, J.L.B., Antonio, G.C., & Murr, F.E.X. (2005). Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). *Journal of Food Engineering*, 68 (1), 99-103.

Andrade, S.A.C., Neto, B.B., Nóbrega, A.C., Azoubel, P.M., & Guerra, N.B. (2007). Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). *Journal of Food Engineering*, 78 (2), 551-555.

AOAC. (2002). *Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis* (16th ed.). Washington, DC, EUA.

Barros Neto, B. Scarminio, I.S., & Bruns, R.E. (2001). *Planejamento e otimização de experimentos* (1ª ed., pp. 299). Editora da Unicamp, Campinas.

Brennan, J.G. (2003). Dielectric and Osmotic Drying. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 1938-1942). Elsevier Science, London.

Chavan, U.D. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1 (2), 201-209.

Chenlo, F., Moreira, R., Fernández-Herrero, C., & Vázquez, G. (2007). Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modeling. *Journal of Food Engineering*, 78 (3), 765-774.

Chiralt, A., & Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2), 167-177.

- Damasceno, L.F., Brito, E.S., Garruti, D.S., Moreira, G.E.G., & Azeredo, H.M.C. (2008). Avaliação da aceitação de sapoti de umidade intermediária. *Revista Ciência Agronômica*, 39 (1), 177-180.
- Falade, K.O., Igbeka, J.C., & Ayanwuyi, F.A. (2007). Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80 (3), 979-985.
- Garcia, C.C., Mauro, M.A., & Kimura, M. (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*, 82 (3), 109-115.
- Giangiacomo, R., Torregiani, D., & Abbo, E. (1987). Osmotic Dehydration of Fruits: Part1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11 (3), 183-195.
- Gomes, R.P. (2006). *Fruticultura brasileira* (13th ed., pp. 397-400), Nobel, São Paulo.
- Gonsalves, P.E. (2002). *Livro dos Alimentos* (2th ed, pp. 227). MG Editores, São Paulo.
- Khoyi, M.R., & Hesari, J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78 (4), 1355-1360.
- Lenart, A., & Flink, J.M. (1984). Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal Food Technology*, 19 (1), 65-89.
- Lombard, G.E., Oliveira, J.C., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85 (2), 277-284.
- Mercali, G.D., Marczak, L.D.F., Tessaro, I.C., & Noreña, C.P.Z. (2011). Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). *LWT - Food Science and Technology*, 44 (1), 82-91.

Mickelbart, M.V. (1996). Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In Janick, J., *Progress in new crops* (pp. 439-446). ASHS Press, Alexandria.

Ponting, J.D. (1973). Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and application. *Process Biochemistry*, 8 (12), 18-20.

Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5 (8), 255-260.

Silva, K.S., Caetano, L.C., Garcia, C.C., Romero, J.T., Santos, A.B., & Mauro, M.A. (2011). Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 105 (1), 56-64.

Silva, M.A.C., Silva, Z.E., Mariani, V.C., & Darce, S. (2012) Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 45 (2), 246-252.

Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A.K. (2007). Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of Food Engineering*, 79 (2), 471-480.

Souraki, B.A., Ghaffari, A., & Bayat, Y. (2012). Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Food and Bioproducts Processing*, 90 (1), 64-71.

Statsoft. (1997). Statistica for Windows 5.0., 1995. Computer program manual. Statsoft Inc., Tulsa.

Telis, V.R.N., Murari, R.C.B.D.L., & Yamashita, F. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of Food Engineering*, 61 (2), 253-259.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26 (1), 59-68.

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 247–253.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4 (6), 303–324.

5.2.ARTIGO II:

Otimização da desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota L.*)

Resumo

O processo de desidratação osmótica foi aplicado ao sapoti (*Achras zapota L.*) para reduzir as perdas pós-colheita, diversificar o seu aproveitamento industrial, obter um produto estável e de características sensoriais aceitáveis. A desidratação osmótica foi realizada segundo planejamento fatorial 2³ completo, com as variáveis independentes: temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de imersão e variáveis dependentes: perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e IED (Índice de Eficiência de Desidratação). Os dois ensaios com maiores valores de IED foram submetidos à análise sensorial e o produto selecionado foi submetido à análises de composição centesimal, físico-química, microbiológica e estrutural. PU e GS foram influenciados pela temperatura e concentração da solução osmótica; IED teve influência significativa da concentração da solução osmótica e tempo de imersão. O ensaio 9 (40°C; 50°Brix; 165 min.) obteve maiores notas nos atributos sensoriais e conformidade com os padrões microbiológicos e legislação brasileira vigente para frutas desidratadas; o pré-tratamento osmótico gerou redução de turgor e ruptura das paredes celulares do sapoti.

Palavras-chave: Sapoti, Análise sensorial, Microscopia.

Abstract

The osmotic dehydration process was applied to the sapodilla (*Achras zapota L.*) to reduce post-harvest losses, diversifying its industrial use, to obtain a stable and acceptable sensory characteristics product. Osmotic dehydration was carried out according to a factorial design 2^3 complete with independent variables: temperature, osmotic solution concentration and immersion time and dependent variables: water loss (WL), solid gain (SG) and DEI (Efficiency Index dehydration). The two trials with higher DEI were submitted to sensory analysis and the selected product was subjected to analyzes of chemical composition, physico-chemical, microbiological and structural. WL and SG showed significant influence of temperature and osmotic solution concentration; DEI had significant influence of osmotic solution concentration and immersion time; trial 9 (40°C, 50°Brix, 165 min.) obtained higher scores on sensory attributes and compliance with microbiological standards and Brazilian legislation for dried fruit; the osmotic pretreatment generated turgor reduction and disruption of the cell walls of the sapodilla.

Keywords: Sapodilla, Sensory analysis, Microscopy.

1.Introdução

O sapotizeiro (*Achras zapota L.*), espécie da família Sapotaceae, possui boa adaptação e produção na região Nordeste do Brasil devido às condições de solo e clima apropriadas. Nesta região o fruto é conhecido como “sapoti”, tem formato ovoide, casca marrom e polpa de sabor doce e levemente adstringente (Gomes, 2006; Mickelbart, 1996).

Os sapotis são fontes de carboidratos, pró-vitamina A, vitamina C e do complexo B e minerais como cálcio, fósforo e ferro. Possuem em média 75% de umidade e alto percentual de perdas pós-colheita (Gonsalves, 2002).

Os processos industriais em que há redução da atividade de água surgem como alternativa para solucionar e/ou minimizar os problemas das perdas pós-colheita do sapoti e facilitar a comercialização. O tratamento osmótico vem sendo utilizado, principalmente, como pré-tratamento a alguns processos convencionais, como a secagem ao ar. O processo da desidratação osmótica consiste na imersão de alimentos em uma solução concentrada, havendo a saída de água da fruta para a solução, migração de solutos da solução para a fruta e uma lixiviação dos solutos naturais do tecido do alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas) para solução osmótica. Este último não significativo em termos quantitativos (Lenart & Flink, 1984; Ponting, 1973; Raoult-Wack, 1994; Torregiani, 1993; Torregiani & Bertolo, 2001).

Diante deste fato esta pesquisa teve como objetivo obter sapoti osmoticamente desidratado, com máxima perda de água e mínimo ganho de solutos, com boas características organolépticas, estabilidade microbiológica e estrutural.

2.Materiais e métodos

2.1.Material

Os sapotis (*Achras zapota L.*) foram adquiridos aleatoriamente em supermercado local (Recife - PE). Os frutos foram selecionados visualmente, pela cor (completamente marrom), tamanho (diâmetro médio de 4,6 cm), formato ovoide e ausência de danos físicos.

Como agente osmótico foi utilizada sacarose comercial.

2.2.Delineamento experimental

Foi realizado um planejamento fatorial 2^3 , com 8 pontos fatoriais (níveis ± 1), 3 pontos centrais (nível 0) e 6 pontos axiais ($\pm\alpha$), totalizando 17 ensaios. As variáveis independentes foram: temperatura (T), concentração da solução osmótica (C) e tempo de imersão (t). As variáveis dependentes foram: perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e relação PU/GS = IED (Índice de Eficiência de Desidratação).

Os dados obtidos foram ajustados ao seguinte polinômio:

$$Y = \varphi(T, C, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} Ct$$

Equação 1

Em que β_n são os coeficientes de regressão, y é a resposta em questão (PU, GS e PU/GS) e T , C e t são as variáveis independentes (temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de imersão, respectivamente).

As respostas de interesse foram assim definidas, segundo Laranjeira (1997):

Perda de umidade – calculada em termos percentuais, com base no peso inicial do material:

$$PU (\%) = \frac{(U_i \times M_i - U_f \times M_f)}{M_i}$$

Equação 2

Ganho de sólidos (GS) – calculado através de um balanço de massa de sólidos do processo:

$$GS (\%) = \frac{(^{\circ}\text{Brix}_f \times M_f - ^{\circ}\text{Brix}_i \times M_i)}{M_i}$$

Equação 3

IED - Índice de eficiência de desidratação (IED):

$$IED = GS / PU$$

Equação 4

Sendo:

$GS(\%)$ = Ganho de sólidos; $^{\circ}Brix_i$ = Teor inicial de sólidos solúveis totais do material; $^{\circ}Brix_f$ = Teor final de sólidos solúveis totais do material; $PU(\%)$ = Perda de umidade com base inicial do material; U_i = Teor inicial de umidade da matéria (%); U_f = Teor final de umidade da matéria (%); M_i = Massa total inicial da matéria (%); M_f = Massa total final da matéria (%)

2.3.Desidratação osmótica

O processo abrangeu as seguintes operações: 1-recebimento da matéria prima, pesagem e verificação dos aspectos gerais; 2- seleção segundo o grau de maturação (12 a 16^oBrix); 3- lavagem em água corrente; 4- sanitização em solução de hipoclorito de sódio (2,5%) por 15 minutos; 5- descascamento realizado manualmente com faca de aço inoxidável; 6- corte em fatias longitudinais com espessura média de 1 cm e retirada das sementes; 7- Branqueamento em vapor fluente (100°C/10 minutos); 8- Pesagem e imersão em solução de sacarose (proporção amostra/solução de 1:20) à 110 rpm no shaker (Marconi , MA – 410) sob temperatura, tempo e concentração predeterminados (Tabela 1); 9- drenagem da solução osmótica seguida pela absorção do excesso desta solução em papel absorvente; 10- Pesagem; 11- Secagem a 60°C ± 0,5°C em estufa com circulação de ar durante 4 horas; 12-acondicionamento em sacos de polietileno de baixa densidade; 13- armazenamento a temperatura ambiente.

Tabela 1. Níveis codificados e decodificados das variáveis independentes

Variáveis	- α	-1	0	1	+ α
Temperatura (°C)	30	34	40	46	50
Concentração da solução osmótica (°Brix)	40	44	50	56	60
Tempo de imersão (minutos)	90	120	165	210	240

2.4.Métodos Analíticos

2.4.1.Análises Físico – Químicas

Foram realizadas as seguintes análises antes e após a desidratação osmótica do sapoti: sólidos solúveis por leitura direta em refratômetro manual ATAGO expresso em °Brix; umidade em balança de infravermelho, modelo ID 50; peso das amostras em balança semi-analítica da marca Tecnal.

2.4.2.Análise Sensorial

Os ensaios com maiores Índices de Eficiência de Desidratação (IED) foram submetidos ao teste de aceitação, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos (1= desgostei muitíssimo; 9= gostei muitíssimo) para avaliar os atributos: aroma, cor, sabor, textura e qualidade global. Foi aplicado o teste de intenção de compra com escala hedônica de cinco pontos (1= jamais compraria; 5= certamente compraria). Cinquenta provadores foram recrutados aleatoriamente entre alunos e professores do Departamento de Ciências Domésticas DCD/UFRPE, dos quais 86% eram do sexo feminino e 14% do sexo masculino, com idades entre 18 e 50 anos, tendo como critério de exclusão aversão ao sapoti. As amostras foram servidas à temperatura ambiente, em pratos de fundo branco, codificados aleatoriamente com números de três dígitos, iluminados por luz natural. A degustação foi realizada em cabines individuais e as amostras foram apresentadas ao painel provador ao mesmo tempo. Foi calculado o índice de aceitabilidade para o atributo qualidade global (Teixeira, Meinert & Barbeta, 1987).

O fruto *in natura* e o ensaio selecionado na análise sensorial foram submetidos às seguintes análises, em triplicata:

2.4.3.Composição centesimal e análises físico-químicas

- Umidade, lipídios, cinzas, proteínas, fibra alimentar e pH (AOAC, 2002);
- Carboidratos (Ascar, 1985);
- Valor Calórico Total (VCT) através de método por cálculo;
- Sólidos solúveis em refratômetro ATAGO;
- Atividade de água (Aw) em equipamento Decagon Aqualab 4 TE.

2.4.4. Análise microbiológica

A presença dos seguintes microrganismos foi analisada em triplicata:

- *Salmonella SP/25g*: método 996.08 (AOAC, 2002);
- Coliformes a 45°C/g: método 991.14 (AOAC, 2002).

2.4.5. Análise estrutural

As imagens foram geradas pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Quanta 200 FEG do Laboratório de Microscopia e Microanálise (LAMM) do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE).

As amostras, de sapoti *in natura* e do sapoti osmoticamente desidratado, analisadas no MEV, permaneceram por 2 horas em fixador de glutaraldeído 2,5% e tampão cacodilato 0,1 molar. Em seguida, efetuaram-se três lavagens com o tampão cacodilato 0,1 molar, em cujo tampão as amostras ficaram imersas por 10 minutos para retirada eficaz de todo fixador. O tecido foi pós-fixado em ósmio a 2% e tampão cacodilato 0,1 molar, na proporção 1:1, durante 1 hora, e em seguida, lavado duas vezes com tampão cacodilato 0,1 molar e uma vez com água destilada, por 10 minutos cada procedimento. Após este tratamento, para remoção total da água, as amostras foram desidratadas em acetona a 30%, 50%, 70%, 90% e três vezes a 100%, cada procedimento por 15 minutos. Ao final dessa etapa as amostras foram submetidas à secagem por 1 hora e 10 minutos à 40°C e 80 bar. Em seguida as amostras foram montadas nos stubbs e pulverizadas com ouro, durante 80 segundos, no metalizador. Após esse procedimento as amostras foram visualizadas no MEV.

2.5. Análise Estatística

Foram avaliados os efeitos principais e as interações. Os dados foram analisados pelo teste “t” de student através do programa computacional Statistica 6.0 (Statsoft, 1997) ao nível de 5% de significância.

3.Resultados e discussão

3.1.Otimização da desidratação osmótica do sapoti

Os resultados obtidos nos 17 ensaios do planejamento fatorial 2^3 estão na Tabela 2.

Observa-se que a perda de umidade (PU) foi superior ao ganho de sólidos (GS) em todos os ensaios (Tabela 2). Esta diferença entre PU e GS é devido ao maior tamanho das moléculas de sacarose em relação às moléculas de água, o que permite que as moléculas de água se movam mais rapidamente do que as moléculas de sacarose (Zou, Teng, Huang, Dai & Wei, 2013). Resultados similares foram encontrados por Ispir e Togrul (2009), Matusek, Czukor e Merész (2008), Silva, Silva, Mariani e Darche (2012) ao desidratarem osmoticamente damasco, maçã e acerola respectivamente. Este achado é importante uma vez que o objetivo principal da desidratação osmótica é alcançar a máxima perda de água com mínimo ganho de sólidos.

Tabela 2. Efeito das variáveis independentes sobre a PU, GS, IED do sapoti

Ensaio	Temperatura (°C)	%Sacarose	Tempo de imersão (minutos)	PU	GS	IED
1	34	44	120	23,8	9,56	2,49
2	46	44	120	28,23	8,51	3,32
3	34	56	120	30,77	14,40	2,14
4	46	56	120	34,9	9,10	3,83
5	34	44	210	23,08	5,68	4,06
6	46	44	210	33,19	15,20	2,18
7	34	56	210	34,03	7,80	4,36
8	46	56	210	45,04	12,10	3,72
9	40	50	165	39,27	9,90	3,97
10	40	50	165	38,93	10,10	3,85
11	40	50	165	38,25	9,80	3,9
12	30	50	165	28,8	9,27	3,11
13	50	50	165	38,19	12,17	3,14
14	40	40	165	25,61	10,80	2,37
15	40	60	165	38,16	11,46	3,33
16	40	50	90	31,7	9,80	3,23
17	40	50	240	36,81	10,70	3,44

PU = Perda de Umidade; GS = Ganho de Sólidos; IED = Índice de Eficiência da Desidratação

Uma análise de regressão foi aplicada para modelar os valores de PU, GS e IED como funções quadráticas da concentração da solução osmótica, tempo de imersão e temperatura. Os coeficientes de regressão para os modelos obtidos são apresentados na Tabela 3. A análise estatística indicou que os modelos ajustados foram considerados preditivos, não possuindo significativa falta de ajuste e com valores de R^2 muito satisfatórios para todas as respostas. Resultados similares foram encontrados por Herman- Lara et al. (2012) ao estudarem a cinética de transferência de massa de cilindros de rabanete, tendo encontrado valores de $R^2 > 0,97$. Mercali, Marczak,

Tessaro e Noreña (2011) encontraram $R^2 > 0,98$ para PU e GS durante a desidratação de cilindros de banana. Para ajudar a visualização dos efeitos dos diferentes tratamentos sobre a PU, GS e IED, as Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam as superfícies de resposta geradas pelo modelo quadrático.

Tabela 3. Coeficientes de regressão da equação quadrática para PU, GS e IED

	PU	p	GS	p	IED	p
B₀	-262,09	0,005	1,936	0,769	-28,638	0,006
B₁	-4,334	0,010	-0,134	0,414	0,531	0,009
B₁₁	-0,061	0,005	0,005	0,063	-0,006	0,006
B₂	7,582	0,004	0,978	0,021	0,537	0,011
B₂₂	-0,077	0,003	0,009	0,020	-0,009	0,003
B₃	-0,091	0,212	-0,225	0,004	0,084	0,005
B₃₃	-0,001	0,007	0,00003	0,901	-0,0001	0,014
B₁₂	0,002	0,722	-0,033	0,002	0,007	0,006
B₁₃	0,006	0,013	0,009	0,0004	-0,002	0,001
B₂₃	0,004	0,025	-0,003	0,004	0,0008	0,010
R²	0,982		0,979		0,947	

PU: perda de umidade; GS: ganho de sólidos; IED: índice de eficiência da desidratação; 0: média; 1: Temperatura (°C); 2: Concentração da solução (°Brix); 3: Tempo de imersão (minutos);

Na Figura 1 e Tabela 3 verifica-se que o efeito linear da concentração da solução osmótica e temperatura foram significativos sobre a PU. Maiores perdas de umidade são obtidas com temperaturas $> 40^{\circ}\text{C}$ e concentração da solução osmótica $> 50^{\circ}\text{Brix}$.

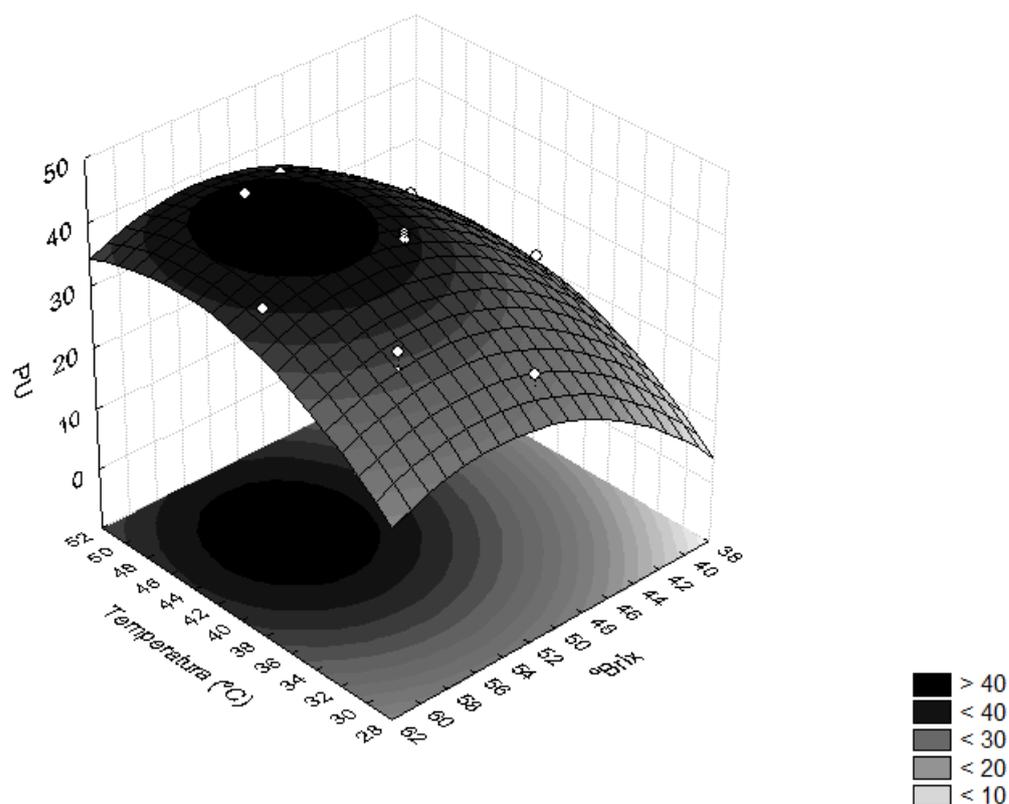


Figura 1. Superfície de resposta da perda de umidade (PU) em função a Concentração da solução de sacarose (°Brix) e Temperatura (°C)

Estes resultados podem ser explicados pelo aumento do gradiente de pressão osmótica como também pelo emprego de altas temperaturas que ocasionam a diminuição da viscosidade do meio osmótico e levam ao inchaço, plasticização e destruição da estrutura da membrana celular, ou seja, aumenta a permeabilidade da membrana, o que favorece a perda de água (Mercali et al., 2011; Herman-Lara et al., 2012).

Na desidratação osmótica de cilindros de feijão verde, Souraki, Ghaffari e Bayat (2012) verificaram que a PU aumentou com o aumento da temperatura (30, 40 e 50°C) e concentração da solução salina (10%, 20% e 26,5%).

Em relação à temperatura resultados similares foram alcançados por Mercali et al. (2011) ao desidratarem cilindros de banana com temperaturas de 25 a 55°C, concentração de sal de 0 – 10g/100g e sacarose de 30 – 60g/100g.

Nesta pesquisa a interação entre temperatura e concentração da sacarose não foi significativa ($p > 0,05$), resultados contrários foram encontrados por Herman-Lara et al. (2012) ao desidratarem cilindros de rabanete com solução osmótica de NaCl.

Na Figura 2 e Tabela 3 é possível observar que a interação temperatura e tempo foi significativa ($p < 0,05$). O GS foi maior com temperatura $\leq 34^{\circ}\text{C}$ e tempo de imersão ≤ 120 minutos e temperatura $\geq 46^{\circ}\text{C}$ e tempo de imersão ≥ 210 minutos. De acordo com Mercali et al. (2011) temperaturas superiores a 60°C devem ser evitadas, pois reduzem a qualidade do produto final, alterando a estrutura das membranas celulares, resultando na perda de seletividade e conduzindo a maior incorporação de solutos na fruta. Além disso, temperaturas elevadas podem induzir alterações significativas na textura e na composição nutricional do alimento como uma consequência das perdas de nutrientes do produto para solução osmótica.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mavroudis, Gidley e Sjöholm (2012) ao desidrataram cilindros de maçã, utilizando quatro meios osmóticos diferentes (sacarose a 50%; 49,47% de sacarose + 0,25% de CaCl_2 ; 48,27% de sacarose + 0,5% de CaCl_2 e 40,52% de sacarose + 0,50% de CaCl_2 + 2% de NaCl) à temperatura de 20, 40 e 60°C em intervalos de 30, 60, 120 e 180 minutos. Ressaltando que a 60°C teve um significativo GS.

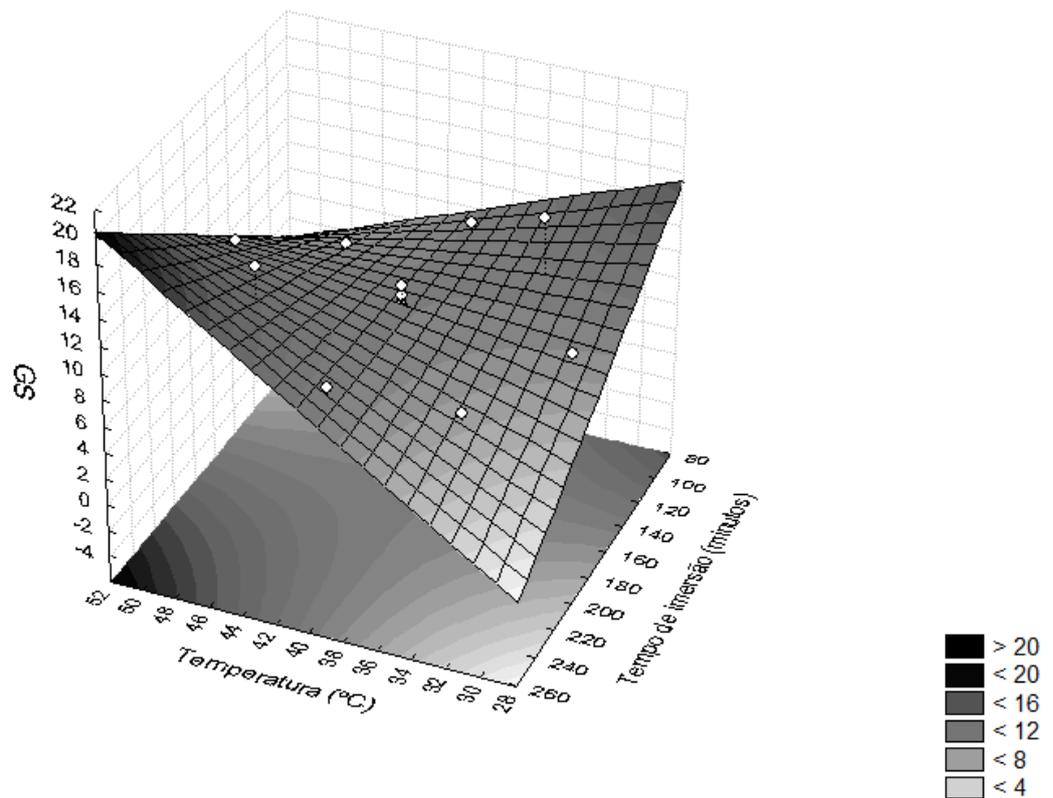


Figura 2. Superfície de resposta do ganho de sólidos (GS) em função do Tempo de imersão (minutos) e Temperatura (°C)

Na Figura 3 observa-se que a interação da temperatura com a concentração da solução osmótica foi significativa ($p < 0,05$), maiores valores de temperatura ($T > 46^{\circ}\text{C}$) e menores valores de concentração da solução ($^{\circ}\text{Brix} < 44$) irão fornecer maiores GS, ao passo que temperaturas $< 34^{\circ}\text{C}$ e concentração da solução de sacarose $< 44^{\circ}\text{Brix}$ fornecem um produto com menor GS, ficando assim o produto final mais próximo ao *in natura*.

Herman-Lara et al. (2012) e Abraão, Lemos, Vilela, Sousa e Nunes (2013) ao desidratarem rabanetes e abóboras, respectivamente, obtiveram o mesmo comportamento do sapoti, ou seja, a temperatura e concentração da solução osmótica influenciaram o GS de forma significativa ($p < 0,05$).

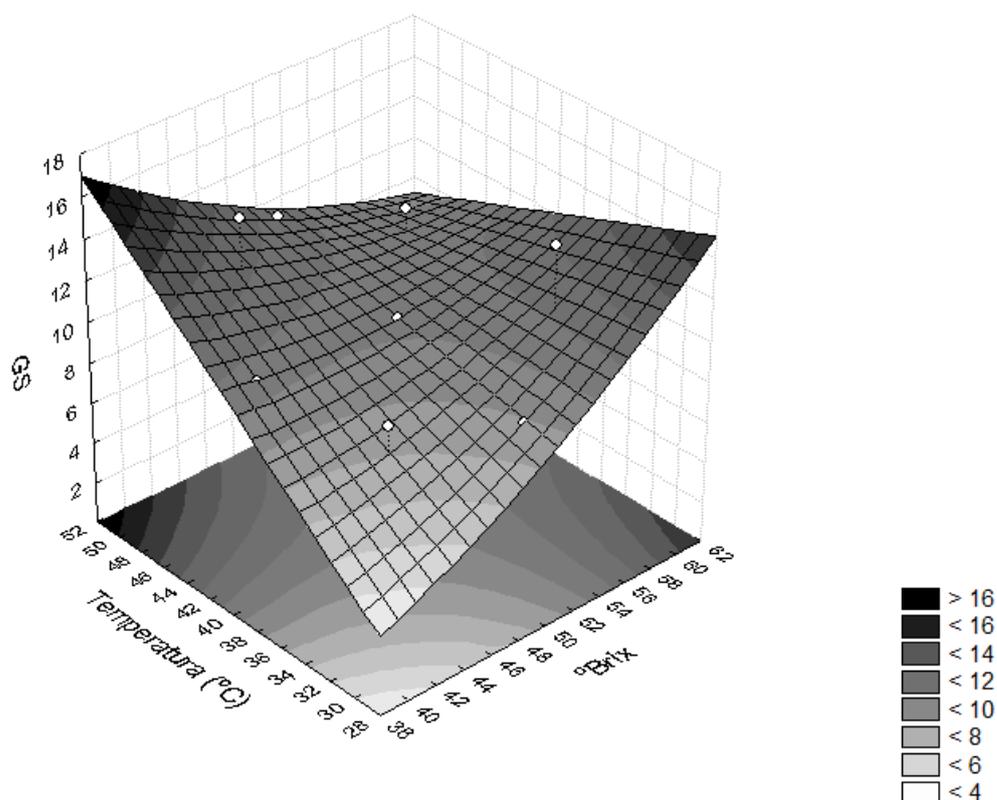


Figura 3. Superfície de resposta do ganho de sólidos (GS) em função da Concentração da solução de sacarose (°Brix) e Temperatura (°C)

A fim de avaliar a influência dos parâmetros da desidratação osmótica sobre a eficiência da PU e GS foi determinada a relação PU/GS, denominada Índice de Eficiência de Desidratação (IED). Altos valores dessa relação estão relacionados com boas condições de desidratação (Abraão et al., 2013).

Na Figura 4 é possível observar que a interação entre concentração da solução osmótica de sacarose e o tempo de imersão influenciou o IED de forma significativa ($p < 0,05$). O IED apresentou maiores valores com concentração da solução $\geq 44^\circ\text{Brix}$ e tempo de imersão ≥ 120 minutos.

Ao desidratarem cilindros de abóboras Abraão et al. (2013) observaram que o IED aumentou com o aumento do tempo de imersão, temperatura e, principalmente, concentração da solução de sacarose.

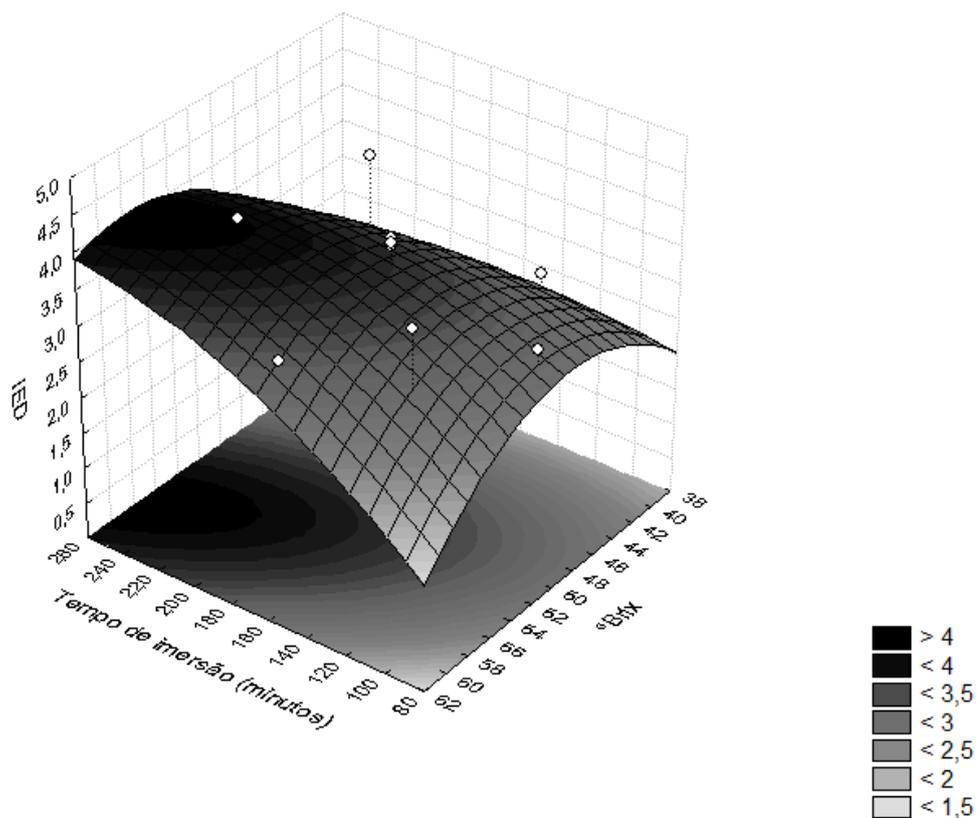


Figura 4. Superfície de resposta do índice de eficiência da desidratação (IED) em função do Tempo de imersão (minutos) e Concentração da solução de sacarose (°Brix) com Temperatura igual a 40°C

Na figura 5 observa-se que a interação entre a temperatura e tempo de imersão influenciou o IED. Valores de temperatura $\geq 48^{\circ}\text{C}$ e tempo de imersão ≤ 120 minutos e temperatura $\leq 40^{\circ}\text{C}$ e tempo de imersão ≥ 165 minutos alcançaram maiores valores de IED. Na Tabela 2 pode-se comprovar este fato pelos ensaios 7, 5 e 9 que obtiveram os maiores IED.

Para a realização da análise sensorial foram escolhidos os ensaios 7 e 9 (Tabela 2) pois obtiveram satisfatória PU. Levando em consideração este critério foi eliminado assim o ensaio 5.

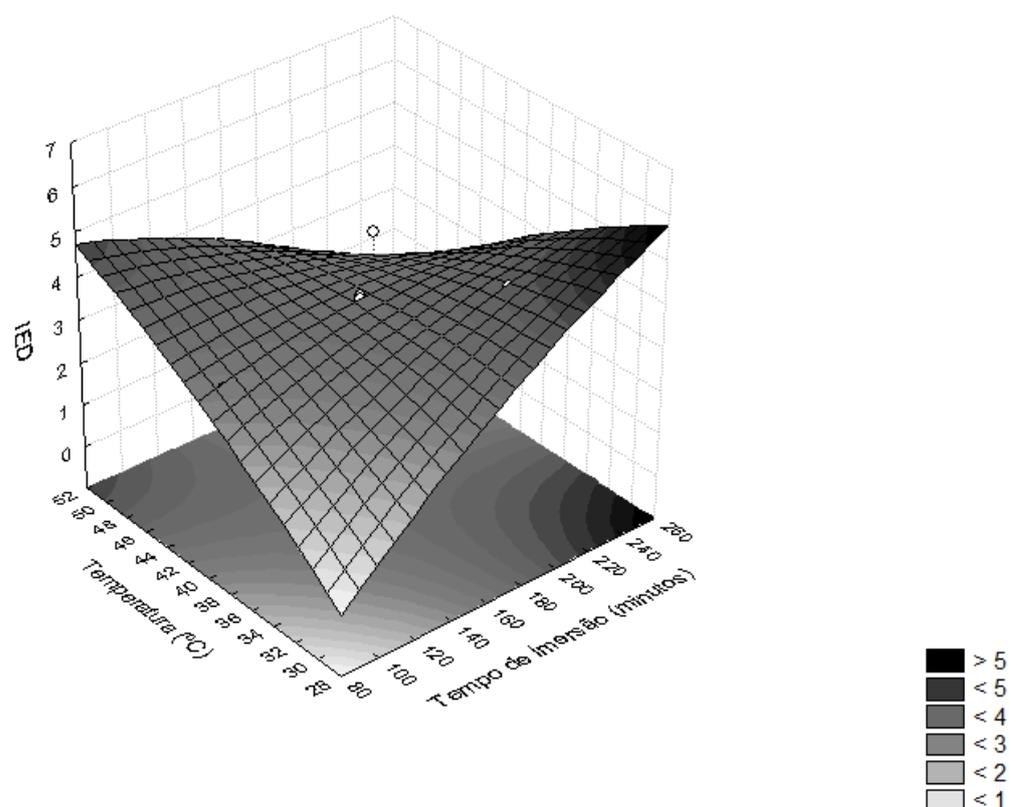


Figura 5. Superfície de resposta do índice de eficiência da desidratação (IED) em função do Tempo de imersão (minutos) e Temperatura (°C)

3.2. Análise sensorial

As médias das notas do teste de aceitação estão apresentadas na Tabela 4.

Os ensaios 7 (34°C; 56°Brix; 210 min.) e 9 (40°C; 50°Brix; 165 min.) não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os atributos avaliados, mas o ensaio 9 obteve maiores médias (Tabela 4).

Tabela 4. Média das notas do teste de aceitação do sapoti desidratado

Ensaio	Aroma	Cor	Sabor	Textura	Qualidade Global
Ensaio 7	6,50±1,25a	6,30±1,47a	6,64±1,34a	6,42±1,54a	6,44±1,31a
Ensaio 9	6,72±1,41a	6,58±1,44a	6,78±1,58a	6,82±1,69a	6,76±1,39a

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste “t” de student.

Calculando o índice de aceitabilidade para o atributo qualidade global, foi obtido 71,55% (ensaio 7) e 75,11% (ensaio 9), valores estes $\geq 70\%$, considerados assim produtos aceitos sensorialmente (Teixeira et al., 1987).

Em relação à intenção de compra constata-se que o ensaio 9 obteve maior percentual de “certamente compraria” (Tabela 5). Diante dos resultados do índice de aceitabilidade e intenção de compra o ensaio 9 foi selecionado para análise microbiológica, físico-química e estrutural.

Tabela 5. Percentual das notas obtidas na intenção de compra para os ensaios 7 e 9

Ensaio	Percentual (%)				
	Jamais compraria	Talvez não compraria	Talvez compraria/ Talvez não compraria	Talvez compraria	Certamente compraria
Ensaio 7	2	14	30	32	22
Ensaio 9	4	4	34	26	32

3.3. Análise Microbiológica

O sapoti desidratado (40°C; 50°Brix; 165 min.) apresentou padrões microbiológicos que atendem aos estabelecidos pela Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (Brasil, 2001) (Tabela 6), evidenciando assim boas práticas de fabricação.

Tabela 6. Análise microbiológica de sapoti desidratado osmoticamente (ensaio 9)

Análise Microbiológica	Resultado	Legislação
Coliformes 45°C/g	< 0,3 NMP	Máx. 10 ² /g
<i>Salmonella sp</i>/25g	Ausência em 25g	Ausência em 25g

NMP: Número mais provável.

3.4. Composição centesimal e características físico-químicas

Verifica-se na Tabela 7 a composição centesimal do sapoti *in natura* e do osmoticamente desidratado.

Tabela 7. Composição centesimal do sapoti *in natura* e do desidratado osmoticamente (em 100g do produto)

Parâmetros *	Sapoti	
	<i>In natura</i>	Desidratado osmoticamente + secagem (ensaio 9)
Umidade (g/100g)	77,57±0,23A	24,34±0,20B
Cinzas (g/100g)	0,48±0,09A	0,45±0,05A
Proteínas (g/100g)	0,38±0,02B	0,73±0,02A
Lípidios (g/100g)	1,18±0,006B	2,53±0,08A
Carboidratos (g/100g)	20,40±0,16B	71,95±0,14A
Fibras (g/100g)	1,06±0,13B	2,68±0,38A
VCT (kcal)	93,70±0,61B	313,51±0,81A

Letras iguais na horizontal não diferem significativamente ($p > 0,05$) pelo teste t de student. VCT: Valor calórico total. * Médias de 3 determinações.

O sapoti *in natura* apresenta perfil semelhante à maioria dos frutos, exibindo alto teor de umidade e de carboidratos, e baixo conteúdo de proteínas e de lipídios (Tabela 7). Segundo Chitarra e Chitarra (2005) os componentes mais abundantes e largamente distribuídos em alimentos de origem vegetal são a água e os carboidratos.

Os conteúdos de carboidratos, proteínas e, conseqüentemente, o valor calórico total foram inferiores (20,40 g/100g, 0,38 g/100g e 93,70 g/100g, respectivamente) aos encontrados por Gonsalves (2002), que foram 26 g/100g, 0,7 g/100g e 96 kcal, respectivamente. Porém o teor de umidade foi superior (77,57 g/100g) ao de Gonsalves (2002) que encontrou 75 g/110g.

Todos os parâmetros da composição centesimal diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre o sapoti *in natura* e o desidratado, com exceção do teor de cinzas (Tabela 7). O conteúdo de cinzas do sapoti *in natura* apresentou valores mais elevados (0,48%)

do que encontrado por Sousa, Figueirêdo, Queiroz, Silva e Sousa (2012), que foi de 0,38%, no mesmo fruto.

O conteúdo de proteínas, lipídios, carboidratos, fibras e VCT do fruto desidratado foi significativamente ($p < 0,05$) maior do que o fruto *in natura*, fato este explicado pela desidratação do fruto, consequentemente concentração dos nutrientes. Esta desidratação permitiu perda significativa de água pelo fruto de 53,23% (Tabela 7).

Os dados de atividade de água (A_w), sólidos solúveis e pH encontram-se na Tabela 8. É possível observar que os teores de sólidos solúveis do sapoti desidratado aumentaram em relação ao sapoti *in natura*. Fato explicado pela concentração dos açúcares naturais do sapoti e a incorporação de sacarose durante o processo. Resultados similares foram obtidos por Oliveira, Afonso e Costa (2011) ao caracterizarem a polpa do sapoti fresco e o pó obtido do fruto liofilizado, encontrando 15,67 °Brix e 65,50 °Brix, respectivamente.

Tabela 8. Características físico-químicas do sapoti *in natura* e desidratado osmoticamente

Análise físico-química	Sapoti	
	In natura	Desidratado osmoticamente (ensaio 9)
Atividade de água (A_w)	0,985±0,001a	0,803±0,017b
Sólidos solúveis totais (°Brix)	13,67±0,58b	19,67±2,08a
pH	4,75±0,05a	4,71±0,32a

Medias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem significativamente pelo teste “t” de student ao nível de 5% de significância

O pH manteve-se praticamente o mesmo após o processo de secagem (Tabela 8). Resultados similares foram observados por Oliveira et al. (2011) ao detectarem pH da polpa de sapoti *in natura* (5,55) e o do pó obtido do fruto liofilizado (5,58).

Quanto a A_w o fruto desidratado se caracteriza como um fruto de umidade intermediária (Tabela 8).

Após a desidratação osmótica o sapoti foi submetido à secagem em estufa obtendo umidade de 24,34%, sendo considerado dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 2001).

3.5.Avaliação Estrutural – Microscopia

Ao longo dos últimos anos, tem havido mudanças no campo da investigação do processamento osmótico e tem-se buscado, além de uma visão macroscópica, observar o processo a uma escala microscópica. Visto que uma visão da anatomia e fisiologia do tecido vegetal e suas células é útil para a compreensão dos fenômenos de transferência de massa (Mavroudis et al., 2012).

A Figura 6 (a, b) apresenta a microestrutura do sapoti *in natura*. Observam-se paredes celulares com turgor, células com tamanhos uniformes, preservadas e com certa organização.

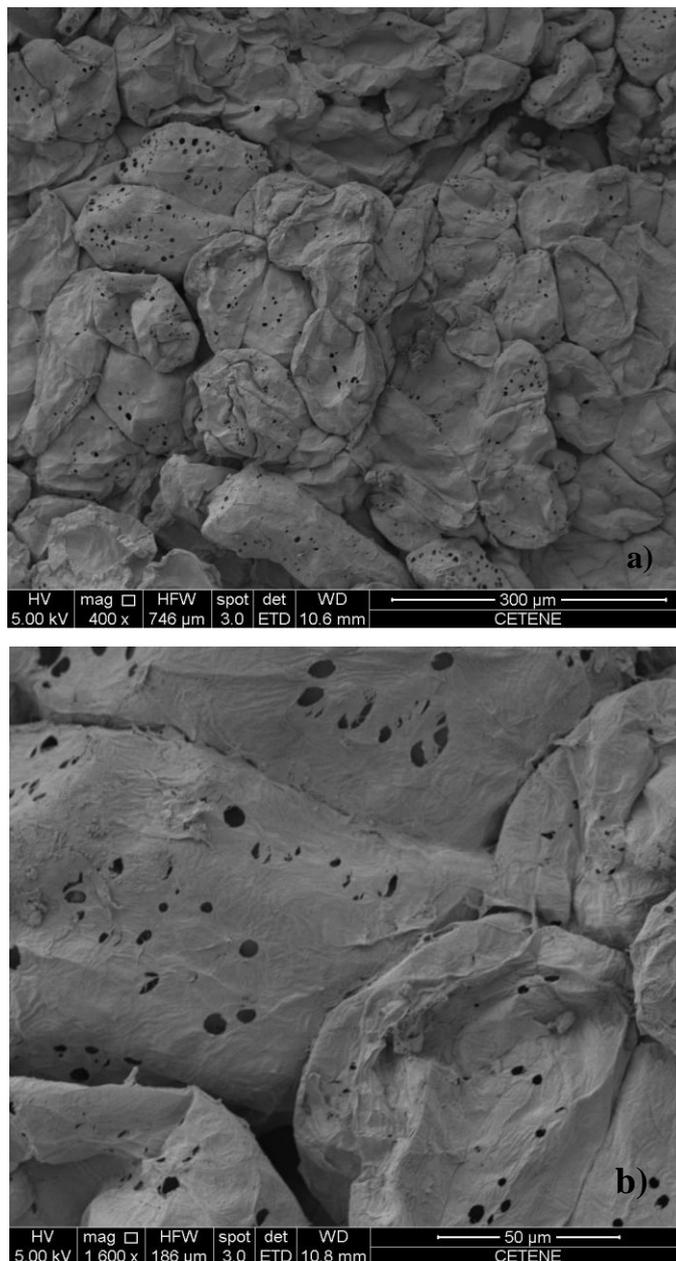


Figura 6. Microestruturas do sapoti *in natura* (a, b)

Na Figura 7 (a, b) são apresentadas as estruturas celulares do sapoti submetido ao processo de desidratação osmótica. Na figura 7 (a) observa-se que as células estão desordenadas, não existe uniformidade no tamanho, devido ao enrugamento provocado pela perda de água durante a desidratação osmótica e o turgor das células está reduzido.

Lewicki e Porzecka-Pawlak (2005) afirmam que os tecidos vegetais submetidos ao processo osmótico tendem a apresentar células com volume e tamanhos menores que

o tecido *in natura*. As células do sapoti *in natura* apresentaram tamanho médio de 123,7 μm x 105 μm e o sapoti osmoticamente desidratado apresentou células com tamanho médio de 121,9 μm x 97,55 μm .

Na figura 7 (b) verifica-se a ruptura das paredes celulares em uma determinada área, salientando que a maior parte das células permaneceu com sua estrutura intacta.

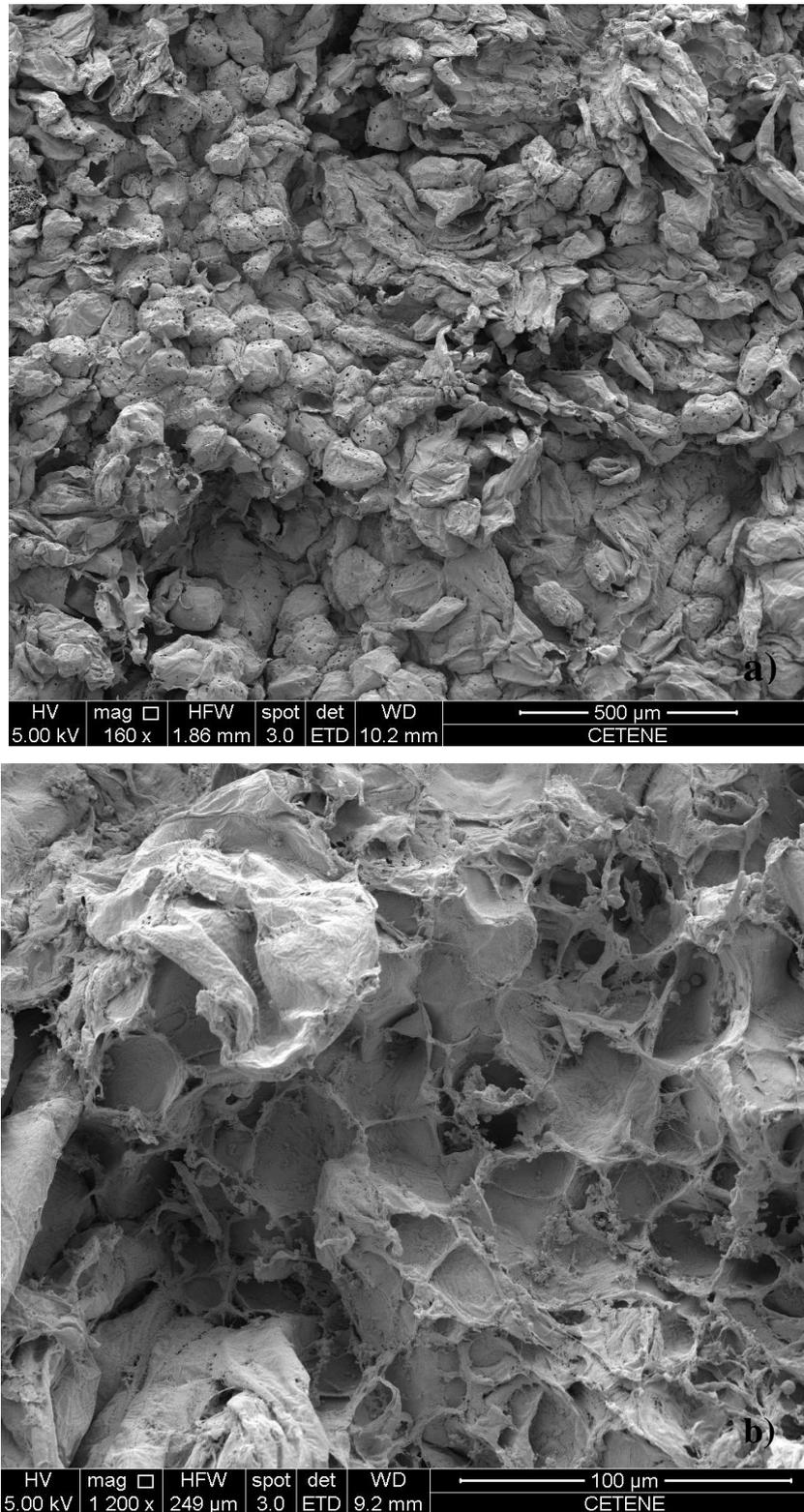


Figura 7. Microestruturas do sapoti osmoticamente desidratado (a); áreas de ruptura da parede celular (b).

Fernandes, Gallão e Rodrigues (2008) e Lewicki e Porzecka-Pawlak (2005) afirmam que alguns fatores podem contribuir para ruptura das paredes celulares, tais como menor resistência da parede celular, devido à solubilização da pectina; pressão osmótica elevada, que gera mudanças na distribuição dos gradientes de pressão no tecido e leva as células que estão em contato direto com a solução osmótica a perder água e liberar a pressão de turgor, ocorrendo o enrugamento das células. Derossi, Pilli, Severini e Maccarthy (2008) afirmam que devido à perda de água, ocorre a desnaturação da proteína, resultando em membranas danificadas. Este tipo de dano leva a ruptura da parede celular e membrana celular ocorrendo plasmólise.

Alterações estruturais semelhantes foram encontradas por Mayor, Pissarra e Sereno (2008) e Pereira, Carmello-Guerreiro e Hubinger (2009) ao desidratarem cilindros de abóbora e metades de goiabas, respectivamente. No legume *in natura* as células apresentavam-se inchadas e após a desidratação houve encolhimento destas células de forma não homogênea. No tecido celular da goiaba houve plasmólise celular extensa e as células pareciam estar deformadas e enrugadas.

4. Conclusão

Dentro das condições que foi realizada esta pesquisa pode-se concluir que: PU e GS foram influenciados pela temperatura e concentração da solução osmótica; IED teve influência significativa da concentração da solução osmótica e tempo de imersão; ensaio 9 (40°C; 50°Brix; 165 min.) obteve maiores notas nos atributos sensoriais e conformidade com os padrões microbiológicos e legislação brasileira vigente para frutas desidratadas; o pré-tratamento osmótico gerou redução de turgor e ruptura das paredes celulares do sapoti.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) por seu apoio através do processo (473208 / 2011-3).

Referência Bibliográfica

Abraão, A. S., Lemos A. M., Vilela A., Sousa J. M., & Nunes F. M. (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and Bioproducts Processing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.04.006>.

AOAC. (2002). *Official methods of analysis*. Washington: Association of Official Analytical Chemists.

Ascar, J. M. (1985). *Alimentos: Aspectos bromatológicos e legais. Análise percentual*. São Leopoldo: Unisinos editora.

Brasil, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. (2001). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 02 jan. 2001. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm > Acesso em 03 dez. 2012.

Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*, (2th ed.). Lavras: ESAL/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão.

Derossi, A., Pilli, T., Severini, C., & Maccarthy, M. J. (2008). Masstransfer during osmoticdehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86, 519-528.

Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., & Rodrigues,S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 604–610.

Gomes, R. P. (2006). *Fruticultura brasileira*, (13th ed.) São Paulo: Nobel.

Gonsalves, P. E. (2002). *Livro dos Alimentos*, (2th ed.). São Paulo: GM Editores.

Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Pacheco-Angulo, H., Carmona-García, R., Ruiz-Espinosa, H., & Ruiz-López, I. I. (2012). Mass transfer modeling of equilibrium and dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 91, 216-224.

Ispir, A., & Togrul, I. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87, 166–180.

Laranjeira, H.C.A. (1997). *Otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi (Ananas comosus (L.) Merrill) para aplicação à tecnologia de métodos combinados*. Campinas: Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Lenart, A., & Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal Food Technology*, 19, 65-89.

Lewicki, P. P., & Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66, 43-50.

Matussek, A., Czukor, B., & Merész, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9, 365-373.

Mavroudis, N. E., Gidley, M. J., & Sjöholm, I. (2012). Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. *Food Research International*, 48, 839-847.

Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85, 326-339.

Mercali, G. D., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Noreña, C. P. Z. (2011). Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). *LWT - Food Science and Technology*, 44, 82-91.

Mickelbart, M. V. (1996). Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In: Janick, J, *Progress in new crops* (pp.439-446). Alexandria: ASHS Press.

Oliveira, V. S., Afonso, M. R. A., & Costa J. M. C. (2011). Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 342-348.

Pereira, L. M., Carmello-Guerreiro, S. M., & Hubinger, M. D. (2009). Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 378-384.

Ponting , J. D. (1973). Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and application. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.

Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 255-260.

Silva, M. A. C., Silva, Z. E., Mariani, V. C., & Darce, S. (2012). Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 45, 246-252.

Souraki, B. A., Ghaffari, A., & Bayat, Y. (2012). Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 64-71.

Sousa, E. P., Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., Silva, L. M. M., & Sousa, F. C. (2012). Caracterização físico-química da polpa de sapoti oriunda do estado do ceará. *Revista Verde*, 7, 45-48.

Statsoft. (1997). *Computer program manual*. Tulsa: Statsoft. (Statsoft Statistica for Windows 6.0).

Teixeira, E., Meinert, E., & Barbeta, P.A. (1987). *Análise sensorial dos alimentos*. Florianópolis: UFSC.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68.

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, 247–253.

Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X., & Wei, B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 253-259.

6. CONCLUSÕES GERAIS

As condições experimentais utilizadas nesta pesquisa permitem as seguintes conclusões:

Conforme os estudos cinéticos, as velocidades de perda de umidade e ganho de sólidos foram menores nas duas primeiras horas de desidratação osmótica e aumentaram com a progressão do tempo de processamento e concentração da solução osmótica. O tempo de imersão teve maior influência sobre o coeficiente de difusão da água e sacarose e encontraram-se nas faixas de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ a $1,858 \times 10^{-10}$ e de $0,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ a $2,304 \times 10^{-10}$, respectivamente.

A perda de umidade (PU) e ganho de sólidos (GS) apresentaram influência significativa da temperatura e concentração da solução osmótica e o Índice de Eficiência de Desidratação (IED) teve influência significativa da concentração da solução osmótica e tempo de imersão.

As melhores condições de processamento do sapoti, utilizando o IED como parâmetro, foram 34°C; 56°Brix; 210 minutos e 40°C; 50°Brix; 165 minutos.

O sapoti osmoticamente desidratado na condição de 40°C; 50°Brix; 165 minutos apresentou melhores resultados na análise sensorial, índice de aceitabilidade e intenção de compra; padrões microbiológicos que atendem aos estabelecidos pela Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária, evidenciando adequadas condições higiênico-sanitárias em todas as etapas de processamento; conformidade com a legislação brasileira vigente para frutas desidratadas, com umidade de 24,34%; paredes celulares com redução de turgor e rupturas após o tratamento osmótico.

O processo de desidratação osmótica do sapoti é uma boa alternativa para conservar o fruto e aumentar sua vida útil, possibilitando assim sua comercialização e agregando valor econômico para o produto final.