



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA

E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



# DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FIGO DA ÍNDIA (*Opuntia fícus indica*)

Janusa Iesa de Lucena Alves Vasconcelos

Recife, 2010.



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA**

**E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**



**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE  
FIGO DA ÍNDIA (*Opuntia ficus indica*)**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PGCTA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre no referido Programa.**

Mestranda: Janusa Iesa de Lucena Alves Vasconcelos

Orientadora: Profa. Dra. Samara Alvachian Cardoso Andrade

Co-Orientadora: Profa. Dra. Maria Inês Sucupira Maciel

Recife, 2010.

*ãõ deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar. Desconfie do destino e acredite em vocẽ. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive jã morreu."*

**(Luiz Fernando Veríssimo)**

***Dedico este trabalho a Deus, a Eduardo, pelo amor, compreensão e madrugadas compartilhadas.***

## AGRADECIMENTOS

- 3 A Deus pelas Graças em todos os momentos e a Nossa Senhora de Fátima, pelo conforto perpétuo de uma Mãe Divina.
- 3 A Eduardo, meu marido, amigo e confidente, pelo estímulo, apoio, compreensão, concessão, carinho e paciência.
- 3 Aos meus Pais, Jailson e Marinalva, por todo o esforço e dedicação, principalmente pela lição de vida sobre estudo e dedicação. Aos meus segundos Pais, Lenildo e Esmeralda, pelo carinho, dedicação, paciência e “adoção”. Aos meus irmãos, de nascimento e casamento, pelo apoio.
- 3 A meus irmãos presenteados pela vida: Andréa, Vera, Kelma, Kleybson, Juyllanne, Rodolfo. Vocês foram imprescindíveis!!!
- 3 As minhas Professoras, Samara e Maria Inês, pela dedicação, generosidade e amizade.
- 3 A todos do Curso de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, professores, funcionários, em especial Ana, pela presteza de sempre.
- 3 Aos funcionários, professores e colaboradores do Laboratório de Engenharia Química-UFPE, e do depto. De Nutrição, LEAAL-UFPE.
- 3 A Capes e CNPq pelo apoio financeiro.
- 3 E a todos que estimularam, por pensamentos, atos e palavras a concretização deste sonho.

## RESUMO

O Figo da Índia é um fruto de cactácea, cujo uso na alimentação humana remonta as Civilizações Pré-colombianas, já que é típico das Américas. Sua composição centesimal é rica em fibras, macronutrientes e micronutrientes, podendo desenvolver um importante papel na nutrição de populações com riscos de insegurança alimentar; além de fonte de renda adicional para pequenos produtores. Porém estas características físico-químicas o tornam suscetível ao desenvolvimento microbiano e às perdas pós-colheita, exigindo o desenvolvimento de alternativas de conservação para aumentar a vida de prateleira do produto e seu uso na alimentação. A desidratação é um método eficaz de conservação de alimentos, sendo a desidratação osmótica um destes processos, cujo princípio se dá na imersão de um alimento em uma solução hipertônica, reduzindo o conteúdo de água livre deste, através de fluxos de transferência de massa entre o fruto e a solução; preservando características nutricionais e sensoriais bem próximas ao produto *in natura*. Este trabalho estudou figos-da-índia desidratados osmoticamente, em proporção fruto: xarope de 1:10, com soluções de (sacarose e sacarose+ cloreto de sódio comerciais e glicose PA), sob temperatura (30°C, 34°C, 40°C, 46°C e 50°C), tempo de imersão (90', 120', 165', 210' e 240') e concentração da solução osmótica (40° Brix, 44° Brix, 50° Brix, 56° Brix e 60° Brix), com a concentração de cloreto de sódio fixa em 3%. Os melhores resultados obtido para sacarose foi a 46°C, 210' e 56° Brix (IED=42,79); para sacarose mais cloreto de sódio a 30°C, 165' e 50°Brix (IED=95,59) e para glicose 40 °C, 90 min. E 50 °Brix (IED=108,47%). Logo dos agentes utilizados, a glicose foi o que se mostrou mais eficaz, com as condições de processamento de menor custo. Assim, a desidratação osmótica do figo da Índia mostrou-se eficaz e eficiente para redução de umidade neste fruto, propiciando a formulação de novos produtos e possibilitando seu uso como fonte de renda auxiliar para agricultura familiar, principais produtores desta cactácea no Brasil.

**Palavras chave:** semiárido; conservação; sacarose; glicose; cloreto de sódio.

## ABSTRACT

The prickly pear is a fruit of cactus, whose use in food dates back to pre-Columbian civilizations, as is typical of the Americas. Its chemical composition is rich in fiber, nutrients carbohydrates and , can develop an important role in the nutrition of populations at risk of food insecurity as well as additional source of income for small farmers. But these physical and chemical characteristics make it susceptible to microbial growth and post-harvest losses, requiring the development of conservation alternatives for increasing the shelf life of the product and its use in food. Dehydration is an effective method of food preservation, and the osmotic dehydration of those cases, the principle of which takes place in a food immersion in a hypertonic solution, reducing the content of free water, flows through mass transfer between fruit and the solution, maintaining nutritional and sensory characteristics very close to the product fresh. This work studied figs cloves osmotically dehydrated in fruit to syrup 1:10, with solutions (sucrose, sucrose + sodium chloride both commercial, and glucose PA), temperature (30 ° C, 34 ° C, 40 ° C, 46 ° C and 50 ° C), immersion time (90 ', 120', 165 ', 210' and 240 ') and concentration of osmotic solution (40 ° Brix, 44 ° Brix, 50 ° Brix, 56 ° Brix and 60 ° Brix), with the concentration of sodium chloride, fixed in 3%. The best results were obtained for sucrose at 46 ° C, 210 'and 56 ° Brix (FDI = 42.79), for sucrose, for sodium chloride at 30 ° C, 165' and 50 ° Brix (FDI = 95.59) glucose and 40 ° C, 90 min. E 50 ° Brix (FDI = 108.47%). Thus the agents used glucose was what was most effective, with the processing conditions of lower cost. Thus, the osmotic dehydration of prickly pear proved to be effective and efficient way to reduce moisture in the fruit, allowing the formulation of new products and enabling its use as a source of auxiliary income for family farmrs, the main producers of this cactus in Brazil.

**Keywords:** semiarid; storage, sucrose, glucose, sodium chloride.

## Sumário

RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
1. Introdução .....	9
2. Objetivos .....	12
2.2 Objetivo Geral .....	13
2.3 Objetivos Específicos.....	13
3. Revisão bibliográfica .....	14
3.1. Características do figo da índia .....	15
3.2. Desidratação Osmótica .....	18
3.2.1. Permeabilidade do Tecido Vegetal.....	21
3.2.2. Agente Osmótico .....	23
3.2.3. Concentração da Solução Osmótica .....	24
3.2.4 Temperatura .....	25
3.2.5. Agitação .....	27
3.2.6. Tempo de imersão .....	28
3.2.7. Geometria do fruto.....	29
3.2.8. Pressão atmosférica do sistema .....	30
4. Referências Bibliográficas .....	32
5. Resultados e discussão.....	44
Estudo da ação do agente osmótico na Desidratação osmótica de figo da índia ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) utilizando Metodologia de Superfície de resposta .....	45
Conclusões Gerais .....	75



## **1. Introdução**

O fruto de palma (*Opuntia ficus indica*), figo da Índia ou tuna cresce em toda América, do sudeste do Canadá à Patagônia, sendo levado por Grandes Navegações, a diferentes partes da Europa, África e Austrália. Graças a sua habilidade de adaptação a diversas condições climáticas, a palma cresce em diferentes solos e climas (LAHSASNI, 2004); sendo importante fonte alimentar por fornecer forragem durante todo o ano. Sua utilização na alimentação humana pode ser feita através do fruto *in natura*, doces e compotas; sendo considerada uma iguaria típica do México e da Região Andina. No Brasil, destina-se principalmente a forragem animal, sendo a área plantada, cerca de 500.000 Ha., na Região Nordeste e estados de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais. Seu cultivo para a produção de frutos é ainda emergente no país, concentrando-se em São Paulo, na região de Valinhos, e, de forma incipiente, nos estados de Pernambuco e Paraíba, destinada a maior parcela para exportação à Europa e Estados Unidos, onde existe o hábito de consumo deste fruto, considerado exótico (ALVES et al., 2008). Por seu alto valor nutritivo é importante fonte de fibras, carboidratos e minerais, como zinco e cromo (MEDINA, RODRIGUEZ, RONDERO, 2007).

O figo da Índia é um fruto sazonal, possui umidade em torno de 82%, propiciando condições para o crescimento microbiano. De acordo com Chitarra-Chitarra (2005) e Medina, Rodriguez, Rondero (2007) frutos com teor elevado de umidade são altamente perecíveis, apresentando perdas superiores a 30% após a colheita, quando armazenados à temperatura ambiente, necessitando a utilização de um método de conservação, com o objetivo de diminuir estas perdas.

A desidratação é um dos métodos de conservação mais antigos conhecido pelo homem, sendo a osmótica um dos métodos mais adequado para obtenção de produtos com perda de 20% a 50% da umidade inicial, com alterações mínimas de cor, textura e valor nutricional (ANDRADE et al., 2005; FERRARI et al., 2005).

Comercialmente, verifica-se que as frutas conservadas por processos de desidratação apresentam vantagens por serem consumidas durante o ano todo (redução da perecibilidade) e a praticidade transporte, bem como armazenamento; além de facilitar a exportação de alguns produtos que deixam de estar sujeitos a barreiras fito-sanitárias por países importadores. Como também há maior procura dos consumidores e indústria por produtos saudáveis, cujas características

organolépticas se assemelhem aos frutos *in natura* com custo acessível e qualidade abrindo possibilidades para formulação de novos produtos alimentícios.

A desidratação osmótica (DO) dos frutos de palma desempenharia importante papel no desenvolvimento de novos produtos com o fruto de palma, possibilitando alternativas para pequenos produtores e cooperativas rurais, na maioria dos municípios de Pernambuco, em escala artesanal e industrial, salientando a inexistência da comercialização deste fruto desidratado, propiciando uma nova fonte de renda para estas famílias.

Diante destas considerações, torna-se válido a realização desta pesquisa, visando obter produto desidratado osmoticamente diversificando seus produtos, além de agregar valor comercial ao fruto, utilizando processos de baixo custo global. (orientação: reescrever)

## **2. Objetivos**

## **2.2 Objetivo Geral**

(orientação reescrever) Obter frutos de palma (*Opuntia ficus indica*) desidratados osmoticamente.

## **2.3 Objetivos Específicos**

- Avaliar a influência das variáveis do processo sobre a perda de umidade, ganho de sólidos e Índice de Eficiência da Desidratação (IED);
- Estabelecer o melhor agente osmótico empregado;
- Estabelecer as melhores condições do processo para o fruto em apreço.

### **3. Revisão bibliográfica**

### 3.1. Características do figo da índia

As espécies do gênero *Opuntia* surgiram na América Central (costa leste do México) e foram trazidas para Cádiz (Espanha) em 1820. Nas Ilhas Canárias teve lugar em 1824, tornando-se o seu cultivo generalizado em zonas climáticas semi-áridas, de características pluviais de 150 a 200 milímetros de precipitação média anual (MEDINA, RODRIGUEZ, RONDERO, 2007).

A palma cresce em todo continente americano, do sul do Canadá à Patagônia, e é cultivada em diferentes áreas da Europa, particularmente na região do Mediterrâneo, em países da África e Austrália. Muitas espécies diferentes de *Opuntia* são cultivadas no México para a produção de frutos, sendo ingrediente de diversos pratos típicos. A cultivar *Opuntia ficus indica* é a mais comum e tem capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais, crescendo em planícies, regiões costeiras, planaltos, dentre outros (LAHSANI, 2004).

A palma, por estas características citadas acima, tem-se destacado como a principal cactácea produtora de frutos e forragem, sendo também a mais estudada e difundida nas regiões semi-áridas do planeta (SOUZA, 2007). Duas partes da planta podem ser utilizadas na alimentação humana: frutos e raquetes. Os frutos, cuja coloração, quando maduros varia do amarelo à púrpura (Figura 1); podem ser consumidos *in natura*, secados ao sol ou em doces caseiros (MEDINA, RODRIGUEZ, RONDERO, 2007; NOBEL, 2001).



**Figura 1:** Frutos de palma em suas diversas cores.

**Fonte:** Wikipédia, disponível no site: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/Prickly\\_pears.jpg/250px-Prickly\\_pears.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/Prickly_pears.jpg/250px-Prickly_pears.jpg), acessado em 04/01/2010 às 10:42.

No Brasil, a plantação de palma destina-se basicamente à produção de forragem para pecuária. A utilização de frutos é extrativista, isto é, sem finalidade comercial, subestimando assim as propriedades nutricionais e econômicas por falta de informações e alternativas de conservação (ALBUQUERQUE, ANDRADE, 2002). Nos Estados de Pernambuco, Bahia, Minas Gerais e São Paulo há, aproximadamente, 100.000 hectares de palma. Em São Paulo, na região de Valinhos, há pequena área plantada (1,5 ha com rendimento anual de US\$ 8 mil/ano), com a finalidade de exportar para a Europa e Estado Unidos, cujo consumo é mais bem disseminado que no Brasil (ALVES et al., 2008 CHIACCHIO, MESQUITA, SANTOS, 2006.).

Ao se observar a composição físico-química, química e nutricional de frutos ***Opuntia ficus indica***, é consenso entre os autores que o referido fruto apresenta bom conteúdo de carboidratos (cerca de 15%), sendo seu principal nutriente, betacarotenos, ácido ascórbico e minerais, como fósforo e potássio; além de alta umidade. (MEDINA; RODRIGUEZ; ROMERO, 2007; CEREZA, DUARTE, 2005; SÁENZ, 2004; COELHO et al., 2004; MANICA, 2002). O valor calórico é reduzido, de 13,42 a 50 kcal/100g; tornando-o similar ao de: melancia (33 kcal/100g); kiwi (51 kcal/100g) e pitanga (41 kcal/100g) (TACO, 2006). Seu conteúdo de proteína, cinzas, lipídios e fibras também são semelhantes a laranja, maçã e pêssegos (ALVES et al., 2008, TACO, 2006).

O conteúdo de ácido ascórbico (12,7 a 60mg/100 g) é superior ao encontrado para tomate, cajá-manga, caju e laranja comum (TACO, 2006). Possui teor de sódio (0,6 a 14,47 mg/100g) e potássio (217 a 1583 mg/100g), sendo uma boa opção para a alimentação de pessoas com problemas cardiovasculares.

Em relação ao conteúdo de aminoácidos livres, o fruto de palma apresenta-se rico em serina, ácido  $\gamma$ -aminobutírico, glutamina, prolina, arginina e histidina e metionina (ASKAR Y EL-SAMAHY, 1981). Segundo Stintzing et al. (1999), há também alto conteúdo de taurina em frutos originários do México e África do Sul, chegando a 323,6 a 572,1 mg/l. A taurina é um aminoácido intracelular, essencial para humanos, com altas concentrações no sistema nervoso central (SNC). Possui importantes atividades fisiológicas, como: proliferação celular, conjugação da bile, regulação do sistema cardiovascular, pressão arterial e manutenção da integridade



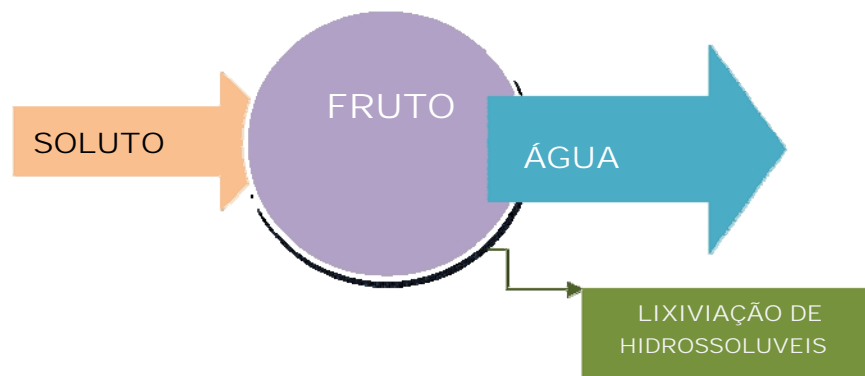
das membranas. Além disso, tem sido relatado ações como neurotransmissor e fator trófico no desenvolvimento do SNC, entre outras ações em estudo (DENIPOTE, F. G. et.al., 2009; CASSOL JUNIOR, 2009).

### 3.2. Desidratação Osmótica

A qualidade do produto, bem como o custo final são os fatores mais importantes para serem considerados ao se optar por um determinado método de preservação. A água, por sua atuação nas reações de deterioração do alimento, bem como fisiológicas, necessárias à qualidade do alimento, torna-se a variável tecnológica mais pesquisada e decisiva na qualidade e durabilidade de produtos alimentícios (EL-AOUAR et al., 2006). A desidratação de um determinado alimento pode reduzir sua atividade fisiológica, microbiológica, reações enzimáticas e não enzimáticas, além de produzir uma redução de volume, diminuindo custos com embalagem, armazenamento e transporte, agregando valor ao produto, bem como aumentando sua disponibilidade para consumo.

A conservação de produtos agrícolas pelo uso de técnicas de secagem é provavelmente o método mais antigo utilizado. Há necessidade de métodos de desidratação mais eficientes e de menor gasto de energia, diminuindo o custo do processo, impulsionando a aquisição de novos produtos, pelos consumidores, com melhor qualidade nutricional e microbiológica (ANTONIO et al., 2008).

A desidratação osmótica (DO) é uma das técnicas para redução de umidade. Este processo ocorre devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e a fruta, imerso em solução, de um ou mais solutos com atividade de água menor que o alimento, durante o processo, criando dois fluxos simultâneos em contra corrente (Figura 2), através das paredes celulares: um de água que sai da fruta para a solução – o mais importante, do ponto de vista da desidratação – e outro de soluto (sal ou açúcar), da solução para o alimento. Além destes, ocorre um terceiro fluxo, menos estudado, que consiste na lixiviação de compostos hidrossolúveis do alimento, como: açúcares, minerais, vitaminas, etc. que, embora, proporcionalmente insignificante em relação aos dois fluxos principais, exerce importante papel sobre a qualidade organoléptica (aroma, cor, textura) e nutricional (minerais e vitaminas) do produto final (DALLA ROSA , DIONELO et al., 2007; QUEIROZ et al., 2007; AMAMI et al., 2008).



**Figura 2:**Esquema da desidratação osmótica de frutos.

O estudo dos fluxos de transferência de massa, ocorridos durante a DO, é importante para prever as propriedades físicas deste novo produto (MEDINA-TORRES et al., 2008). A difusividade da água através do material biológico é considerada constante durante todo o processo, pois as mudanças no estado da membrana celular não são consideradas na maioria dos estudos realizados. Durante o processo, ocorrem períodos dinâmicos e de equilíbrio de fluxos que se mantêm até atingir o equilíbrio, cujo fluxo e balanço de massa são nulos, permitindo o cálculo de modelos teóricos para os parâmetros matemáticos do processo, indicando quais fatores possuem maior influência no processo.

Os agentes desidratantes mais comuns são, para frutos, a sacarose e sais orgânicos, para vegetais (ALAKALI et al., 2006). Como o Brasil possui uma boa produção de frutos e açúcar, a desidratação osmótica se torna um processo viável para diminuir as perdas pós-colheita, aumentando a vida de prateleira, além de ser uma alternativa para a obtenção de produtos com características reológicas e sensoriais semelhantes ao *in natura* (SOUZA et al., 2003). Estas são as maiores vantagens do processo osmótico, juntamente com o baixo custo e investimento inicial, fácil operacionalização durante a realização do processo.

Dentre os entraves para utilização industrial da desidratação osmótica está o destino da solução osmótica. A solução osmótica ou xarope, se não reutilizada, além de ser um custo recorrente e fixo ao processo, gera grande volume de efluente, que precisa ser descartado dentro das leis ambientais, evitando prejuízos ao meio ambiente e responsabilização cível à indústria. A resposta mais viável a este problema seria a reutilização do xarope, sendo corrigidos desvios de concentração

ou contaminação de partículas e/ou microrganismos, através da adição de solutos ou evaporação para a reconcentração da solução osmótica, bem como a filtração para retirada de partículas indesejáveis. Estes métodos para reutilização de xarope são em escala laboratorial eficazes, sendo necessários maiores estudos para escala industrial (VALDEZ-FRAGOSO et al., 2001). Outras opções para redução ou eliminação deste descarte estão sendo propostas e estudadas, como: a reutilização do xarope na produção de aguardentes e licores, produção de vinagres finos com **flavor** de frutas, produção de frutas em calda e como meio de cultura de microrganismos para ação inseticida (controle biológico de pragas) (GOMES; CEREDA; VILPOUX, 2007; RODRIGUES, 2009).

Apesar da redução da umidade inicial, durante a DO, a atividade de água residual possibilita a ocorrência de reações que podem prejudicar a segurança do produto obtido, sendo necessário o uso de métodos combinados de conservação, como: apertização, secagem convectiva por ar, microondas, uso de cadeia de frio, embalagens inteligentes, aplicação de ultrassom, campo eletromagnético, alta pressão hidrostática (MEDINA – TORRES et al., 2008; YAO; MANGUER et al., 1997; BUNGER et al., 2004; CORREA et al., 2008; BARAT et al., 2001; CHENLO; MOREIRA; TORRES et al., 2007; RODRIGUES, FERNADES, 2007; ANDRADE et al., 2007, PANADES et al., 2008; PANI et al., 2008; RASTOGI, ANGERSBACH, KNORR, 2000; STOJANOVIC, SILVA, 2007).

A eficiência do processo osmótico é determinada pela razão entre a perda de umidade e a incorporação de sólidos, ou seja, quanto maior a perda de água e menor incorporação de sólidos, melhor o produto obtido. Assim a taxa de transferência de massa é, macroscopicamente, depende de: fatores de permeabilidade do tecido do alimento, agente osmótico utilizado, concentração deste agente, temperatura da solução, agitação do sistema, tempo de imersão do fruto no alimento, geometria do fruto a ser desidratado, relação entre fruto e solução e pressão do sistema (HOFMEISTER, 2003; CHIRALT, FITO, 2003).

### **3.2.1. Permeabilidade do Tecido Vegetal**

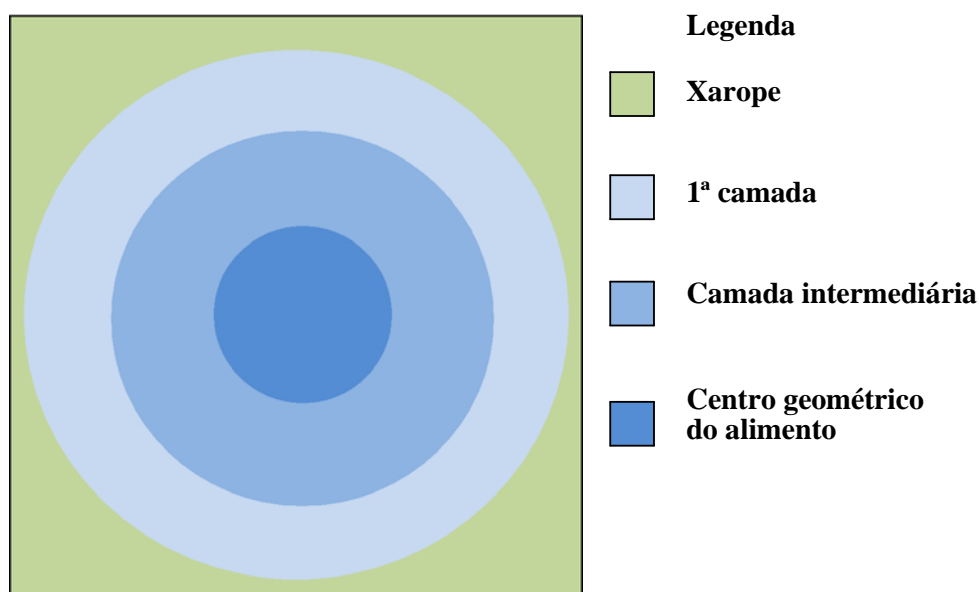
Em uma situação osmótica ideal, uma membrana semipermeável é permeável às moléculas do solvente, mas não às do soluto. (orientação tirar frutos, vegetais é mais abrangente) Em vegetais, as membranas adjacentes às paredes celulares são unidades biológicas vivas, compostas principalmente por células do parênquima, as quais podem encolher ou expandir-se sob a influência do crescimento da planta e da pressão do turgor gerada no interior das células. Estas membranas permitem que as moléculas do solvente migrem livremente para o interior da célula, mas limitam a passagem das moléculas do soluto. Este tipo de membrana pode ser classificado como de permeabilidade diferenciada, ao invés de semipermeável (TORREGGIANI, 1993).

No entanto, o estado da membrana celular pode mudar de permeabilidade parcial para permeabilidade total, ocasionando mudanças significativas na estrutura do tecido (RASTOGI, ANGERSBACH; KNORR, 2002;). As membranas celulares constituem-se em barreiras naturais para a transferência de massa. O tecido vegetal de frutos e hortaliças apresenta espaços intercelulares que os torna permeável à água e solutos de baixo peso molecular (PM), permitindo que o fluxo de água, de menor PM, seja mais intenso que o do soluto, de maior PM (ESCOBAR, 2007). Admite-se que durante a DO uma camada superficial de 2-3 mm de profundidade se forma no produto e esta tem grande influência sobre a transferência de massa, favorecendo a perda de água, limitando a deposição de soluto e reduzindo as perdas de solutos solúveis (RASTOGI, ANGERSBACH; KNORR, 2002;).

Durante o processo de DO, a complexa estrutura da parede celular dos alimentos age como membrana semipermeável, não completamente seletiva aos íons e compostos presentes, tanto na solução osmótica, quanto no interior do alimento. Diferentes mecanismos de transporte estão envolvidos neste processo, como osmose, difusão, mecanismos hidrodinâmicos (HDM), penetração e outros fenômenos específicos; resultando em redução do teor de água do alimento, com concomitante aumento de sua massa seca e mudança na composição química (LENART; PIOTROWSKI, 2001, CHIRALT e FITO, 2003).

Ao emergir o tecido vegetal no meio osmótico, as primeiras células sofrem graves danos fisiológicos, inclusive, levando à morte pela severidade da diferença do gradiente osmótico, criando uma “superfície,” com considerável diminuição de resistência para a transferência de massa; facilitando o processo osmótico (ESCOBAR, 2007). A maturação do fruto interfere na sua permeabilidade, este quando está maduro, apresenta aumento na porosidade do tecido possibilitando maior saída de água, com maior perda de peso (CHAVARRO-CASTRILLÓN et al., 2006).

No mecanismo proposto por Rastogi, Angersbach, Knorr (2000), para materiais biológicos celulares, considera-se que a saída de água se daria através das camadas do alimento, do centro à periferia. Assim se teria três frentes de desidratação: do centro para a periferia, da periferia até a interface do alimento em contato com a solução desidratante e da interface imediatamente em contato com a solução desidratante (Figura 3). Tais forças de movimentação de massa provocam desintegração da membrana celular na região desidratada, ou seja, os tecidos em contato com o xarope.



**Figura 3:** Camadas de tecido no alimento que perdem água durante a Desidratação Osmótica Fonte: Rastogi, Angersbach e Knorr , 2000.

O aumento da concentração osmótica, ou temperatura ou tempo de imersão danificam a estrutura celular, diminuindo sua seletividade, favorecendo a entrada de solutos de alto PM, como sacarose. Ocorre também preenchimento dos espaços intercelulares, podendo aumentar a saída de água das células adjacentes, danificando-as irreversivelmente, comprometendo a qualidade final do produto desidratado (SHIGIMATSU et al., 2005).

### **3.2.2. Agente Osmótico**

Durante a DO, a remoção de água, o ganho de sólidos e o teor de água na condição de equilíbrio são fortemente afetados pelo tipo de agente osmótico, sua concentração, massa molecular e comportamento iônico (SINGH et al., 2007). Segundo Queiroz et al. (2007), o tipo de açúcar utilizado no preparo do xarope afeta expressivamente a cinética de remoção de água e o ganho de sólidos pela fruta. Para a escolha do agente osmótico se deve levar em conta as mudanças do valor nutritivo do produto final e suas características sensoriais ao ser desidratado, bem como o custo do processo (OSORIO et al., 2007).

Os agentes osmóticos mais descritos na literatura são sacarose e cloreto de sódio, provavelmente mais utilizados pela eficácia que geram ao processo osmótico. (orientação acrescentar solução binária) A combinação destes dois agentes também é descrita na Literatura. A utilização de cloreto de sódio e sacarose associados possibilita um acréscimo na força motriz, ocorrendo um aumento na perda de água, pelo efeito sinérgico entre a sacarose e cloreto de sódio, mesmo ao se utilizar concentrações menores de sal. (SHING et al., 2007; RODRIGUES, FERNADES, 2007) Além destes também são relatados estudos com: glicose, frutose, xarope de milho, citrato trissódico, glicose monidratada, açúcar invertido e polióis como; sorbitol, manitol e glicerol. Os fatores determinantes na escolha do agente osmótico são: toxicidade, disponibilidade, solubilidade nas temperaturas de processamento, capacidade de redução de atividade de água no alimento e custo (DHINGRA et al. 2008; SHING et al., 2007, ALVES et al., 2005).

A taxa de difusividade de água é diretamente relacionada ao tamanho da molécula (peso molecular) do agente osmótico. O emprego de solutos de alto PM favorece perda de água, reduz o ganho de massa (incorporação de açúcar),

promovendo menor atividade de água (Aa), favorecendo a conservação. A utilização de solutos de menor PM, como glicose, favorece maior incorporação de massa por sua velocidade de penetração celular, interferindo no processo de saída de água, efeito desejado em alguns casos (TORREGGIANI, 1993, MAROUSIS et al., 1989).

A solubilidade do agente osmótico também influi no seu poder desidratante, visto que, quanto mais insolúvel maior a formação de uma barreira em torno do fruto (crosta), dificultando o fluxo da água do fruto para a solução, além de alterações consideráveis de “*flavor*” e cor. A combinação de dois ou mais agentes osmóticos possibilita a otimização do processo com menores alterações no produto desidratado em relação ao fresco (RAOULT-WACK, 1994). Jokic et al. (2007) observou na desidratação de beterraba que utilização de pequenas concentrações de cloreto de sódio aumentou a perda de umidade sem aumentar o ganho de sólidos, quando comparados a soluções de sacarose pura.

Algumas alterações de cor podem ser observadas por escurecimento enzimático, Reação de Maillard ou caramelização, quando usados açúcares como agente osmótico, promovidas por processos adicionais de secagem. Este efeito pode ser desejado, agregando valor comercial ao produto, apesar de diminuir seu valor nutritivo (LIMA et al., 2004).

O uso de polióis, como manitol e sorbitol, pode resultar em um produto com boa atividade de água final, bem como, produtos com teor reduzido de açúcares; além de reduzir o ganho de sólidos e aumento na redução de peso do produto desidratado (EBRA et al., 1994).

### **3.2.3. Concentração da Solução Osmótica**

Com relação à concentração da solução osmótica, a transferência de massa é favorecida pelo uso de xaropes altamente concentrados (SOUZA-NETO et al., 2004). Por outro lado, soluções de sacarose, por exemplo, com concentrações maiores que 75 °Brix são difíceis de serem preparadas. A menor solubilidade e alta viscosidade dificultam sua manipulação e o processo de agitação (SOUSA et al.,



2003a). O aumento da concentração da solução proporciona maior perda de água e, desse modo, maior perda de massa pela fruta (FITO et al., 1998). Lima et al. (2004) verificaram que o aumento da concentração da solução de 55 para 60 e 65 °Brix, na desidratação de melão, promoveu elevação na taxa de perda de água durante o processo, devido ao acréscimo na pressão osmótica no exterior da fruta. O emprego de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como o ácido ascórbico, mediante formação de uma camada periférica concentrada em soluto, prevenindo o arraste dos mesmos (RAOULT-WACK, 1994, VIAL et al., 1991). No entanto, em baixas concentrações, o ganho de soluto (impregnação) é maior que a perda de água, nas primeiras horas de desidratação, estabilizando-se na continuidade do processo. Ao mesmo tempo a perda de água vai aumentando até suplantar o ganho de sólido no decorrer no tratamento (DIONELLO et al., 2007).

Alves et al. (2005) observaram ao desidratar acerola em soluções binárias (sacarose+água) com concentração de 30 a 60% e soluções ternárias (sacarose+cloreto de sódio +água), com proporção fixa de cloreto de sódio de 10% sendo os melhores resultados foram obtidos, a 60°C, os realizados com maiores concentrações, para ambos xaropes

Singh et al. (2007), observaram na DO de cubos de cenoura com soluções de sacarose e sacarose+cloreto de sódio, que o efeito sinérgico dos dois agentes se fazia mais notório ao se aumentar a concentração de ambos. Ressaltaram também que a associação de sacarose e sal obteve uma menor incorporação de sólidos e maior perda de umidade, provavelmente pela formação de uma barreira de sacarose na interface alimento/xarope, impedindo a impregnação de cloreto de sódio, cuja ação reforça o incremento na diferença de pressão osmótica, aumentando a diminuição da umidade.

### **3.2.4 Temperatura**

A temperatura é o fator de maior influência na cinética de DO, por aumentar a taxa de transferência de massa, modificar as propriedades da solução e do produto. Seu controle faz-se necessário para impedir alterações indesejáveis nas

propriedades sensoriais, favorecendo aceitação do produto final (ESCOBAR et al., 2007).

A temperatura crítica afeta as propriedades do tecido vegetal, influenciando na permeabilidade do soluto e da água, salientando que estes dependem também da natureza do fruto, sendo recomendada a faixa de 30°C a 90°C, embora temperaturas acima de 55°C possam causar danos irreversíveis à integridade da membrana plasmática com favorecimento do escurecimento enzimático (ANDRADE et al., 2003; SHIGEMATSU et al., 2004).

As taxas de transferência de massa (perda de água e ganho de sólidos) aumentam com a elevação da temperatura (RAOULT-WACK, 1994) e quanto mais alta esta variável, maiores serão as perdas dos componentes nutricionais, alterações da cor e da estrutura do alimento (DHINGRA et al., 2008). Segundo Torreggiani (1993), temperaturas acima de 45 °C podem implicar em escurecimento enzimático e deterioração do sabor do alimento, enquanto temperaturas acima de 60 °C levam a modificação no tecido da fruta, favorecendo a impregnação e o ganho de sólidos.

Ramallo e Mascheroni (2005) analisaram o efeito da temperatura (30, 40 e 50 °C) sobre a perda hídrica, ganho de soluto e perda de sacarose, glicose e frutose, especificamente, durante a DO de abacaxi. Verificando que com o aumento da temperatura de 30 para 50 °C houve um aumento de 3,8 para perda de água e 2,8 vezes na de sacarose da fruta para a solução. As perdas de glicose e frutose também aumentaram com o aumento da temperatura.

Ade-Omoware et al. (2002) estudando pimentão desidratados osmoticamente, com xarope de sacarose e cloreto de sódio, observaram que temperaturas acima de 45°C produziram elevação de incorporação de sólidos e perda de água no produto final. O acréscimo da temperatura pode diminuir o conteúdo de ácido ascórbico e carotenóides, influenciando negativamente no valor nutricional do produto resultante. Já Medina –Torres et al. (2008) pesquisando a DO de palma forrageira (raquete) averiguaram que o incremento da temperatura aumentou o coeficiente de difusividade de água do produto, bem como diminuiu a impregnação de sólidos (xarope de glicose), melhorando o produto obtido após secagem convectiva. O

mesmo foi constatado por Moreno – Castillo et al. (2005) ao estudar a DO de figo - da Índia em soluções de sacarose.

A temperatura também influi na viscosidade da solução osmótica, aumentando o coeficiente de difusividade de água, podendo também favorecer o escurecimento enzimático e a alteração de sabor (VIAL et al., 1991).

### **3.2.5. Agitação**

Durante a DO, a agitação visa minimizar os efeitos da resistência externa à transferência de massa por diminuir a viscosidade da solução osmótica (TONON et al., 2006). Por a força motriz da saída de água ser preponderantemente a diferença de pressão osmótica entre os meios, a agitação favorece esta retirada de água. A agitação garante também a renovação da solução desidratante em torno da amostra, evitando a formação de saturação de soluto entorno do alimento imerso (ANTONIO et al., 2006; DEROSI et al., 2008). Fato também observado por Maldonado et al. (2008) na DO de yacón.

Tonon et al. (2006) verificaram que na DO com sacarose e cloreto de sódio de tomates, cuja agitação foi de 0 a 1000 rpm houve uma influência positiva desta variável na perda de umidade, indicando que a resistência externa a retirada de umidade não poderia ser desconsiderada neste caso. Em relação ao ganho de sólidos, a agitação influenciou não significativa.

Em contrapartida, Medeiros et al. (2006) estudando a DO de figos da Índia com sacarose a concentração de 20 a 50°brix e temperatura ambiente não observaram influência da agitação (300 rpm) no processo.

Pointing et al. (1966) demonstraram que, em função da saída de água, há diferença na viscosidade da solução desidratante, reduzindo a difusividade desta, interferindo negativamente no processo. Assim, a agitação reduz esta interferência no processo e é fundamental para garantir a qualidade final do produto. É importante

analisar o custo do processo global bem como a possibilidade de provocar danos no tecido do fruto por choques com o recipiente.

### **3.2.6. Tempo de imersão**

Diversos trabalhos relataram a relação linear entre a DO e o tempo de imersão. Este parâmetro tem influência decisiva, sendo superado apenas pela temperatura (LENART, 1996). Durante o processo, o aumento do tempo de submersão leva, normalmente a maior perda de massa, mas a velocidade com que essa perda ocorre é menor à medida que o processo se realiza, tendendo a estabilidade (DHINGRA et al., 2008). Alguns estudos dividem a extração de água em duas etapas, no período inicial ( $\pm 2$  horas), ocorre elevada taxa de remoção de água e ganho de sólidos. Na segunda etapa, de 2 a 6 horas ocorre decréscimo da taxa de saída de água e aumento no ganho de sólidos. (ANGELINI, 2002; ANTONIO, 2002; TORREGGIANI, 1993).

Isto foi observado por Laranjeira (1997) ao desidratar maçã com glicose, sacarose e amido, em que independente do agente utilizado, o equilíbrio foi atingido nas primeiras 5h.

De acordo com Azeredo (2000) a taxa de perda de umidade diminui ao longo do tempo, até alcançar o equilíbrio com o soluto da solução em oposição ao ganho de sólidos que tende a aumentar (ALMEIDA et al., 2005).

Este processo tem sido associado com relaxamento mecânico das membranas celulares. Em fenômenos de difusão relacionados com a transformação de alimentos, o gradiente de concentração normalmente é dependente do tempo, e a difusão pode ser mais bem representada pela Segunda Lei de Fick (VARZAKAS et al., 2005). Porém de acordo com a complexidade do sistema, este modelo pode não representar fielmente a realidade.

Mizrahi et al. (2001) afirmaram que, na DO a longo prazo, ocorrem vários sistemas de transferência de massa, cujos mecanismos e forças adicionais devem levados em conta. Salvatori et al. (1998) pesquisaram mecanismos alternativos, como a capilaridade na interface xarope/alimento influenciando na penetração do soluto. A não compreensão de mecanismos de transferência de massa tem

dificultado o desenvolvimento de aplicações industriais bem como a construção de modelos matemáticos eficazes para estes processos (RAOULT-WACK et al., 1994).

Jockik et al. (2007) desidratando beterraba com sacarose e sal, observaram que a interação da concentração osmótica e tempo de imersão foi o fator preponderante na perda de umidade, este comportamento foi similar para o ganho de sólidos ao ser empregado o sal.

Shing et al. (2007) ao desidratarem cenoura em soluções de sacarose e cloreto de sódio constataram que o tempo de processamento exerceu efeito negativo na taxa de reidratação. Visto que esta taxa é inversamente proporcional ao ganho de sólidos, que foi favorecido pelo tempo de processamento. Assim é necessário que esse excesso de soluto seja lixiviado para ocorrer a reidratação do produto.

A correta relação entre o tempo de imersão com os outros fatores garante a eficiência e eficácia do processamento.

### **3.2.7. Geometria do fruto**

A transferência de massa também pode ser favorecida pela geometria e superfície exposta do fruto (DHINGRA et al., 2008; SOUZA et al., 2007; PANADES et al., 2009). O emprego de fatias, cubos, cortes ao meio e cilindros são os mais utilizados na maioria dos trabalhos. Sendo que, a relação área e superfície exposta tem influência, principalmente no ganho de sólidos, conforme descrito por Lericci et al. (1985). De acordo com este mesmo autor, a relação seria: cubo>fatia, anel>cubo e fatia e fatia>cubo; respectivamente.

Giangiacomo et al. (1987) mencionam que a taxa de desidratação é diretamente proporcional a relação superfície de contato/volume. Fato confirmado por Krokida et al. (2000) ao constatarem que a cinética de secagem por vácuo, microondas, congelamento e osmose foi significativamente afetada pelas características do tamanho das partículas de maçãs.

Agnelli et al. (2005) observaram que o ganho de sólidos e perda de água foram influenciados pelo tamanho da aresta do cubo de maçã desidratando, ao aumentar a aresta de 1,5cm a 2,0cm. Resultados similares para GS e variação de peso foram alcançados por Chavarro-Castrillón et al. (2006) ao desidratarem mamão papaia com diferentes pressões (atmosférica e vácuo) e três formas de geometria (lâmina, cilindro e anel).

A geometria escolhida também exerce influência no modelo matemático a ser utilizado. A lei de Flick pressupõe que o alimento esteja com uma geometria simples, como fatia, ou placa fina (MALDONADO et al., 2008).

### **3.2.8. Pressão atmosférica do sistema**

Segundo Fito et al. (1996) a aplicação de vácuo faz com que as forças capilares exerçam uma influência decisiva na ação do mecanismo hidrodinâmico que ocorre durante a saída de água e impregnação de soluto. Isto ocorreria em dois momentos. A DO a vácuo consiste em duas etapas. A primeira ocorre a expansão do gás no interior dos poros e o volume do produto tende a aumentar. Quando a pressão interna se iguala à pressão externa a saída de gás contido no interior do tecido é interrompida, havendo entrada capilar de líquido. Durante esta etapa ocorre também saída de líquido nativo presente nos poros, levado pelo gás que deixa a amostra. Na próxima etapa, a compressão pode ocasionar a deformação do volume da amostra e a subsequente relaxamento, juntamente com a penetração do líquido nos poros, pela ação do mecanismo hidrodinâmico. As propriedades mecânicas da matriz sólida e de escoamento do líquido, que penetra os poros, irão definir os tempos característicos de penetração e de deformação/relaxamento, responsáveis pela impregnação final e deformação das amostras no equilíbrio (FITO et al., 1996; FITO e CHIRALT, 2000).

Barat et al. (2001) concluíram para a DO de maçã, com aplicação de pulso de vácuo, que o emprego deste aumentou significativamente os valores dos coeficientes de difusão, melhorando o processamento.

Giraldo et al. (2003) estudando a DO com aplicação de pulso de vácuo em manga, verificaram que a aplicação de pulsos no início do processo, resultou efeito na concentração da solução osmótica, pela ação dos fluxos de água e solutos terem sido diferentes. A promoção rápida de fluxos hidrodinâmicos impulsionou a perda de líquidos na aplicação do vácuo e a restauração da pressão atmosférica normal provocou aumento da incorporação de sólidos. A 45° Brix foi o ponto culminante deste processo. Vale ressaltar que, de acordo com o autor, a viscosidade e a concentração da solução apresentaram ações sinérgicas para este fenômeno.

Por todo o apresentado, vê-se que a DO tem grande aplicabilidade pela versatilidade de agentes, isolados ou combinados e dos possíveis alimentos que podem ser tratados por este método. Assim, a sua utilização no estudo da conservação do fruto-de-palma, por este método, faz-se justificado.

#### 4. Referências Bibliográficas

A.O.A.C Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis. 16 ed. Washington, 1998.

ADE-OMOWARE, B. I.O; RASTOGI, N. K. ANGERBACH, A.; KNORR, D. Osmotic Dehydration of Bell Peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 54, p.35-43, 2002.

AGNELLI, M.E.; MARANI, C.M.; MASCHERONI, R.H. Modeling of Heat and mass transfer during (osmo) dehydrifreezing of fruits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 69, p. 415-424, 2005.

ALAKALI, J. S.; ARIAHU, C.C; NKPA, N.N. Kinetics of Osmotic Dehydration of Mango. **Journal of Food Processing and Preservation**, Maryland, v.30, n.5, 597-607, 2006.

ALBQUERQUE, U. P. De; ANDRADE, L. de H. C. Uso de recursos vegetais da Caatinga: o caso no agreste do Estado de Pernambuco (nordeste do Brasil). **Interciencia**, Caracas, n° 007, v. 27, p.336-346, 2002.

ALMEIDA, F. A. C.; RIBEIRO, C. F. A.; TOBINAGA, S.; GOMES, J. P.. Otimização do processo de secagem osmótica na obtenção de produtos secos da manga Tommy Atkins. Ver. Brás. **Engenharia Agrícola Ambiental**, Lavras, n° 4, v. 9, p. 576 – 584. 2005

ASKAR, A., EL-SAMAHY, S. K. Chemical composition of prickly pear fruits. Askar, A. & El-Samahy, S.K.. Chemical composition of prickly pear fruits. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, Berlin, n°77, p. 279–281, 1981.

ALVES, D. G.; BARBOSA-JR, J.L.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X. Osmotic Dehydration of Acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 68, p. 99-103, 2005



ALVES, M.A., SOUZA, A.C.M. de, GAMARRA-ROJAS, G., GUERRA, N.B. Fruto de palma (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller, *Cactaceae*): morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita. **Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha**, Ciudad Del Mexico, Vol 9, nº1, p.16-25, 2008.

AMAMI, E.;KHEZAMI,L.;VOROBIEV, E.;KECHAOU, N. Effect of Pulsed Electric Field and Osmotic Dehydration Pretreatment on the Convective Drying of Carrot Tissue. **Drying Technology**, London, v. 26, nº 2, p. 231 - 238. 2008.

ANDRADE, S.A.C.; BARROS NETO, B. de; SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente.**Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº 27, v.1, 39-43, 2007.

ANDRADE, S.A.C.; METRI, J.C.; NETO, B.B.; Guerra, N.B. Desidratação osmótica do Jenipapo (*Genipa amarericca* L.). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº.2, , v.23 p.276-281, 2003.

ANTONIO, G.A.; KUROZAWA, L.E; MURR, F.E.X.; PASK, K.J. Otimização da desidratação osmotica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superfície de resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, Lavras, v.9, p.135-141, 2008

AZEREDO, H.M.C.; JARDINE, J.G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. . **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº.1, v. 20, p.78-82, 2000.

BARAT, J. M.; FITO, P.; CHIRALT, A. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, p. 77-85, 2001.

BARBERA, G. História e importância econômica e agroecológica. In: BARBERA, G.;INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. João Pessoa: FAO/ Sebrae, 2001. p.1-11.

BARROS NETO, B., SACARMINIO, I. S., BRUNS, R. E. **Como Fazer experimentos**. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 401p. 2003.

BORIN, I, FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Efeito do Tratamento Osmótico com sacarose e Cloreto de sódio sobre a Secagem Convectiva de Abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº 28, v.1, 39-50, 2008

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**, London, nº10, p. 163-170, 2004.

CASSOL JÚNIOR,O. J. **Avaliação do tratamento com antioxidantes, taurina e rc-3095 sobre as alterações da cadeia respiratória e da atividade da creatina quinase em cérebro de ratos sépticos**. Dissertação de Mestrado, UNESC.2009

CEREZA, P.; DUARTE, G. Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (*Opuntia ficus-índica* (L.) Miller). **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, Dallas, v.7, p. 61-83, 2005.

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 Tecnologia de Alimentos**, Campinas, no.3, v. 26, p.596-603, 2006.

CHENLO,F.; MOREIRA, R.; TORRES, M. D. Reological Properties of Chesnut Processe by Osmotic Dehydration and Conective Drying. **Food Science and Technology International**, London, v.13, p. 369-374, 2007

CHIACCHIO, Ff. P. B.; MESQUITA, A. S.; SANTOS, J. R. dos. Palma Forrageira: uma Oportunidade econômica ainda Desperdiçada para o Semi-Árido Baiano. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, nº3, p. 39-49, 2006.

CHIRALT, A. FITO, P. Transport Mechanisms in Osmotic Dehydration: The Role of the Structure. **Food Science and Technology International**, London nº9; P. 179-186, 2003.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL, Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2005. 785 p.

COELHO, R. R. P.; FERREIRA-NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R.M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Características físicas e físico-químicas do fruto da palma cultivada na região do Curimataú Paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE **CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, 19.,2004, Recife. Anais eletrônicos, 2004. CD-ROM.

CORREA, J. L. G.; SILVA FILHO, E. D.; BATISTA, M. B.; AROLA, F.; FIORENZE, R. Desidratação Osmótica de Tomate Seguida de secagem. **Revista brasileira de Produtos agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p. 35-42. 2008.

DALLA ROSA, M.; GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.49, p.223-236, 2001.

DENIPOTE, F. G.; PAIVA, S. A. R.; ZORNOFF, L. A. M. Influence of taurine on cardiac remodeling. **Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 34, n.1, p. 211-223, 2009.

DEROSSI, A.; PILLI, T. de; SEVERINI, C.; McCARTHY, M. J. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apples. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 86, p. 519-528, 2008.

DHINGRA, D.; SINGH, J., PATIL, R.T., UPPAL, D.S. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science Technology**, London, v.45, n.3, p.209–217, 2008.

DIONELLO, R.G.; BERBERT, P.A.; BERBERT-MOLINA, M.A.; 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**, Campinas, v.27, n.4, p.701-709, 2007.

EBRA, M. L.; FORNI, E.; COLONELLO, A.; GIANGIACOMO, R. Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-physical characteristics of osmodehydrofrozen fruit. **Food Chemistry**, London, v 50, n.1, p. 69-73, 1994.

EL-AOUAR, N.A.; AZOUBEL, P.M.; BARBOSA, J.L.L.; MURR, F.E.X. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (carioca papaya L.) **Journal of Food Engineering**, Oxford, n°75, p.267-274, 2006.

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

FERRARI, C.C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D.; Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, no. 3, p. 564- 570, 2005.

FITO, P. et al. Coupling of hydrodynamic mechanisms and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food- liquid systems. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 229-240, 1996.

FITO, P.; CHIRALT, A. Vacuum impregnation of plant tissue. **Minimally processed fruits and vegetables**, p. 189-204, 2000.

FITO, P; CHIRALT, A.; BARAT, J.; SALVATORI, D.; ANDRÉS, A. Some advances in osmotic dehydration of fruits. **Food Science and Technology International**, London, v. 4, p. 329-338, 1998.

GARCÍA, J. C.; VALDEZ, C. A. F. **Nopalitos y tunas: producción, comercialización, pos cosecha e industrialización**. México: Chapingo, 2003. 225p.

GARROTE, R. L., SILVA, E. R., BERTONE, R. A. Osmotic concentration at 5°C and 25°C of pear and apple cubes and strawberry halves. **Lebensmittel – wissenschaft und – Technologies**, Berlin, v.25, n.2, p. 133-138, 1992.

GIANGIACOMO, R. TORREGIANI, D. ABBO, E. Osmotic Dehydration of Fruits: Part1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, London, 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 of osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 58, p. 33-43, 2003.

GLASS, V. Figo-da-índia: sabor entre espinhos. SãoPaulo. Maio, 2005. Seção Reportagens. Disponível em: <[http://globo rural.globo.com/edic/185/rep\\_figoa.htm](http://globo rural.globo.com/edic/185/rep_figoa.htm)>. Acesso em: 18 de março de 2008.

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILAPOUX, O. Desidratação Osmótica: uma tecnologia de Baixo Custo para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté, v. 3, n. 3, p. 212-226, 2007.

HOFMEISTER, L. C. **Estudo da impregnação a vácuo em alimentos porosos**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.p.75

JOCKIC, A. ; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGO, Z. Osmotic Dehydration of Sugar Beet in Combined Aqueous Solutions of sucrose and Sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n°78, p. 47-51. 2007.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOSKOURIS, D. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, v. 18, n. 6, p. 937-950, 2000.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 61, p. 173-179, 2004.

LARANJEIRA, H. C. A. **Otimização do Processo de Desidratação Osmótica de Abacaxi (*Ananás comosus*(L.) Merrill) para aplicação à Tecnologia de Métodos Combinados**. Campinas, 1997. 100p. Tese (mestre em Engenharia de Alimentos)- Universidade Estadual de Campinas.

- LENART, A. Osmo-Convective Drying of fruits and Vegetables: Technology and Application. **Drying Technology**, London, v.14, n.2, p.391-413, 1996
- LENART, A., PIOTROWSKI, D. Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. In: KUDRA, T.; MUJUMDAR, A.S. **Drying Technology**, London, n.5, vol.19, p. 849-877, 2001.
- LERICI , C. R. PINNAVAIA, M.; DALLA ROSA, M. e BARTOLUCCI, L. Osmotic Dehydration of Fruits: Influence of Osmotic Agents on Drying Behaviour and Products Quality. **Journal of Food Science**, London, v.50, p. 1217-1219. 1985
- LIMA, A. da S.; FIGUEIREDO, R. N. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R. e SOUZA, P. H. M. de. Estudo da Estabilidade de Melões Desidratados Obtidos por Desidratação Osmótica Seguida de Secagem Convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n. 1, v. 26, p. 107-109, 2004.
- MALDONADO, S.; SANTAPAOLA, J. E., SINGH, J., TORREZ, M.; GARAY, A. Cinética de la transferencia de massa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n° 28, v. 1, p. 251-256, 2008.
- MANICA, I. **Frutas nativas, silvestres e exóticas. 2: Técnica de produção e mercado de feijão, figo-da-índia, fruta-pão, jaca, lichia, mangaba.**, Poro Alegre: Cinco Continentes, 2002. p.141-245.
- MAROUSIS, S. N.; HASSABALLAH, A. A.; SARAVACOS, G. D. Effects of Sugars on the Water Diffusivity in Hydrated Granular Starches. **Journal of Food Science**, Oxford, n. 6, v. 54, p.1496-1500, 1989.
- MAURO, M.A.; TAVARES, D.Q.; MENEGALLI, F.C. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**. Oxford, v. 56, p 1-15, 2002.
- 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**. London, n° 41, p. 1183–1188, 2008.

MEDINA, E. M. D.; RODRÍGUEZ, E. M. R.; ROMERO, C. D. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus-indica* fruits. **Food Chemistry**, London, nº 103, p.38-45, 2007.

MEDEIROS, C.D., CAVALCANTE, J. de A., ALSINA, O.L.S. de. Estudo da desidratação osmótica da fruta da palma (figo da índia). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.153-162, 2006

MENA-PEIRÓ, R.; CAMACHO, M.M; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, p. 842-849, 2007.

MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic Dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, Oxford, nº 49, p. 87-96, 2001

MORENO-CASTILLO, E. J.; GONZALEZ-GARCÍA, R. GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Water Diffusivity and Color of Cactus pear fruits (*Opuntia ficus-indica*) Subjected to Osmotic Dehydration. **International Journal of Food Properties**, London, nº 8, p. 323–336, 2005.

MOTA, R.V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssigo submetidas à desidratação osmótica. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº.4, v. 25, p.789-79, , 2005

MUÑOZ DE CHÁVEZ, M., CHÁVEZ, A., VALLES, V. Y ROLDÁN, J. A. The nopal: a plant of manifold qualities. **World Ver. Nutr. Diet.**, Basel nº77, p. 109-134, 1995

NOBEL, P.S. 2001. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. FAO/ Sebrae, 2002. pp.36-48.

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**, London, nº 8, v.7, p. 353-359, 2007.

PANADES,G., CASTRO, D. CHIRALT, A.; FITO, P. NUÑEZ, M., JIMENEZ, R. Mass Transfer Mechanisms Occurring in Osmotic Dehydration of Guava. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n°87, p. 386-390, 2009.

PANI,P.; LEVA, A. A.; RIVA,M.; MAESTRELLI, A.; TORREGGIANI, D. Influence of na Osmotic Pre-tratament on Structure-property Relationships of air-dehydrated Tomate slices. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n°86, p.105-112, 2008.

PIMIENTA BARRIOS, E. Y A. MUÑOZ-URÍAS. Domesticación de nopales tuneros (Opuntia spp.) y descripcion de las principales variedades cultivadas 61-67p. In: Barbera, G.,Inglese, P y Pimienta Barrios, E.. **Agroecología, cultivo y usos del nopal**. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma. 1999.

POINTING, J.D. Osmotic Dehydration of Fruits – Recent Modifications and Applications. **Process Biochemistry**, Watford, n.12, v.8, p. 18-20, 1973

QUEIROZ, V.A.V.; BERBERT, P.A. BERBERT-MOLINA, M.A.; GRAVINA, G.A.; QUEIROZ, L.R.; Deliza, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.10, v.42, p.1479-1486, 2007.

RAMALLO, L.A.; MASCHERONI, R.H. Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Florianópolis, v.48, n.5, 2005.

RAOULT-WACK, A L. Recente advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science e Technology**, Cambridge, v.5, n.8, p. 225-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plants materials. **Journal of Food Science**, London, v.65, p. 1016-1021,2002

RODRIGUES, R. C. **Aproveitamento de xarope residual da desidratação osmótica de abacaxi para o cultivo de *bacillus thuringiensis var. israelensis***. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO (DISSERTAÇÃO DE MESTRADO)CAMPOS DOS GOYTACAZES , FEVEREIRO – 2009.



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

RODRÍGUEZ, S., ORPHEE, C., MACÍAS, S., GENEROSO, S. Y GOMES GARCÍA, L. Tuna:Propiedades físico-químicas de dos variedades. **Alimentacion Latinoamericana**. Caracas, n°210, p.34-37. 1996.

RUIZ-LÓPEZ, L. L.; CASTILHO-ZAMUDIO, R.L.; SALGADO-CERVANTES, M. A.; RODRIGUES-JIMENES, G. C.;GARCÍA-ALVARADO, M. A. Mass Transfer Modeling During Osmotic Dehydration of Hexahedral Pineapple Slices in Limited Volume Solutions. **Food and Bioprocess Technology** , Veracruz, n° 1, p.10-17, 2008.

SÁENZ, C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. p. 211-222. In. Esparza, G, Valdez, R. y MÉNDEZ, S. eds. El Nopal, **Tópicos de actualidad**. Universidad Autónoma de Chapingo, México

SAENZ, C. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. **Utilização Agroindustrial del Nopal**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2006. 182p.

SÁENZ, C. Processing technologies: an alternative for cactus pear (Opuntia spp.) fruits and cladodes. **Journal of Arid Environments**, Londres, v. 46, p. 209-225, 2000.

SÁENZ, C. Y SEPÚLVEDA, E. Physical, chemical and sensory characteristics of juices from pomegranate and purple cactus pear fruit. 91-100. In **Annals of the 22nd IFU Symposium**, París. 1999.

SALVATORI, D.;ANDRÉS, A.;CHIRALT,A. & FITO, P. The Response of Some Properties of Fruits to Vacuum Impregnation. **Journal of Food Process Engineering**, London, n°1, v. 21, p. 59-73, 1998.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C. Características químicas y físicas de pulpa de tuna (Opuntia ficus-indica). **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valência, v. 30, n. 4, p. 551-555, 1990.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N.M.; KIMURA, M.; MAURO, M.A. Influência de pré-influência de pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, . Campinas, no.3, p.536-545, vol.25. 2005.

SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A.K. Study of mass transfer kinetics and effectivediffusivity during osmotic dehydration on carrot cubes. **Journal of Food Engeering**, Oxford, v. 79, p. 471- 480,2007

SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A.; SOUZA FILHO, M.S.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUZA, A.C.R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Lavras, n.3, v.25, p.414-416, 2003a.

SOUZA NETO, M. A. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUZA FILHO, M.de S.M. de; LIMA, A.da S. Cinética de desidratação osmótica de manga. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, nº 10, v. 2; p. 37-44, 2004

SOUZA, A. C. M. de et al . Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (Tacinga inamoena, Cactaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n. 2, v. 29, 501-509, 2007 .

SOUZA, P.H.M.; MAIA, G. A.; FILHO, M. S. M. S.; FIGUEIREDO, R. W; NASSU, R. T.; NETO, M. A. S. Influência da concentração e da proporção fruto: xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol.23, p.126-130, 2003a

STINTZING, F., SCHIEBER, A. Y CARLE, R. Amino acid composition and betaxantin formation in fruits from opuntia ficus-indica. **Planta Med**.London, nº 65, p.632-635. 1999.

STOJANOVIC, J. e SILVA,JJ. L. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound anda dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blubberies. **Food Chemistry**, London, nº101, p. 898-906, 2007

TACO- Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA-UNICAMP.-2ª ED., CAMPINAS,SP.2006.113p. Disponível na URL: [http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_versao2.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf) acesso: 20/04/2009

- TALENS, P.; ESCRIBE, I.; MARTINEZ – NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. **Food Research International**, London, v. 36., p 635-642, 2003
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, p. 253-259, 2004.
- 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 Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n° 26, v.3, p. 715-723, jul.-set. 2006.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, Monticello, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.
- VALDEZ-FRAGOSO, A.; MUJICA-PAZ H.; GIROUX F.; WELTI-CHANES, J. Pilot plant for osmotic dehydration of fruits: Design and evaluation. **Journal of Food Processing and Engineering**, Oxford, n°25, p.189-199. 2002b.
- VALDEZ-FRAGOSO, A.; SÁENZ-HERNANDEZ, C.M.; WELTI-CHANES, J.; MÚJICA-PAZ, H. Cherry pepper pickling: Mass transport and Firmness Parameters and Stability indicators. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 95, p. 648–655, 2009.
- VARZAKAS, T.H.; LEACH, G.C.; ISRAILIDES, C.J.; ARAPOGLOU, D. Theoretical and experimental approaches towards the determination of Solute effective Diffusivities in Foods. **Enzymes and Microbial Technology**, Cambridge, v.37, p. 29-41, 2005.
- VIAL, C.; GUILBERT, S. CUQ, J. Osmotic dehydration of Kiwi fruits: Influence of process variables on the color and acid content. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 11, n. 1, p.63-84, 1991.
- YAO, Z.; LE MAGUER, M. Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration process. Part I: Conceptual and Mathematical Models. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.29, p.349-360, 1996
- ZENEBON, O; PASCUET, S. N.; TIGLEA, P. Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005. p. 1020.

## **5. Resultados e discussão**

**Estudo da ação do agente osmótico na Desidratação  
osmótica de figo da índia (*Opuntia ficus indica*) utilizando  
Metodologia de Superfície de resposta**

## **RESUMO**

O figo-da-índia é o fruto da palma forrageira que vem sendo subaproveitado no nordeste brasileiro, podendo ser uma excelente fonte alimentar e de renda para esta região. Para minimizar as perdas pós-colheitas, foi realizada a desidratação osmótica (DO) com soluções binárias (sacarose+água e glicose+ água) e ternárias (sacarose+ NaCl+água) através de um planejamento fatorial  $2^3$ , com variáveis independentes: temperatura (30°C a 50°C), tempo de imersão (90min. a 240 min.) e concentração (40° Brix a 60° Brix). Esta última para solução ternária foi com concentração fixa de 3% de sal. As variáveis dependentes foram perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e o índice de eficiência da desidratação (IED). Tomando como parâmetro o IED, a solução osmótica de glicose foi a mais eficiente, tendo como melhor ensaio a 40°C, 165 mim. e 40°Brix com IED de 108,47.

**Palavras-chaves:** conservação, semi-árido, glicose, sacarose, cloreto de sódio.

## **ABSTRACT**



The prickly pear is the fruit of the cactus that has been underused in northeastern Brazil, may be an excellent source of food and income for this region. To minimize post harvest losses, we performed osmotic dehydration (OD) with binary solutions (sucrose + water) and ternary (sucrose + water + NaCl) over a 23 factorial design with independent variables: temperature (30 ° C to 50 ° C) immersion time (90min. to 240 min.) and concentration (40 ° Brix to 60 Brix). The latter was for ternary solution with fixed concentration of 3% salt. The dependent variables were the moisture loss (PU), solid gain (SG) and the efficiency index of dehydration (FDI). Taking as parameter the IED, the best test for ternary solution was 30 ° C, 165 min. and 50 ° Brix and binary solution, 46 ° C, 210 min. and 56 ° Brix.

**Words-key:** conservation, semi-arid, glucose, sucrose, sodium chloride.

## 1. INTRODUÇÃO

O figo da Índia (*Opuntia ficus indica*) é fruto de uma cactácea típica da América Central, com boa adaptação ao clima semi-árido da Caatinga brasileira. Seu consumo é bem difundido como fruta fresca, doces e ingrediente em pratos típicos na Europa e América do Norte, enquanto que no Brasil é utilizada *in natura* para alimentação de animais ou como fonte complementar de alimentação (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2002; ALVES et al., 2008).

Possui forma ovóide, com polpa espessa, representando cerca de 40% do peso do fruto, com sementes dispersas. Tem alto valor nutricional, sendo rico em ácido ascórbico e minerais, como fósforo e potássio; além de baixo valor calórico. Por apresentar elevado teor de umidade é altamente perecível com grandes perdas pós-colheita. Para reduzir estas perdas uma das medidas seria a utilização de métodos adequados de processamento de alimentos, que conservem o referido fruto por longos períodos, mantendo suas características sensoriais e nutricionais (HANN, 2009; CHENLO et al., 2009; AYALA-APONTE; SERNAA-COCK ; GIRALDO-CUARTAS, 2009).

A operação de secagem é um dos métodos mais antigos de preservação de alimentos, mas apresenta várias desvantagens como alto consumo de energia e temperaturas elevadas. Um processo frequentemente usado como pré-tratamento é a desidratação osmótica (DO), seguida pela desidratação com ar forçado, que pode reduzir o custo de processamento e melhorar a qualidade sensorial do produto final (ANDRADE et al., 2007).

No processo osmótico de desidratação, há a retirada de água do alimento através da imersão deste em soluções hipertônicas, gerando fluxos simultâneos de transferência de massa: a saída de água do produto para a solução hipertônica e a saída de soluto da solução para o produto (fluxos principais), além da saída de alguns solutos hidrossolúveis do produto para solução (fluxo secundário). A partir desta transferência é possível reduzir a água livre do alimento por remoção de água,

como também ao introduzir parte agente conservante ou qualquer soluto de interesse nutricional que seja capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial e redução da atividade de água (BUGGENHOUT et al., 2008, SOUZA NETO et al., 2004).

Muitos autores têm estudado diferentes aspectos da desidratação osmótica como solutos a serem empregados, influência das variáveis do processo de secagem sobre o fruto, oportunidade de combinar a osmose com outras técnicas de secagem, bem como a qualidade dos produtos finais (BORIN et al., 2008; AZOUBEL et al., 2009; DEVIC et al., 2010 ).

Para a determinação da eficiência do processo, é descrito na Literatura que a relação entre a perda de umidade e ganho de sólidos seria um bom parâmetro, ou seja, os maiores valores representariam as melhores condições do processo, o qual teria elevada perda de umidade e baixo ganho de sólidos (RAVINDRA E CHATTOPADHYAY, 2000; AYALA-APONTE, SERNAA-COCK e GIRALDO-CUARTAS, 2009).

Para analisar os efeitos das variáveis independentes do processo nas respostas pode-se utilizar a Metodologia de Superfície de resposta (MSR). Esta metodologia baseia-se na variação simultânea de vários fatores (variáveis independentes), previamente selecionados por sua influência nas propriedades do processo (variáveis dependentes ou respostas).

A principal vantagem do MSR é o reduzido número de ensaios necessários para obtenção de informações suficientes para resultados estatisticamente válidos, já que permite ao pesquisador a correlação entre as variáveis independentes e suas respostas (EREN; KAYMAK-ERTEKIN, 2007; GRIZOTTO et al., 2005).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tempo, temperatura e concentração da solução osmótica no processamento de frutos da Índia, utilizando desidratação osmótica com três tipos de solução osmótica: sacarose, sacarose com sal e glicose e avaliar o referido processo pela MSR.

## Material e Métodos

### 2.1 Tratamento e planejamento fatorial

Foram adquiridos figos da Índia, da região de Caruaru/PE (sítio Olho D'água da Cana), no estágio de maturação em que são comercializados, ou seja, com 60% ou mais da casca na cor amarela, com sólidos solúveis em torno de 12 °Brix, sem golpes ou injúrias e polpa firme. Foram lavados em água corrente, sanitizados com cloro em pastilhas (20 ppm) por 10 min e cortados em forma de cubos de aproximadamente 1cm de aresta. Soluções hipertônicas foram preparadas e colocadas em erlemayer juntamente com os frutos e em seguida transportados para o **shaker** (Marconi, MA-410). A relação amostra/solução foi de 1:10, evitando assim a diluição da solução. Após o tempo estabelecido de tratamento, sob agitação constante de 330 rpm, as amostras foram extraídas da solução osmótica, lavadas com água destilada para retirada do excesso da solução, secas em papel absorvente e pesadas em balança semi-analítica (Shimadzu, Série BL-3200H). Prosseguindo foram analisados os sólidos solúveis (°Brix), através de refratômetro de bancada Anytik **jena**, segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005) e umidade, determinada em estufa a 105°C, até peso constante (AOAC, 1998; Método 985.14). Em cada tratamento foi calculado a perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e índice de eficiência de desidratação (IED) pelas seguintes equações:

$$GS(\%) = 100 \times \frac{BTf \times BTiMi}{Mi}$$

#### Equação 1

Sendo:

GS(%) = ganho de sólidos, com base na massa inicial do material;  $BTi$  = teor inicial de sólidos solúveis do material (%);

$BTf$  = teor final de sólidos solúveis do material (%).  $Mi$  = massa inicial

- Perda de umidade\* – calculada em termos percentuais, com base na ou massa inicial do material, antes da desidratação.

$$PU(\%) = 100 \cdot \frac{U_i M_i - U_f M_f}{M_i}$$

**Equação 2**

sendo:

PU (%) = perda de umidade, com base na massa inicial do material  
 $U_i$  = teor inicial de umidade da matéria (%)

$U_f$  = teor final de umidade do material

(%)  $M_i$  = massa inicial

$$IED = \frac{PU}{GS}$$

**Equação 3**

\* Calculados segundo Laranjeira (1997)

### Delineamento experimental e análise estatística

Três planejamentos fatoriais iguais foram empregados utilizando-se respectivamente as seguintes soluções osmóticas: sacarose, sacarose mais sal (3%) e glicose. Os ensaios experimentais foram realizados de acordo com um planejamento fatorial  $2^3$  completo, com 8 pontos fatoriais (níveis  $\pm 1$ ), 3 pontos centrais (nível 0) e 6 pontos axiais ( $\pm \alpha$ ), totalizando 17 ensaios. Este planejamento teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura (T), concentração da solução osmótica (C) e tempo de imersão (t) (variáveis independentes) sobre as respostas, PU, GS e IED, ao final do processo. Os dados obtidos foram ajustados ao seguinte polinômio:

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

Em que  $\beta_n$  são os coeficientes de regressão,  $y$  é a resposta em questão (PU, GS e IED) e T, C e t são as variáveis independentes codificadas como mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Variáveis independentes codificadas.

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

A significância do modelo foi testada por análise de variância (ANOVA) e teste F ( $p < 0,05$ ). Foi utilizada a Metodologia de Superfície de resposta (MSR) para analisar os efeitos das variáveis independentes ( $x^1, x^2, x^3$ ) do processo nas respostas ( $Y_i$ ). As curvas das análises de superfície de resposta foram elaboradas conforme níveis estudados, utilizando-se equações de regressão múltipla. A resposta pode ser escrita como sendo função ( $f$ ) de  $x$ :  $Y_i = f(x^1, x^2, x^3)$ . Os dados foram analisados pelo software Statistica 7.0 (Statsoft, 2000).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela abaixo estão apresentados os resultados da PU, GS e IED obtidos durante a desidratação osmótica do figo da índia com soluções de sacarose, sacarose com sal e glicose, de acordo com o planejamento experimental.

**Tabela 2.** Valores de ganho de sólidos-GS, perda de umidade-PU e Índice de Eficiência da Desidratação-IED obtidos durante a desidratação osmótica do figo da índia utilizando soluções de sacarose, sacarose mais sal e glicose.

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes								
	Temperatura (°C)	Tempo de imersão (min.)	Concentração (%)	Sacarose			Sacarose + cloreto de sódio			Glicose		
				GS(%)	PU(%)	IED	GS(%)	PU(%)	IED	GS(%)	PU(%)	IED
1	34	120	44	2,30	<b>57,33</b>	24,93	<b>0,88</b>	40,45	<b>45,96</b>	<b>0,87</b>	<b>77,98</b>	<b>89,63</b>
2	46	120	44	2,38	34,5	14,49	<b>0,85</b>	38,78	<b>45,62</b>	<b>2,40</b>	80,10	<b>33,37</b>
3	34	120	56	4,63	45,9	9,91	9,19	41,92	4,56	2,06	76,80	37,28
4	46	120	56	3,59	<b>52,0</b>	14,48	2,15	38,68	17,99	1,81	<b>81,00</b>	44,75
5	34	210	44	6,91	<b>60,38</b>	8,74	4,52	42,21	9,34	3,01	74,00	24,58
6	46	210	44	<b>1,41</b>	43,83	<b>31,08</b>	19,90	<b>45,98</b>	2,31	4,48	70,80	15,8
7	34	210	56	3,10	41,24	13,3	1,20	42,37	35,31	3,05	74,20	24,33
8	46	210	56	<b>1,20</b>	51,35	<b>42,79</b>	7,50	<b>44,15</b>	5,89	2,95	73,50	25,03
9	40	165	50	10,91	40,32	3,69	6,30	39,95	6,34	2,30	70,85	30,80
10	40	165	50	9,91	40,77	4,11	6,25	40,15	6,42	2,36	70,80	30,00
11	40	165	50	10,41	41,2	3,96	6,20	39,91	6,44	2,40	70,83	29,51
12	30	165	50	3,94	50,92	12,92	<b>0,42</b>	<b>40,15</b>	<b>95,59</b>	<b>2,10</b>	76,94	36,64
13	50	165	50	<b>1,15</b>	41,56	<b>36,14</b>	7,30	37,72	5,17	3,25	<b>79,85</b>	24,57
14	40	165	40	1,90	48,43	25,49	8,70	40,94	4,7	<b>0,70</b>	75,93	<b>108,47</b>
15	40	165	60	2,48	46,37	18,7	1,85	40,83	22,07	1,20	74,00	61,67
16	40	90	50	3,47	47,53	13,7	2,50	42,80	17,12	3,80	76,90	20,24
17	40	240	50	3,94	51,17	12,99	13,85	<b>50,50</b>	3,65	5,50	70,90	12,89

### ***Perda de Umidade***

Na tabela 2 ao comparar a perda de umidade entre as três soluções osmóticas constatamos que a sacarose e glicose obtiveram os maiores valores na maioria dos ensaios. Resultados inversos foram obtidos por Alves et al. (2005), ao desidratarem acerola em soluções binária (sacarose) e ternária (sacarose + cloreto de sódio), provavelmente, devido à alta percentagem de sal (10%) que foi empregado. Conforme Eren e Kaymak-Ertekin (2008), o cloreto de sódio aumenta a pressão osmótica de uma solução hipertônica.

Ainda na tabela 2, ao comparar a sacarose com glicose, observamos que a perda de umidade foi maior em todos os ensaios na glicose. Segundo Lenart e Flick (1984), a nível celular, a sacarose pode passar através da membrana celular, mas não se difundir pela membrana citoplasmática. Assim, as moléculas de sacarose se acumulam na interface do citoplasma, criando uma barreira para a transferência de água. Além disso, a glicose, por seu menor PM (peso molecular) exerce maior força motriz (pressão osmótica), aumentando a saída de água (FALADE; ADELAKIN, 2007). Resultados similares foram obtidos por Bchir et al. (2009) ao desidratarem sementes de romã com soluções de sacarose e glicose e contrários aos obtidos por Antarés (2009) desidratando maçã com soluções de glicose, sacarose e trealose.

Na Figura 1a verificamos que a interação entre a temperatura e concentração da solução osmótica teve maior efeito para solução de sacarose, ratificando a Figura 2 a , ou seja, quanto maior temperatura e concentração maior perda de umidade ou vice versa. Comportamento similar foi obtido durante a DO de figo da Índia com sacarose, realizado por Moreno-Castillo et al. (2005) ao desidratarem figo da Índia, observaram que o aumento da concentração e temperatura até 60° Brix e 55°C respectivamente, incrementou três vezes a saída de água. Aumentando a temperatura e concentração há favorecimento da saída de água do alimento, bem como a manutenção da viscosidade da solução, mantendo a concentração em torno do fruto constante, favorecendo a eficiência do processo (BARAT; CHIRALT; FITO, 2001; MORENO-CASTILLO et al., 2005; DHINGRA et al., 2008).

Com relação à solução de sacarose e sal verifica-se (Figura 1b) que o tempo de imersão teve maior influência e positiva, constatamos na Figura 2b que quanto maior o tempo maior a perda de umidade. De acordo com Dhingra et al. (2008) o tempo de processamento incrementa a saída de água por um período médio para cada tecido vegetal. Diferentes tempos foram obtidos para manga desidratada osmoticamente, de 1 hora até 5 horas (SOUZA NETO et al., 2004), melão sob DO em 3h (LIMA et al., 2004) e para DO de cenouras, 79 min a 180 min (SHING et al., 2007).

Na solução de glicose vale salientar que o tempo também foi a variável que teve maior influência sobre a perda de umidade e com sinal negativo (Figura 1c), ou seja, quanto menor o tempo de imersão maior a perda de umidade (Figura 2c), vindo em seguida a temperatura (termo quadrático), com sinal positivo, o que explica a concavidade do gráfico para cima.

Na tabela 3 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicado aos dados experimentais da PU nas soluções de sacarose, sacarose com sal e glicose. Para a sacarose o modelo ajustado para o parâmetro PU foi considerado preditivo por apresentar regressão significativa ( $p < 0,05$ ) e falta de ajuste não significativa ( $p > 0,05$ ), em contraposição à solução de sacarose com sal e glicose o qual o modelo ajustado para a PU apresentou a falta de ajuste significativa ( $p < 0,05$ ), mas a regressão significativa ( $p > 0,05$ ), o que podemos considerar o modelo para a PU na solução de sacarose com sal preditivo, pois com glicose a falta de ajuste foi altamente significativa ( $p < 0,05$ ). Segundo Box & Wetz (2005), para que uma regressão seja considerada preditiva, o valor de F calculado deve ser no mínimo 4 a 5 vezes o valor de F tabelado. Quanto ao coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido para os modelos ajustados foram superiores a 0,97, o que significa dizer que a porcentagem de variação explicada pelos modelos foram maiores que 97%; desta forma os modelos ajustados foram estatisticamente significativos.

Comparando as três soluções (Tabela 2) podemos afirmar que a de glicose obteve a maior perda de umidade. A utilização de cloreto de sódio associado à sacarose não elevou os valores da PU comparados a ensaios com apenas sacarose, provavelmente devido à baixa concentração do sal utilizado nesta



pesquisa (3%). Resultados contrários foram alcançados por Sacchetti et al., (2001) ao desidratarem maçãs com 1% de cloreto de sódio. De acordo com Sacchetti et al. (2001) e Tonon et al. (2007) a presença de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  alteram a permeabilidade da membrana plasmática, por ser esta permeável a estes, aumentando a saída de água do alimento para solução.

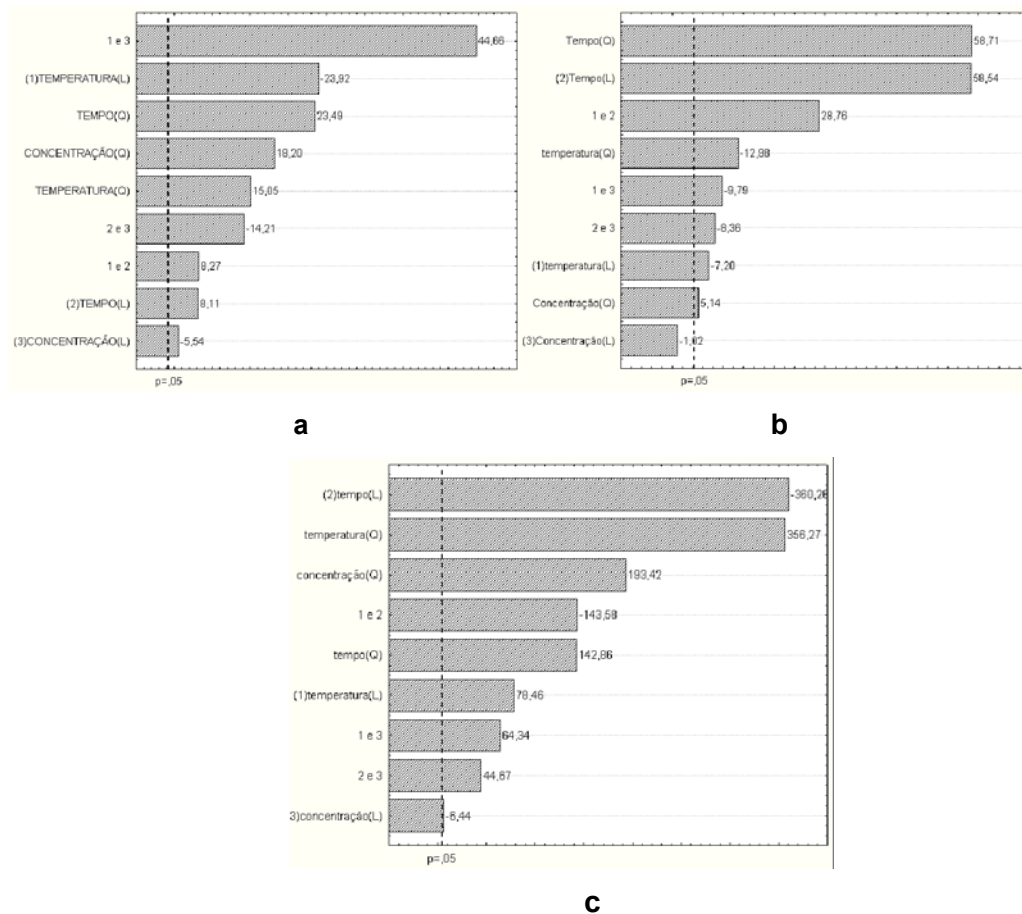
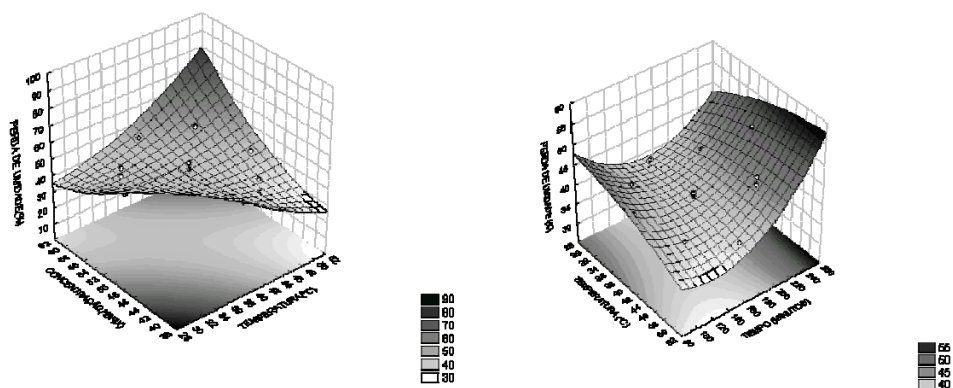
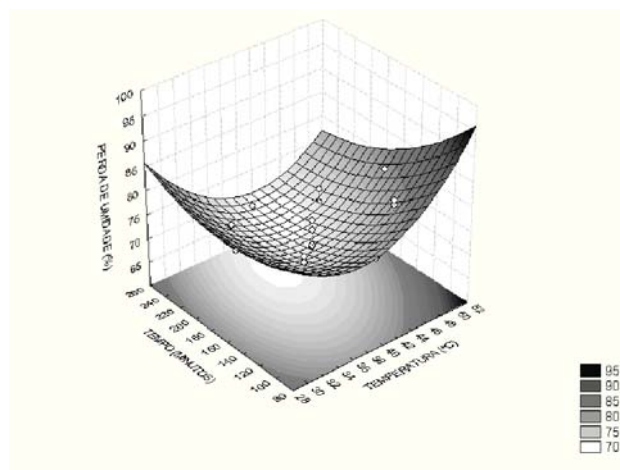


Figura 1. Diagrama de Pareto para perda de umidade; L: linear; Q: Quadrática; a: solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose.



**a**

**b**



**c**

Figura 2. Superfície de resposta para perda de umidade na desidratação osmótica do figo da índia obtida por regressão não linear; a: solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose

**Tabela 3:** Análise de Variância do modelo ajustado para perda de umidade nas soluções osmóticas de sacarose, sacarose e sal e glicose.

Sacarose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	9	782,99	87,00	<b>488,76</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	1,249	0,178		
Falta de ajuste	5	0,862	0,72	<b>0,89</b>	<b>19,3</b>
Erro puro	2	0,387	0,193		
Total	16				R <sub>2</sub> = 0,998
Sacarose com Cloreto de Sódio					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	8	134,14	16,77	<b>36,30</b>	<b>3,44</b>
Resíduo	8	3,695	0,462		
Falta de ajuste	6	3,662	0,610	<b>38,125</b>	<b>19,3</b>
Erro puro	2	0,033	0,016		
Total	16				R <sub>2</sub> = 0,976
Glicose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	9	220,07	24,45	<b>21,54</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	7,947	1,135		
Falta de ajuste	5	7,946	1,589	<b>2522,22</b>	<b>19,3</b>
Erro puro	2	0,0013	0,00063		
Total	16				R <sub>2</sub> = 0,960

GL: grau de liberdade      SQ: soma quadrática      MQ: média quadrática

### **Ganho de sólidos**

Na Tabela 2 observamos que os menores ganhos de sólidos foram alcançados com solução osmótica de glicose.

As Figuras 3a e 4a demonstram a influência significativa e negativa da temperatura e concentração (ambos os termos quadráticos) da solução sob o GS durante a DO de figo da Índia com sacarose, indicando a concavidade da curva voltada para baixo, ou seja, os maiores valores de GS foram alcançados entre 34°C a 43°C, salientando que a concentração não teve influência linear, diferentemente da temperatura. Na Figura 4a percebemos que temperaturas abaixo de 34°C e acima de 43°C diminuem o ganho de sólidos, mas lembrando que o emprego de alta temperatura provoca danos na membrana celular do tecido vegetal, que podem

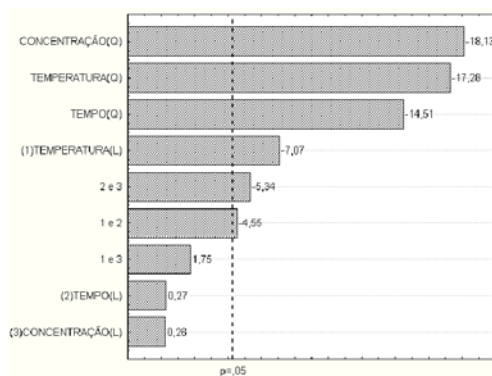
comprometer a seletividade da mesma, implicando em maior impregnação de soluto (ADE-OMOWAYE et al., 2002; MORENO –CASTILLO et al., 2005; SOUZA et al., 2009). O inverso também favorece o GS por induzir a maior viscosidade da solução, bem como a diminuição da concentração, ao aumentar o tempo de imersão, implicando em maior impregnação de soluto sob o tecido (BARAT; FITO; CHIRALT, 2001; MOREIRA et al., 2003).

Nas Figuras 3b e 4b constata-se que na solução ternária a interação entre a temperatura e tempo influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) o ganho de sólidos, maiores estas variáveis, maior o GS. As alterações na permeabilidade provocadas pela utilização de temperaturas mais elevadas, também garantem maior ganho de sólidos, pois a seletividade da membrana é comprometida. O acréscimo da temperatura também provoca menor viscosidade da solução garantindo menor resistência à difusividade do soluto (BARAT; CHIRALT; FITO, 2008). Como o objetivo é obter um produto próximo ao *in natura*, através da Figura 4b observa-se que quanto maior tempo e menor temperatura ou vice versa, menor ganho de sólidos. Resultados semelhantes foram encontrados por Eren; Kaymak – Etekin (2007) para batatas, Mayor et al., (2006) para melão e por Sacchetti et al., (2001) para maçã.

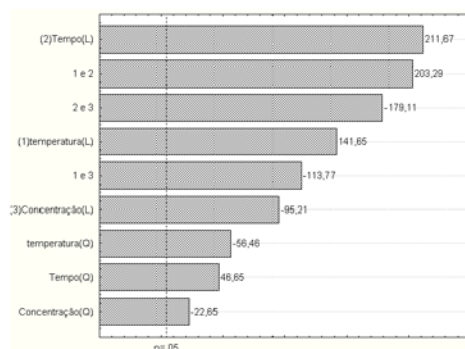
Na Figura 3c e 4c observamos que o tempo linear e quadrático tiveram influência sobre o ganho de sólidos, ou seja, quanto maior tempo de imersão maior este ganho de sólidos. Em relação a concentração, esta não influenciou linearmente, mas o termo quadrático teve influencia, o que explica a concavidade da Figura 4c voltada para cima. Nieto et al. (2004) obtiveram resultados similares ao desidratarem manga com glicose, provavelmente devido à formação de espaços intercelulares decorrentes da saída de água, que facilita a penetração do soluto de baixo peso molecular (BARAT, CHIRALT E FITO, 2001). Resultados opostos foram obtidos por Devic et al. (2010) ao desidratarem maçã com solução de glicose.

Na tabela 4 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicado aos dados experimentais do GS nas soluções de sacarose, sacarose com sal e glicose. Para a sacarose o modelo ajustado para o parâmetro GS foi considerado preditivo por apresentar regressão significativa ( $p < 0,05$ ) e falta de ajuste não

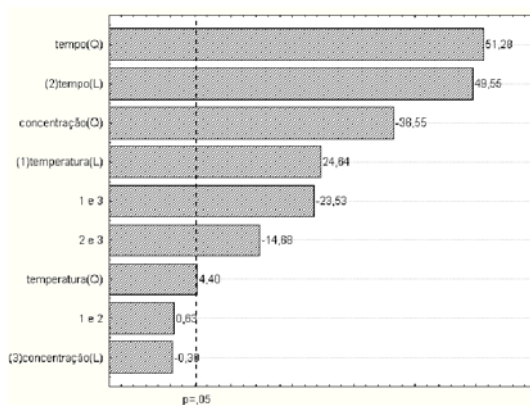
significativa ( $p > 0,05$ ), em contraposição à solução de sacarose com sal e glicose o qual o modelo ajustado para o GS apresentou a falta de ajuste significativa ( $p < 0,05$ ), mas a regressão significativa ( $p > 0,05$ ), o que podemos considerar o modelo do GS na solução de glicose preditivo, como explicado anteriormente, pois sacarose com sal a falta de ajuste foi altamente significativa.



a



b



c

Figura 3. Diagrama de Pareto para ganho de sólidos; L: linear; Q: Quadrática; a: solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose.

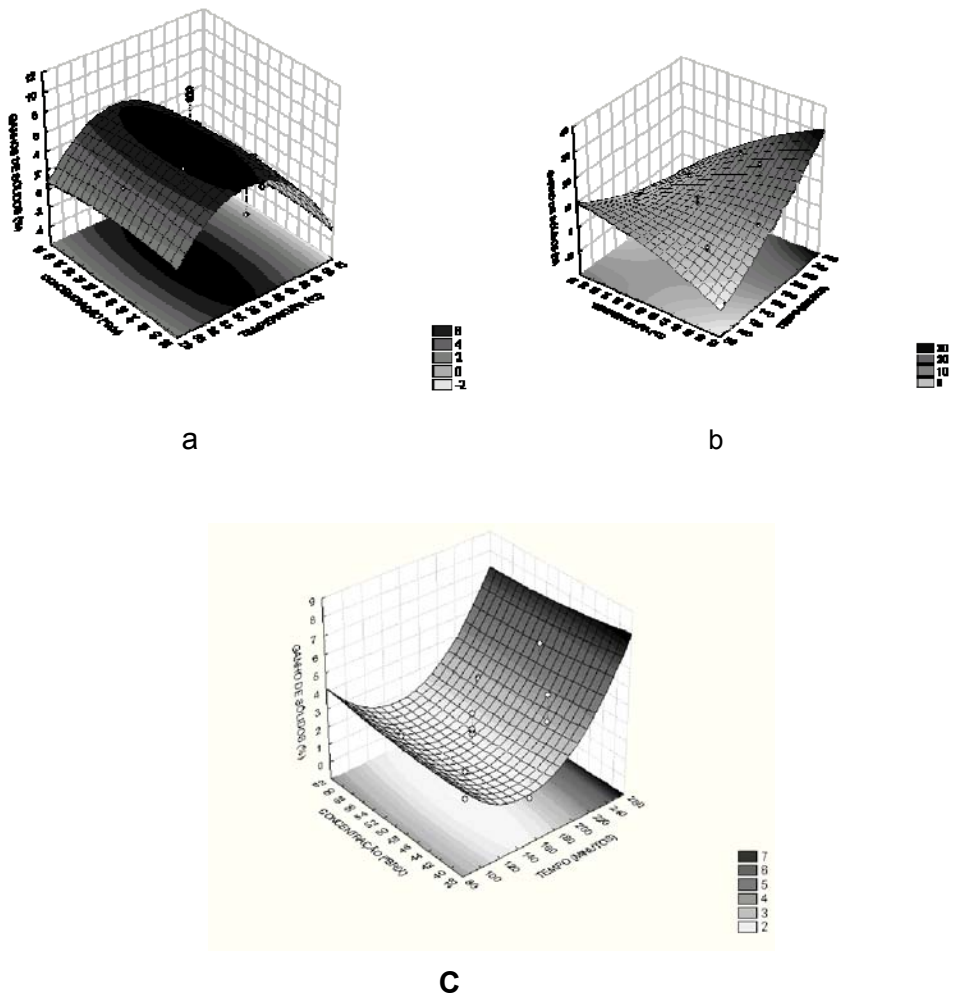


Figura 4. Superfície de resposta para ganho de sólidos na desidratação osmótica do figo da índia obtida por regressão não linear; a: solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose

**Tabela 4:** Análise de Variância do modelo ajustado para ganho de sólidos nas soluções osmóticas de sacarose, sacarose e sal e glicose.

Sacarose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	6	234,3	39,05	<b>51,86</b>	<b>3,22</b>
Resíduo	10	7,53	0,753		
Falta de ajuste	8	7,03	0,88	<b>3,52</b>	<b>19,4</b>
Erro puro	2	0,50	0,25		
Total	16				R <sup>2</sup> =0,960
Sacarose com Cloreto de Sódio					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	9	415,40	46,15	<b>36,63</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	8,845	1,26		
Falta de ajuste	5	8,84	1,77	708,0	19,3
Erro puro	2	0,005	0,0025		
Total	16				R <sup>2</sup> =0,979
Glicose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	7	<b>19,8</b>	<b>2,83</b>	<b>40,43</b>	<b>3,29</b>
Resíduo	9	<b>0,64</b>	<b>0,07</b>		
Falta de ajuste	7	0,635	0,091	36,4	19,4
Erro puro	2	0,005	0,0025		
Total	16				R <sup>2</sup> =0,974

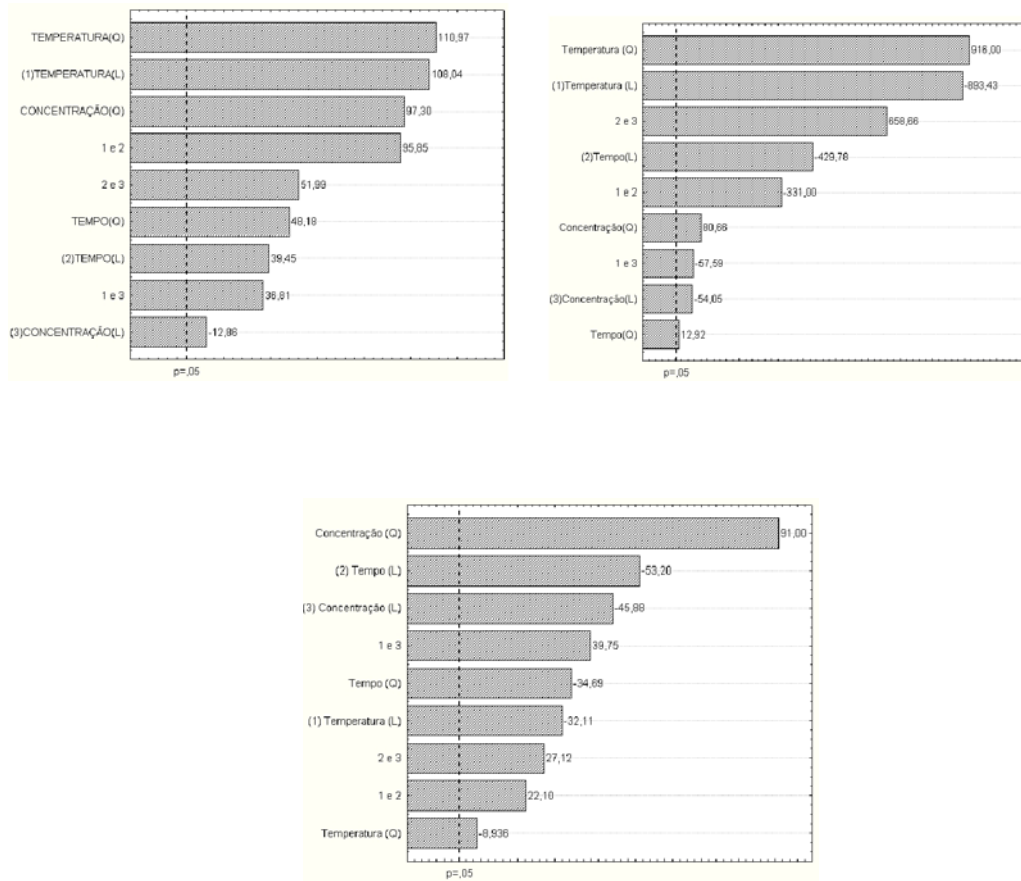
GL: grau de liberdade      SQ: soma quadrática      MQ: média quadrática

### ***Índice de Eficiência da Desidratação***

Os maiores IED foram obtidos na desidratação osmótica com solução de glicose (Tabela 2).

Como o objetivo desta pesquisa foi obter maiores valores de IED, ou seja, maximizar PU e minimizar GS, pode-se afirmar através da Figura 5a e 5b que o IED em ambas as soluções (sacarose e sacarose com sal) tiveram influência da temperatura. Na primeira solução osmótica quanto maior for esta variável maior o IED, salientando que de acordo com Andrade et al., (2003), Giraldo et al., (2003) e Tonon et al., (2006) a elevação da temperatura, acima do limiar do tecido vegetal, pode provocar danos impedindo a difusividade da água e comprometendo a eficiência do processo osmótico. Comportamento contrário foi obtido para a segunda solução, ratificando as Figura 6a e 6b.

De acordo com Ravindra e Chattopadhyay (2000), valores elevados para a relação PU/GS indicam que o processo de desidratação foi efetivo.



C

Figura 5. Diagrama de Pareto para o Índice de Eficiência da Desidratação; L: linear; Q: Quadrática; a:solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose.



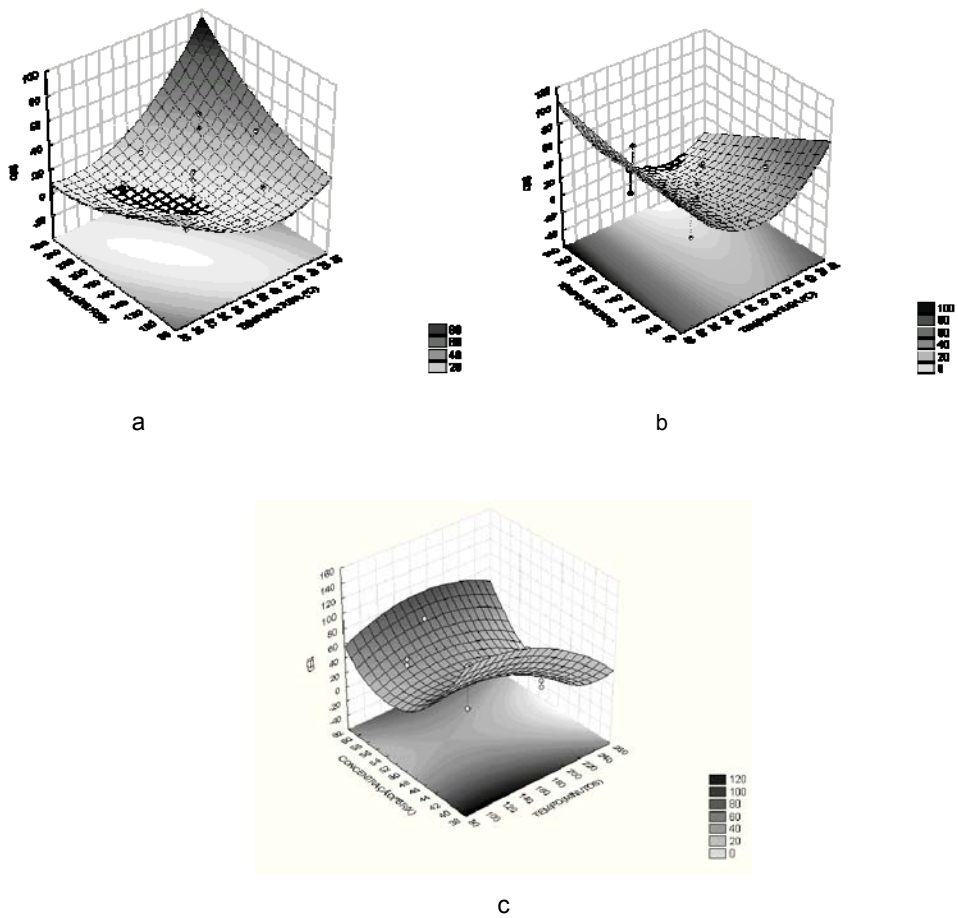


Figura 6. Superfície de resposta para o Índice de Eficiência da desidratação na desidratação osmótica do figo da índia obtida por regressão não linear; a: solução de sacarose; b: solução de sacarose com sal e c: glicose

**Tabela 5:** Análise de Variância do modelo ajustado para o Índice de Eficiência de desidratação nas soluções osmóticas de sacarose, sacarose e sal e glicose.

Sacarose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	9	2298,59	255,40	<b>19,36</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	92,341	13,19		
Falta de ajuste	5	92,25	18,45	<b>407,28</b>	<b>19,3</b>
Erro puro	2	0,091	0,0453		
Total	16				

Sacarose com Cloreto de Sódio					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	9	6659,23	739,91	<b>2,03</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	2552,67	364,67		
Falta de ajuste	5	2552,66	510,53	170176,66	19,3
Erro puro	2	0,006	0,003		
Total	16				

Glicose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	9	7774,57	863,84	<b>4,18</b>	<b>3,68</b>
Resíduo	7	1444,64	206,38		
Falta de ajuste	5	1443,79	288,76	681,04	19,3
Erro puro	2	0,85	0,424		
Total	16				

GL: grau de liberdade      SQ: soma quadrática      MQ: média quadrática

Verifica nas Figuras 5c e 6c que a concentração da solução e tempo de imersão influenciaram significativamente o IED para a solução de glicose, ou seja, quanto menores estes fatores, maiores os valores de IED. Observa-se, na Figura 6c, que os melhores resultados são obtidos nas menores concentrações (38 a 40 °Brix) e tempo (80 a 140 minutos). De acordo com Dingra et al. (2008) o tempo de processamento incrementa a saída de água por um período médio típico de cada tecido vegetal, como os diferentes tempos obtidos para manga (SOUZA NETO et al., 2004), melão (LIMA et al., 2004) e cenoura (SHING et al., 2007).

Os altos valores para IED observados podem ser explicados pela elevada pressão osmótica produzida pela solução de glicose, gerando um rápido fluxo de retirada de água, em um rápido período inicial, favorecendo a diminuição do tempo de processamento (curto tempo de imersão). Uma vez que a glicose é um dos açúcares naturais da fruta, ao ser usado como agente osmótico, alcança equilíbrio

mais rapidamente, e conseqüentemente um menor tempo de imersão, quando comparado a sacarose, já que a resistência a saída de água se dá mais rapidamente com a glicose (RODRIGUES; FERNANDES, 2007). Estes resultados coincidem com o descrito por Chenlo et al. (2006) para DO de castanhas com glicose.

Observa-se ainda que o melhor IED foi obtido com o experimento 14 (108,70%), cujas condições, segundo as realizadas durante o ensaio, melhor representa o gráfico, ou seja, concentração mediana, e menores tempo de imersão e temperatura utilizados. Estes resultados são contrários aos encontrados por Bchir et al. (2010), ao desidratarem sementes de romã com glicose, sacarose e mistura destes dois açúcares. A diferença entre os IED de sacarose e glicose pode ser explicada pela diferença de permeabilidade da membrana inerente a cada tecido vegetal, além das propriedades de difusão de soluto ( FALADE e ADELAKUN, 2007; ESCOBAR, 2007; CHIRALT e FITO, 2003; RASTOGI et al., 2002).

Na tabela 5 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicado aos dados experimentais do IED nas soluções de sacarose, sacarose com sal e glicose. Para a sacarose, sacarose com cloreto de sódio e glicose o modelo ajustado para o parâmetro IED não foi considerado preditivo por apresentar falta de ajuste significativa ( $p < 0,05$ ) Os modelos gerados serviram apenas para mostrarem a tendência de comportamento do IED diante das três variáveis estudadas (temperatura, tempo e concentração).

#### 4. CONCLUSÃO

Dentro das condições que foi realizada a presente pesquisa pode-se concluir que:

A perda de umidade foi maior na solução de glicose;

A perda de umidade teve maior influência da interação entre a temperatura e concentração para a solução de sacarose, enquanto que para a solução de sacarose com cloreto de sódio e glicose foi a variável tempo;

Os menores ganhos de sólidos foram alcançados com solução osmótica de glicose;

O tempo foi a variável que teve maior influencia sobre o ganho de sólidos com solução de glicose e sacarose com cloreto de sódio;

Os maiores índice de eficiência de desidratação foram obtidos com solução de glicose;

A temperatura foi a variável que teve maior influencia sobre o IED nas soluções de sacarose e sacarose com cloreto de sódio;

O IED com solução de glicose teve maior influencia da concentração e tempo;

A solução de glicose foi a mais efetiva para desidratação osmótica do figo da índia.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C **Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis**. 17 ed. Washington, 2000.

ADE-OMOWARE, B. I.O; RASTOGI, N. K. ANGERBACH, A.; KNORR, D. Osmotic Dehydration of Bell Peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 54, p.35-43, 2002.

ALAKALI, J. S.; ARIAHU, C.C; NKPA, N.N. Kinetics of Osmotic Dehydration of Mango. **Journal of Food Processing and Preservation**, Maryland, v.30, n.5, 597-607, 2006.

ALBQUERQUE, U. P. De; ANDRADE, L. de H. C. Uso de recursos vegetais da Caatinga: o caso no agreste do Estado de Pernambuco (nordeste do Brasil). **Interciencia**, Caracas, n° 007, v. 27, p.336-346, 2002.

ALVES, D. G.; BARBOSA Jr, J.L.; ANTONIO, G. C.A.; MURR, F.E.X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) **Journal of Food Engineering**, Oxford, n° 68, v 1, p. 99-103, 2005.

ALVES, M.A., SOUZA, A.C.M. de, GAMARRA-ROJAS, G., GUERRA, N.B. Fruto de palma (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller, **Cactaceae**): morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita. **Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha**, Ciudad Del Mexico, Vol 9, n°1, p.16-25.2008

ANDRADE, S.A.C.; BARROS NETO, B. de; SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B. Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n° 27, v.1, 39-43, 2007.

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

ANTARÉS, L.; CHIRALT, A. GORRADINI, M.G.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Effect of the Solute on the Development of Compositional Profiles in Osmotic Dehydrated Apple Slices. **LWT - Food Science and Technology**, London, nº 42, p.412–417, 2009.

AYALA-APONTE, A.A.; SERNA-COCK, L. GIRALDO-CUARTAS, C. J. Efecto de la Agitación sobre la Deshidratación Osmótica de Pithaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus* s.) empleando soluciones de Sacarosa. **Interciencia**, Caracas, nº7, v.34, p. 492-496, 2009

AZOUBE, P. M.; EL-AOUAR, A. A. TONON, R. V.; KUROZAWA, L. E.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X; PARK, K. J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. **International Journal of Food Science and Technology**, nº44, 980–986, 2009.

BARAT, J. M.; FITO, P.; CHIRALT, A. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, p. 77-85, 2001

BCHIR, B.; BESBES, S.; ATTIA, H.; BLECKER, C. Osmotic Dehydration of Pomegranate seeds: mass transfer kinetics and Differential Scanning calorimetry Characterization. **International Journal of Food Science and Technology**, London, nº44, p.2208-2217, 2009.

BORIN, I, FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Efeito do Tratamento Osmótico com sacarose e Cloreto de sódio sobre a Secagem Convectiva de Abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº 28, v.1, 39-50, 2008

BOX, G. E. P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. University of Wisconsin Technical Report, n. 9, 1973.

BUGGNHOUT, S. V.; GRAUWET, T.; LOEY, A. V. HENDRICKX, M. Use of Pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. **European Food Res Technology**, London, nº226, p.1145-1154, 2008.

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 Tecnologia de Alimentos**, Campinas, no.3, v. 26, p.596-603, 2006.

CHENLO, F.; MOREIRA, R. FERNÁNDEZ-HERRERO,C.; VÁSQUEZ,G. Experimental results and Modeling of the Osmotic Dehydration kinetics of chestnut with glucose. **Journal of Foods Engineering**, Oxford, nº74,p.324-334, 2006.

DEVIC, E.; GUYOT,S.; DAUDIN, J.D.; BONAZZI, C. Effect of Temperature and Cultivar Polyphenol Retention and Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apples.**Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Paris, nº58, p.606–614, 2010.

DHINGRA, D.; SINGH, J., PATIL, R.T., UPPAL, D.S. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science Technology**, London, v.45, n.3, p.209–217, 2008.

EREN, I; KAYMAK-ERTEKING, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, Oxford, 79, 344–352, 2008.

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

FALADE, K. O.; ADELAKUN, T.A. Effect of pre-freezing and solutes on mass transfer during osmotic dehydration and colour of oven-dried African satr apple during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, London, nº42, p.394-402, 2007.

FALADE, K. O.; ADELAKUN, T.A. Effect of pre-freezing and solutes on mass transfer during osmotic dehydration and colour of oven-dried African satr apple during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, London, nº42, p.394-402, 2007.

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

GRIZOTTO, R.K., BRUNS, R. E., AGUIRRE, J. M. de, BATISTA, G. Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº25, v.1, p.158-164, 2005.

HANN, F. CACTUS PEAR CAUTERIZR INCREASES SHELF LIFE WITHOUT COOLING PROCESSES. **Computers and electronics in agriculture**, London, nº65, p.1-6, 2009

LARANJEIRA,H. C. A. **Otimização do Processo de Desidratação Osmótica de Abacaxi (Ananás comosus(L.) Merrill)para aplicação à Tecnologia de Métodos Combinados**. Campinas,1997.100p. Tese (mestre em Engenharia de Alimentos)- Universidade Estadual de Campinas

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. **Journal of Food Technology**, London,Nº19, 65-89, 1984

LIMA, A. da S.; FIGUEIREDO, R. N. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R. e SOUZA, P. H. M. de. Estudo da Estabilidade de Melões Desidratados Obtidos por Desidratação Osmótica Seguida de Secagem Convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n. 1, v. 26, p. 107-109, 2004.

MAYOR, L., MOREIRA, R., CHENLO,F., SERENO, A.M. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, Oxford, 74, p. 253-262, 2006.

MOREIRA, R.; CHENLO, F. PEREREIRA, G. Viscosities of ternary aqueous solutions with glucose and sodium chloride employed in osmotic dehydration operation.**Journal of Food Engineering**,Oxford, nº 57, p.173-177, 2003.

MORENO-CASTILLO, E. J.; GONZALEZ-GARCÍA,R. GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Water Diffusivity and Color of



Cactus pear fruits (*Opuntia ficus-indica*) Subjected to Osmotic Dehydration. **International Journal of Food Properties**, London, n° 8, p. 323–336, 2005.

NIETO, A.B.; SALVATORI, D.M.; CASTRO, M.A., ALZAMORA, S.M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.61, p.269-278, 2004

RASTOGI, N. K.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plants materials. **Journal of Food Science**, London, v.65, p. 1016-1021,2002

RAVINDRA, M.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Optimization of osmotic preconcentration and fluidized bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. **Journal of food Engineering**, Oxford, 44, p.5-11, 2001.

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

SACCHETTI, G, GIANOTTI, A, DALLA ROSA, M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and produce acceptability on apple osmotic treatments. **Journal of food Engineering**, Oxford, n°44, p.5-11, 2000.

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

SOUZA NETO, M. A. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUZA FILHO, M.de S.M. de; LIMA, A.da S. Cinética de desidratção osmótica de manga. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, n° 10, v. 2; p. 37-44, 2004.

SOUZA, T. S. de, CHVES, M. A.; BONOMO, R. C. F; SOARES, R. D.; PINTO, E. G.; COTA, I. R. Desidratção Osmótica de frutículos de jaca (*Artocapus integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos. **Acta ScientiarumTechnology**, Maringá,n°2, v. 31, p. 225-230, 2009.

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 Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº26, v.3, p. 715-723, 2006.

## **Conclusões Gerais**

A desidratação osmótica de figo da Índia com os três agentes osmóticos estudados (sacarose, glicose e cloreto de sódio) foi eficaz por reduzir a umidade do fruto, e conseqüentemente aumentando sua vida útil, a possibilidade de comercialização e agregando valor econômico para o produto final. Além disso, a facilidade de processamento através da DO pode ser uma alternativa viável para os pequenos e médios produtores, mantendo estes no meio rural e aumentando sua fonte de renda. Porém, fazem-se necessários mais estudos sobre o comportamento cinético deste fruto diante da DO, a utilização de outros agentes osmóticos, como polióis, bem como estudos de aceitabilidade destes novos produtos.