



**ARIANA JUSTUS**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ONDAS DE  
ULTRASSOM NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA  
DE TOMATES (*Lycopersicon esculentum*) cv.  
Carmem**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**ARIANA JUSTUS**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ONDAS DE ULTRASSOM NA  
DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE TOMATES (*Lycopersicon  
esculentum*) cv. Carmem**

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

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

**LAVRAS - MG**

**2012**

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

Justus, Ariana.

Influência da aplicação de ondas de ultrassom na desidratação  
osmótica de tomates (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem /  
Ariana Justus. – Lavras : UFLA, 2012.

116 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Secagem. 2. Transferência de massa. 3. Difusividade efetiva. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.804642

**ARIANA JUSTUS**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ONDAS DE ULTRASSOM NA  
DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE TOMATES (*Lycopersicon  
esculentum*) cv. Carmem**

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

APROVADA em 18 de junho de 2012.

Dr. Jaime Vilela de Rezende UFLA

Dra. Eliana Janet Sanjinez Argandoña UFGD

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2012**

*Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão e ao meu esposo Guilherme, como agradecimento, amor e respeito.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Arleu e Cleosi, pela vida, carinho, apoio, paciência e amor incondicional.

Ao meu irmão, Cleon; a minha cunhada, Lucielly e aos meus sobrinhos, Marcello e Miguel, pelo amor e carinho de sempre.

Ao meu esposo, Guilherme, pelo amor, paciência, força, constante incentivo em vencer os obstáculos e dificuldades e, principalmente, por fazer parte da minha vida.

Ao demais familiares, avós, avôs, tios, tias, primos, primas, sogra, cunhados e demais parentes, pelo amor, carinho, força e orações.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal, pela estrutura concedida para o desenvolvimento deste trabalho e obtenção do título de mestre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo suporte financeiro.

Ao professor Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa, pela orientação, ensinamentos, compreensão, confiança, amizade e generosidade nos momentos necessários.

À banca, composta pelos professores Dr. Jaime Vilela de Resende e Dra. Eliana Janet Sanjinez Argandoña, pelas valiosas sugestões e correções, que contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos passados e por aqueles que me receberam com muito carinho e auxiliaram nos momentos de dificuldades.

A minha querida amiga Cristina (Tininha), pela grande amizade e carinho, e que, mesmo de longe, sempre me deu muita força.

Às amigas Katiany, Gislaine e Arianne, pela amizade, auxílio e por todo o carinho.

A Arianne e ao Bruno, pela cooperação e auxílio na execução dos experimentos.

Às amigas Letícia, Kamilla, Poliana, Thaís e Patrícia, pela amizade e por estarem sempre prontas a auxiliar.

Aos funcionários do DCA, Creuza, Tina, Flávia e Sr. Miguel (*in memoriam*), pelo carinho, disponibilidade em auxiliar e ensinar.

E a todos os que contribuíram, de forma direta ou indireta, para que este trabalho fosse realizado.

*Muito Obrigada!*

## RESUMO

A desidratação osmótica (DO) tem sido frequentemente utilizada no processamento de frutas e vegetais como pré-tratamento de operações, como a secagem, por conseguir reduzir parcialmente o teor de água do fruto, manter e, até mesmo, reter os constituintes nutricionais e sensoriais dos frutos frescos. Atualmente, o uso de ultrassom vem sendo associado à DO por conseguir intensificar a transferência de massa entre o alimento e o meio de imersão, reduzindo, assim, o tempo de processamento. Este estudo foi realizado, primeiramente, com o objetivo de avaliar a desidratação osmótica de fatias de tomate assistida por ultrassom (USDO) em diferentes meios líquidos com relação à perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP), atividade de água ( $a_w$ ) e parâmetros de cor, com uso de ultrassom em tempos de 10, 20, 30 e 40 minutos. Foram utilizados, como meios líquidos: água destilada e soluções de maltodextrina, sacarose e cloreto de sódio na concentração de 27,5%. Objetivando-se avaliar o efeito do uso do ultrassom, experimentos foram realizados com e sem aplicação das ondas ultrassônicas, no tempo de 40 minutos de processo. Maiores taxas de transferência de massa foram observadas quando se utilizou cloreto de sódio a 27,5% como agente osmótico, no tempo de 40 minutos de USDO. Entretanto, a maior razão perda de água por ganho de sólidos foi obtida em 20 minutos de USDO, em solução binária de sacarose e cloreto de sódio. O estudo comparativo de DO e USDO demonstrou que a aplicação de ultrassom favoreceu os parâmetros de transferência PA, GS e RP. Após o estudo da aplicação do ultrassom no início do processo osmótico, o objetivo, na segunda parte deste trabalho, foi avaliar a influência de diferentes soluções osmóticas (soluções binárias de sacarose, maltodextrina e cloreto de sódio nas concentrações de 27,5%, 27,5% e 10%, respectivamente, e soluções ternárias com a combinação de sacarose/cloreto de sódio (27,5%/10%) e maltodextrina/cloreto de sódio (27,5%/10%) sobre a cinética de PA, GS e RP (tempos de 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos), com e sem aplicação de ultrassom nos 20 minutos iniciais de USDO. Avaliou-se a  $a_w$  das soluções e dos tomates ao final de cada tratamento. Soluções ternárias e aplicação do ultrassom conduziram à maior PA e RP de fatias de tomates osmodesidratadas. Além disso, observou-se maior redução da  $a_w$  nessas condições. O GS foi mais reduzido em solução de maltodextrina/cloreto de sódio. No entanto, essa solução favoreceu o ganho de NaCl. Dois modelos matemáticos de difusão foram testados para a obtenção da difusividade, o modelo unidirecional de Fick e o modelo hidrodinâmico de Fito. A difusividade efetiva obtida pelo modelo hidrodinâmico foi a que melhor reproduziu os efeitos das variáveis sobre a cinética de transferência de massa, apresentando os melhores coeficientes de determinação e menor erro do que o modelo de difusão unidirecional. De modo



geral, a aplicação do ultrassom na desidratação osmótica apresentou efeito sobre as variáveis de transferência de massa estudadas. Entretanto, observou-se grande influência da composição da solução osmótica dentre as características avaliadas.

Palavras-chave: Tomate. Desidratação osmótica assistida por ultrassom. Transferência de massa. Difusividade efetiva. Secagem.

## ABSTRACT

Osmotic dehydration (DO) has been frequently used in the processing of fruits and vegetables as pretreatment for operations as drying. It can reduce partially the water content of the fruit, maintaining and even retaining the nutritional constituents and sensory fresh fruit. Currently, the use of ultrasonic waves associated with DO improves mass transfer between the food and the immersion media, thereby reducing processing time. This study was, firstly, intended to evaluate the ultrasound-assisted osmotic dehydration (USDO) of tomato slices in different liquid media in relation to water loss (WL), solid gain (SG), weight reduction (WR), activity water ( $a_w$ ) and color parameters, using ultrasound, in times of 10, 20, 30 and 40 minutes. Distilled water and solutions of maltodextrin, sucrose and sodium chloride at a concentration of 27.5% were used as liquid media. Experiments were performed with and without application of ultrasonic waves in the time of 40 minutes of the processes to evaluate the effect of ultrasound use. Higher rates of mass transfer were obtained when using sodium chloride 27.5% as the osmotic agent, time of 40 minutes USDO. However, a higher ratio water loss by gain solid was obtained in 20 minutes USDO in binary solution of sucrose and sodium chloride. The comparative study of DO and USDO demonstrated that the application of ultrasound favored the transfer parameters WL, SG and WR. After studying the application of ultrasound at the beginning of the osmotic process, the goal, in the second part of this work, was to evaluate the influence of different osmotic solutions (binary solutions of sucrose, maltodextrin and sodium chloride at concentrations of 27.5%, 27, 5% and 10% respectively, and ternary solutions with a combination of sucrose / sodium chloride (27.5% / 10%), maltodextrin / sodium chloride (27.5% / 10%) on the kinetics of WL, SG and WR (20, 30, 45, 60, 90, 120 and 180 minutes) with and without the application of ultrasound in the first 20 minutes of USDO. Evaluated the  $a_w$  of the tomatoes at the end of each treatment. ternary solutions and application of ultrasound carried out to the higher pressure and WR osmodehydrated tomato slices. Furthermore, there was a greater reduction in these conditions w. SG was lower in a solution of maltodextrin / sodium chloride. However, SG was favored with NaCl solution. Two mathematical models of diffusion were tested to obtain the diffusivity, Fick's unidirectional model and hydrodynamic model of Fito. The effective diffusivity obtained by the hydrodynamic model was the one that best reproduced the effects of variables on the kinetics of mass transfer, with the highest coefficients of determination and lower error than the one-way broadcast model. In general, the application of ultrasound in osmotic

dehydration effect on the variables studied mass transfer. However, there was greatly influence the composition of osmotic solution among the characteristics evaluated.

Keywords: Tomato. Ultrasound-assisted osmotic dehydration. Mass transfer. Effective diffusivity. Drying.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 Esquema dos fluxos de massa durante a desidratação osmótica..... 25

### CAPÍTULO 2

Figura 1 Micrografia eletrônica de varredura de fatia de tomate *in natura* (150X)..... 69

Figura 2 Micrografia eletrônica de varredura de fatias de tomates submetidas ao processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO) em quatro meios líquidos distintos. .... 70

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO 2

Gráfico 1	Parâmetros de cor claridade ( $L^*$ ) de amostras de tomate <i>in natura</i> e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. ....	67
Gráfico 2	Parâmetro de cor hue ( $^{\circ}h$ ) de amostras de tomate <i>in natura</i> e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. ....	67
Gráfico 3	Parâmetro de cor croma ( $C^*$ ) de amostras de tomate <i>in natura</i> e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. ....	68
Gráfico 4	Valores da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) entre amostras de tomate <i>in natura</i> e tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. ....	68

### CAPÍTULO 3

Gráfico 1	Cinética da perda de água de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias.....	95
Gráfico 2	Cinética da perda de água de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias e ternárias .....	96
Gráfico 3	Cinética do ganho de sólidos de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias. ....	100
Gráfico 4	Cinética do ganho de sólidos de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias e ternárias. ....	100
Gráfico 5	Cinética do ganho de cloreto de sódio de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções ternárias. ....	103
Gráfico 6	Comportamento da umidade e dos solutos durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom de fatias de tomates, a 30 °C, na concentração de 27,5% sacarose e 10% cloreto de sódio.....	105
Gráfico 7	Comportamento da umidade e de solutos durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom de fatias de tomates, a 30 °C, na concentração de 27,5% maltodextrina e 10% cloreto de sódio .....	106

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1	Composição química e valor energético, em 100 g de tomate <i>in natura</i> com sementes .....	21
----------	---	----

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Composição centesimal e valor energético de tomates ( <i>Lycopersicon esculentum</i> cv. Carmem) .....	45
Tabela 2	Perda de água durante o processo osmótico assistido por ultrassom, de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30 °C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz ....	53
Tabela 3	Ganho de sólidos durante o processo osmótico assistido por ultrassom de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão, na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30 °C, frequência do ultrassom de 25kHz e sem agitação mecânica ....	55
Tabela 4	Redução de peso observada ao longo do processo osmótico assistido por ultrassom de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30°C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz.....	58
Tabela 5	Atividade de água de fatias de tomates <i>in natura</i> e desidratados osmoticamente, associada com a aplicação de ultrassom, submetidos em três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30 °C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz.....	61
Tabela 6	Comparação da PA [%], GS [%] e RP [%] de fatias de tomates submetidas em processo de desidratação osmótica (DO) e desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO), em quatro meios líquidos de imersão distintos, em 40 minutos de processo.....	62

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Composição química e valor energético de tomates ( <i>Lycopersicon esculentum</i> cv. Carmem).....	83
Tabela 2	Atividade de água de fatias de tomates submetidas ao tratamento osmótico com e sem aplicação do ultrassom, ao final dos 180 minutos de processo.....	104
Tabela 3	Atividade de água dos meios líquidos utilizados para o tratamento osmótico de fatias de tomates.....	106
Tabela 4	Difusividade efetiva para água e sólidos, obtida pelo método 1.....	110
Tabela 5	Difusividade efetiva para água e sólidos, obtida pelo método 2.....	110

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 Considerações gerais sobre tomate: desidratação osmótica e uso do ultrassom no processo osmótico</b> .....	17
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Considerações gerais sobre o tomate</b> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Desidratação osmótica (DO)</b> .....	23
<b>2.3</b>	<b>Desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO)</b> .....	28
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
	<b>CAPÍTULO 2 Efeito do ultrassom na desidratação osmótica de fatias de tomates sobre a transferência de massa e qualidade dos frutos osmodesidratados</b> .....	40
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	42
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	45
<b>2.1</b>	<b>Material</b> .....	45
<b>2.2</b>	<b>Preparo das amostras</b> .....	46
<b>2.3</b>	<b>Caracterização dos materiais</b> .....	46
<b>2.4</b>	<b>Análises físicas e químicas</b> .....	47
<b>2.4.1</b>	<b>Teor de água e atividade de água</b> .....	47
<b>2.4.2</b>	<b>Análises colorimétricas</b> .....	47
<b>2.5</b>	<b>Desidratação osmótica com uso de ultrassom (USDO)</b> .....	48
<b>2.5.1</b>	<b>Perda de água, ganho de sólidos e redução de peso</b> .....	49
<b>2.6</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</b> .....	50
<b>2.7</b>	<b>Análise estatística</b> .....	50
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>3.1</b>	<b>Perda de água (PA)</b> .....	52
<b>3.2</b>	<b>Ganho de sólidos (GS)</b> .....	55
<b>3.3</b>	<b>Redução de peso (RP)</b> .....	57
<b>3.4</b>	<b>Atividade de água (<math>a_w</math>)</b> .....	58
<b>3.5</b>	<b>Efeitos dos processos de DO e USDO sobre os parâmetros de transferência de massa</b> .....	62
<b>3.6</b>	<b>Parâmetros colorimétricos</b> .....	64
<b>3.7</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura</b> .....	69
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74
	<b>CAPÍTULO 3 Cinética de transferência de massa de tomates desidratados osmoticamente com uso de ultrassom</b> .....	78
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	80
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	83
<b>2.1</b>	<b>Material</b> .....	83



2.2	Preparo das amostras .....	84
2.3	Caracterização dos materiais .....	84
2.4	Análises físicas e químicas .....	85
2.4.1	Teor de água e atividade de água .....	85
2.4.2	Determinação de cloreto de sódio.....	85
2.5	Desidratação osmótica.....	86
2.5.1	Perda de água, ganho de sólidos e redução de peso .....	87
2.6	Modelos matemáticos – coeficiente de difusão .....	88
2.6.1	Método 1- Modelo de difusão unidirecional .....	88
2.6.2	Método 2 - Modelo hidrodinâmico.....	90
2.7	Análise estatística.....	92
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	94
3.1	Perda de água (PA).....	94
3.2	Ganho de sólido (GS).....	98
3.3	Ganho de cloreto de sódio .....	101
3.4	Atividade de água ( $a_w$ ).....	103
3.5	Difusividade efetiva .....	107
4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	112
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	113

## CAPÍTULO 1

### **Considerações gerais sobre tomate: desidratação osmótica e uso do ultrassom no processo osmótico**

#### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

A demanda pelo aproveitamento de alimentos vem aumentando, ao longo dos últimos anos, devido à diminuição da disponibilidade de alimentos que se agrava com a expansão da população mundial. O aproveitamento deve ser otimizado para que se possam suprir a necessidade de alimentos, sem o aumento na área de cultivo. Ao mesmo tempo, é necessário minimizar os problemas com desperdícios excessivos e atender melhor às necessidades nutricionais dos consumidores.

As frutas e hortaliças são focos de várias pesquisas por serem produtos altamente perecíveis e apresentarem significativas perdas pós-colheita. Com isso, instituições públicas e privadas estão buscando soluções práticas e acessíveis para o melhor aproveitamento da produção de alimentos, no Brasil e no mundo.

O alto desperdício de frutas e hortaliças está relacionado com o alto teor de água que possuem (entre 50% e 95%). Por este motivo, são considerados alimentos de alta perecibilidade, ou seja, mais suscetíveis a danos mecânicos, fisiológicos e patológicos. Além disso, as condições inadequadas de manuseio, transporte, armazenamento e comercialização prejudicam consideravelmente as perdas desses produtos.

O tomate é um dos frutos mais cultivados e consumidos no Brasil e no mundo. É um produto de grande importância socioeconômica, destinado à alimentação humana, tanto na forma *in natura* como industrializada. O tomate processado é encontrado na forma de sucos, molhos prontos, ketchup, conserva e

tomate seco. Esses produtos são utilizados como ingredientes em diferentes cardápios e como matéria-prima em várias formulações alimentícias.

O tomate *in natura* apresenta teor de água de 95%, sendo considerado um valor alto. Todavia, quando se deseja prolongar sua vida de prateleira, há a necessidade de operações unitárias que proporcionem maior redução do teor de água do produto, para aumentar a vida útil do produto.

Dentre as diversas operações, a desidratação osmótica (DO) é uma alternativa muito promissora. A tecnologia pode ser utilizada como um tratamento preliminar a outras operações, de forma a obter produtos com teor de água intermediário, visando à conservação das propriedades nutritivas e sensoriais dos alimentos, sem prejudicar sua integridade. Também agrega valor ao alimento e, além disso, preserva a estabilidade dos pigmentos durante o processo.

Recentemente, a desidratação osmótica em frutos tem sido aplicada com a associação da tecnologia de ultrassom por reduzir mais a quantidade de água do que o processo convencional de desidratação osmótica. O processo de ultrassom associado à imersão do fruto em água ou solução aquosa hipertônica ao qual o ultrassom é aplicado leva à formação, ou ampliação, de microcanais, os quais facilitam a movimentação de líquido e gases no interior do fruto, aumentando, assim, as taxas de transferência de massa interna e externa do alimento. Outra vantagem de usar o ultrassom é que o processo pode ser realizado à temperatura ambiente, reduzindo a probabilidade de degradação de nutrientes.

A desidratação osmótica e o uso do ultrassom são tecnologias que podem ser facilmente empregadas por pequenos produtores, cooperativas e a indústria, sem a necessidade de grandes investimentos, de forma a maximizar a utilização dos alimentos e agregar valor ao produto.

Devido aos fatos expostos, o processo de desidratação osmótica associada com ultrassom deve ser estudado com um maior número de alimentos, com o objetivo de verificar a influência do tratamento sobre as variáveis envolvidas no processo, além de avaliar os efeitos significativos sobre o tecido dos frutos, bem como as características nutricionais e sensoriais.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o efeito da desidratação osmótica de tomates (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem, com e sem aplicação do ultrassom, em diferentes meios líquidos de imersão, sobre os parâmetros de transferência de massa, bem como a qualidade dos produtos processados.

No Capítulo 1 encontra-se uma revisão de literatura, na qual são abordados os seguintes temas: considerações gerais sobre o tomate, desidratação osmótica e desidratação osmótica assistida por ultrassom.

No Capítulo 2 apresenta-se a influência do processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom de tomates (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem, em água destilada e em soluções osmóticas distintas, sobre a perda de água, ganho de sólidos, redução de peso, atividade de água, parâmetros de cor e a microestrutura do fruto.

No Capítulo 3 são apresentadas a avaliação da influência de diferentes soluções osmóticas e a aplicação de ultrassom sobre a transferência de massa de fatias de tomates desidratados osmoticamente. Foi observada a cinética de redução de peso, perda de água, ganho de sólidos em soluções binárias e ternárias. Avaliou-se a atividade de água das soluções e dos materiais, ao final de cada tratamento. Por fim, dois modelos matemáticos de difusão foram testados para a obtenção da difusividade e para avaliar a precisão de tais modelos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Considerações gerais sobre o tomate

O tomate pertence à família das *Solanaciae*, gênero *Lycopersicum*. Os tipos de tomate cultivados comercialmente pertencem à espécie *Lycopersicum esculentum* e são divididos em dois grupos: para a indústria e para o consumo *in natura*.

O tomate, fruto do tomateiro (*Lycopersicum esculentum*), é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo, sendo um importante produto agrícola. Sua produção mundial é superior a 120 milhões de toneladas. A China apresenta a maior produção, aproximadamente 35.000.000 toneladas, o que representa 27% da produção mundial. Em seguida, aparecem Estados Unidos, Índia, Turquia e Egito, entre outros, como o Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011).

Nas últimas décadas, o tomate tem sido amplamente cultivado no Brasil. Em 2011, a produção foi de 4.425.274 toneladas. Atualmente, no território nacional, a maior área cultivada de tomate industrial está nas regiões centro-oeste e sudeste, onde o clima seco, durante os meses de março a setembro, favorece o cultivo do tomateiro. Em ordem decrescente de produção, aparecem os estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Bahia, que representam aproximadamente cerca de 80% da produção anual do país (IBGE, 2011).

Devido à sua alta disponibilidade durante o ano todo e ao seu baixo custo, o tomate é consumido por todas as classes socioeconômicas, atingindo uma parcela considerável da população mundial (BUGIANESI et al., 2004). É consumido tanto na forma *in natura*, em saladas, quanto processado, como extratos, molhos, ketchup, sucos, e desidratado. Estima-se que um terço da

produção nacional de tomate seja utilizado para o processamento industrial (GAMEIRO; COSTA FILHO; DAMIÃO, 2008).

A polpa de tomate tem alto teor de água e, em termos nutricionais, poucas calorias, contribuindo para o estabelecimento de uma dieta saudável. A parte sólida, apesar de ser em menor proporção, é uma excelente fonte de vitaminas A, C e E, licopeno e  $\beta$ -caroteno e de minerais como cálcio, ferro e fósforo (SANINO; CORTEZ; MEDEIROS, 2003). Na Tabela 1 apresentam-se a composição química e o valor energético do tomate.

Tabela 1 Composição química e valor energético, em 100 g de tomate *in natura* com sementes

Água	95,1 g	Ferro	0,2 mg
Valor energético	15 kcal	Fósforo	20 mg
Proteína	1,1 g	Manganês	0,07 mg
Lipídios	0,2g	Magnésio	11 mg
Colesterol	-	Potássio	222 mg
Carboidratos	3,1 g	Sódio	1 mg
Fibra alimentar	1,2	Zinco	0,1 mg
Cinzas	0,5	Tiamina	0,12 mg
Cálcio	7 mg	Piridoxina	0,02 mg
Cobre	0,04 mg	Vitamina C	21,2 mg

Fonte: Tabela... (2011)

A composição química, incluindo os nutrientes e os não nutrientes presentes no tomate, depende de vários fatores, como estágio de maturação, cultivar, clima, condições de cultivo, processamento e armazenamento (BUGIANESE et al., 2004; MARTINEZ-VALVERDE et al., 2002; MORITZ; TRAMONTE, 2006).

O principal carotenoide do tomate é o licopeno, devido não somente à sua elevada concentração neste fruto, mas também ao seu alto poder antioxidante (ABREU, 2010). Os antioxidantes são substâncias que, quando

presentes em baixas concentrações em relação ao substrato, são capazes de inibir ou retardar substancialmente a oxidação desse substrato (BORGUINI, 2006). A presença de substâncias antioxidantes em alimentos tem sido cada vez mais estudada, devido à sua importância na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (SHAMI; MOREIRA, 2004).

O tomate e seus produtos se destacam como as principais fontes de licopeno da dieta e sua ingestão regular pode ser benéfica à saúde. Estima-se que a ingestão de tomates e seus produtos forneçam mais de 80% de licopeno na dieta humana (BRAMLEY, 2000). Cabe ressaltar que o estágio de maturação do tomate tem relação direta com o conteúdo de licopeno, aumentando em estágios mais avançados de maturação (RAFFO et al., 2006). Nos últimos anos, tem-se ressaltado a alta contribuição do tomate e seus produtos como fonte de nutrientes e compostos bioativos, devido às elevadas concentrações dessas substâncias e à alta frequência de consumo deste fruto na dieta humana (GEORGE et al., 2004). Estudos têm mostrado aumento da biodisponibilidade do licopeno em produtos do tomate processado, pois o aquecimento promove o rompimento de estruturas celulares, liberando o licopeno. Ainda, estimula a isomerização do licopeno, aumentando a proporção da forma isomérica *cis*, que é mais biodisponível que a *trans* (MORITZ; TRAMONTE, 2006).

O tomate é classificado como fruto climatérico. No período pós-colheita, seu amadurecimento resulta de uma série de transformações físicas e químicas, caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, como mudança de cor, aparência, firmeza, perda de peso, aumento de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Por ser um fruto climatérico, a taxa de respiração do tomate se eleva no início do amadurecimento, resultando em uma série de transformações físicas e químicas (KLUGE; MINAMI, 1997) caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, tais como degradação do amido, produção de glicose e

frutose, diminuição da clorofila, síntese dos pigmentos  $\beta$ -caroteno e licopeno, aumento na síntese de etileno, aumento de pectinas solúveis e, conseqüentemente, amolecimento das paredes celulares (FACHIN, 2003).

Algumas transformações pós-colheita afetam a vida útil do produto, causando problemas de desidratação, amolecimento excessivo e podridões, tornando-o um alimento com elevada perecibilidade (FERREIRA, 2004). Devido a isso, está entre os produtos agrícolas recordistas em perdas, atingindo de 25% a 50% da produção. Atribui-se este fato à sua natureza e às condições de pós-colheita, transporte e armazenamento (SOUZA, 2002). A vida de prateleira do fruto maduro é de, aproximadamente, uma semana (SANINO; CORTEZ; MEDEIROS, 2003). Porém, se a maturação do fruto for parcial, a vida média de prateleira é um pouco maior, de uma a duas semanas, e as perdas pós-colheita chegam a 20%-40% (SOUZA, 2002).

## **2.2 Desidratação osmótica (DO)**

O tomate desidratado pode ser obtido diretamente ou com pré-tratamentos por secagem convectiva como a desidratação osmótica. Em relação aos processos de obtenção do produto, observa-se que há falta de padronização das condições de processo, como temperatura e tempo de secagem, bem como, em alguns casos, a falta no uso de processos preliminares, os quais melhoram o processo posterior de secagem e auxiliam na manutenção da qualidade dos frutos.

Diversos estudos têm sido realizados com a finalidade de desenvolver métodos que minimizem as alterações de cor, sabor, textura e perda de nutrientes ocasionadas pelas condições da desidratação do tomate (CAMARGO; HAJ-ISA; QUEIROZ, 2007; HEREDIA et al., 2009; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007). Neste contexto, a desidratação osmótica tem se destacado como um pré-



tratamento eficaz para o processo de secagem do tomate, uma vez que reduz o tempo de secagem, gerando economia e melhorando as características sensoriais do produto final (CORRÊA et al., 2008). Segundo Silva e Corrêa (2005), todas as dissertações e teses desenvolvidas no Brasil, até 2003, sobre tomate seco resultaram de trabalhos em que se utilizou a DO como pré-tratamento.

As pesquisas sobre desidratação osmótica tiveram início em 1966, com Ponting e colaboradores, quando estudaram, com êxito, a desidratação osmótica de maçãs como pré-tratamento para reduzir o conteúdo de água e melhorar a qualidade dos frutos como pré-tratamento ao processo de secagem convectiva. Desde então, descobriu-se o grande potencial desta tecnologia quando comparada com outros processos de desidratação.

A desidratação osmótica (DO) é um método de remoção parcial de água dos alimentos. O método consiste na imersão de um produto, inteiro ou fracionado, em soluções hipertônicas de um ou mais solutos (agentes desidratantes) por um determinado período de tempo. O gradiente de potencial químico entre o fruto e a solução osmótica promove dois fluxos principais: um fluxo de saída de água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o produto. Há, ainda, um terceiro fluxo, quase que irrelevante, que consiste na perda de alguns sólidos naturais do alimento para a solução osmótica, tais como açúcares, ácidos graxos, vitaminas e minerais, entre outros nutrientes. Embora este último fluxo seja insignificante, quando comparado aos outros dois, pode ser importante no que diz respeito às características organolépticas e nutricionais do produto (RAOULT-WACK, 1994; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007). O esquema da Figura 1 ilustra os fluxos observados durante o processo de desidratação osmótica.

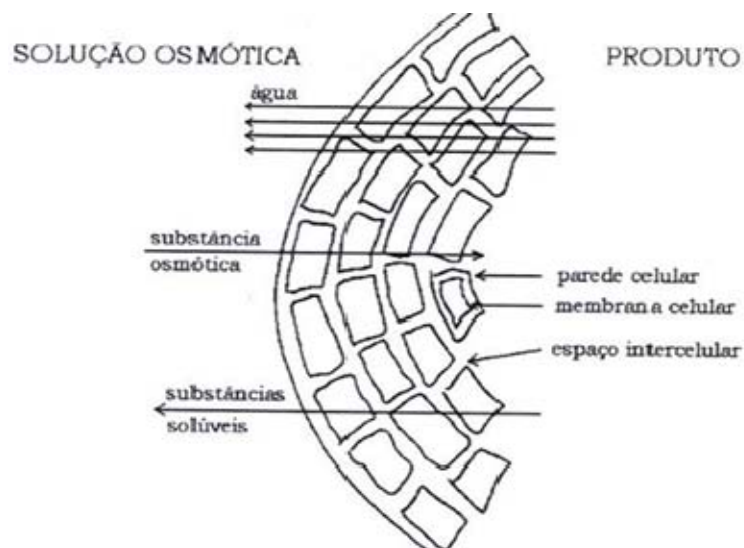


Figura 1 Esquema dos fluxos de massa durante a desidratação osmótica  
 Fonte: Fioreze (2004)

A penetração de solutos no alimento durante o processo de DO permite o ajuste da composição física e química do alimento por meio da adição de agentes redutores de  $a_w$ , incorporação de ingredientes como antioxidantes e antimicrobianos e qualquer outro soluto de interesse nutricional ou sensorial (TORREGIANI; BERTOLO 2001). Assim, o processo possibilita a formulação de produtos funcionais, estáveis e mais próximos aos alimentos frescos, além de prevenir a descoloração de frutas, causada por enzimas oxidativas, devido à imersão do produto na solução osmótica, isenta de oxigênio (LERICI et al., 1985; TORREGIANI; BERTOLO, 2001; VIAL; GUILBERT; CUQ, 1991).

O fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, porosidade, forma e tamanho e pré-tratamento) e pelas variáveis do processo (pré-tratamento, pressão, temperatura, natureza e concentração do agente osmótico, agitação, aditivos, tempo de processo)

(FALADE; IGBEKA, 2007; RASTOGI et al., 2002). Esses fatores podem influenciar tanto a eficiência do processo como a qualidade final do produto desidratado.

Os solutos mais utilizados nos processos osmóticos são os açúcares (sacarose e glicose) e os sais (cloreto de sódio) (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011). A escolha do agente osmótico deve ser de acordo com a necessidade das características desejadas no produto final e o tipo de agente osmótico afeta significativamente a cinética de DO. Se o objetivo é a redução de água, como em tratamentos que visam concentrar o produto, recomenda-se o uso de soluto de alto peso molecular. Caso se deseje obter a incorporação de soluto, como em salga de carnes ou saturação de frutas, solutos de baixo peso molecular são mais recomendados. Ou, então, diante da necessidade de um balanço entre os processos, como no caso de formulação de produtos, visando, por exemplo, melhores características organolépticas, nutricionais e estabilidade microbiológica, recomendam-se, neste caso, as soluções ternárias, as quais forneceram um balanço de solutos (LAZARIDES, 2001). Para isso, os parâmetros do processo devem ser selecionados de acordo com sua aplicação, de modo que um balanço correto entre eles resulte em taxas de transferência de massa de água e de solutos adequadas (RASTOGI et al., 2002).

O resultado ao final do processo osmótico é um produto com teor de água intermediário, com boas características sensoriais (HERRERA; GABAS; YAMASHITA, 2001) e boa aceitabilidade (MOTA, 2005). Apresenta vantagens evidentes na preservação de nutrientes, devido às baixas temperaturas em que o processo costuma ser conduzido, bem como o efeito protetor da solução osmótica, por limitar a exposição ao oxigênio. Segundo Tonon (2005), a melhoria da qualidade está relacionada ao efeito de formulação direta, que permite um aumento da razão açúcar/ácido, favorecendo uma maior preservação da textura e maior estabilidade dos pigmentos durante os processos posteriores.

Observa-se que a tendência de utilizar a desidratação osmótica em tratamentos preliminares não é apenas para a remoção de água e a redução do tempo total de secagem, mas também para a melhoria da qualidade do produto (HERRERA; GABAS; YAMASHITA, 2001; SOUZA, 2002; TONON, 2005). Além disso, nota-se a conveniência do processo em inibir a atividade enzimática, mantendo a cor natural de frutas e ajudando a reter os aromas voláteis durante a secagem posterior (POKHARKAR; PRASAD; DAS, 1997).

Heredia et al. (2009) avaliaram o efeito da composição da solução osmótica sobre a cor e o teor de carotenoides de tomates-cereja tratados osmoticamente. Os resultados encontrados mostram que o tratamento osmótico realizado em solução osmótica (10% de NaCl e 27,5% de sacarose), a 30 °C e a 40 °C, pode ser considerada uma técnica útil, no sentido de preservar e até aumentar o conteúdo de licopeno e  $\beta$ -caroteno e, portanto, a qualidade nutricional dos tomates-cereja.

Corrêa et al. (2008) avaliaram a influência da concentração da solução osmótica e do tempo de imersão sobre a desidratação de tomates. Nesse estudo, as melhores condições de aceitação do produto foram obtidas realizando-se a desidratação do tomate em solução osmótica com NaCl 10%, durante 30 minutos, seguida de secagem convectiva em secador de bandejas, por 10 horas.

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) investigaram a influência da temperatura, da composição da solução osmótica e da agitação na desidratação de tomates. Os resultados mostraram que a temperatura e o aumento no teor de sal na solução influenciaram positivamente os coeficientes de transferência de massa global para a água, NaCl e sacarose. A velocidade de agitação teve influência significativa sobre a perda de água. A desidratação osmótica, aparentemente, não teve nenhum efeito sobre o conteúdo de carotenoides em produtos processados e pode ser considerada como um método eficiente, permitindo a remoção da água sem alterar o valor nutritivo.

A desidratação osmótica é o pré-tratamento de secagem de maior uso relatado, no entanto, sua utilização tem se renovado e vem aumentando, principalmente como pré-tratamento em técnicas combinadas, como a desidrataação osmótica assistida por ultrassom (CARCEL et al., 2007; FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008, 2009; GARCIA-NOGUERA et al., 2010), a desidrataação osmótica com pulso de vácuo (CORRÊA et al., 2010; DENG; ZHAO, 2008; FANTE et al., 2011) e a com pulso elétrico (ADE-OMOWAYE, 2003; TAIWO; ANGERSBACH; KNORR, 2003), entre outras.

### **2.3 Desidrataação osmótica assistida por ultrassom (USDO)**

A energia ultrassônica é uma tecnologia inovadora na indústria de alimentos e seu uso é crescente (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008). Está sendo aplicada no intuito, em alguns casos, de acelerar processos como a desidrataação, secagem, congelamento e descongelamento, amaciamento de carnes, cristalização de lactose e gordura. Em outros casos, tem a finalidade de melhorar processos, como corte, extração, emulsificação e envelhecimento de vinhos (BHASKARACHARYA; KENTISH; ASHOKKUMAR, 2009).

O pré-tratamento ultrassônico na desidrataação osmótica consiste na imersão do alimento em água ou em solução aquosa hipertônica à qual o ultrassom é aplicado, por um curto período de tempo. Assim, como a DO convencional, o ultrassom também é um processo que pode ser realizado na temperatura ambiente sem exigência de aquecimento, reduzindo a probabilidade de degradação do alimento (FUENTE-BLANCO et al., 2006; MASON, 1998).

Ao serem aplicadas no processo osmótico, as ondas ultrassônicas provocam o efeito esponja e a cavitação (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; FUENTE-BLANCO et al., 2006; GARCIA-NOGUERA et al., 2010). No primeiro caso, as alterações

na pressão interna do alimento causam uma série de rápidas compressões e expansões alternadas na matriz alimentícia, de forma semelhante a uma esponja, quando se aperta e se solta repetidamente. No segundo caso, a cavitação consiste na formação, crescimento e colapso de bolhas na solução osmótica, com a geração de microjatos. Estes microjatos impactam a superfície do alimento, injetando a solução no interior do sólido. Algumas vezes, as bolhas não colapsam e vibram com a frequência do ultrassom, causando significativa agitação na solução, principalmente na camada limite entre a solução e o sólido. Estas alterações produzem microcanais, os quais facilitam a remoção de água, por favorecer o movimento de líquido no interior do alimento (GARCIA-NOGUERA et al., 2010; MULET et al., 2003).

A cavitação é responsável pela redução da resistência externa à transferência de massa para o interior do alimento e o efeito esponja reduz a resistência interna, com aumento da difusividade, tanto da umidade quanto de solutos (CÁRCEL et al., 2007; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; SIMAL et al., 1998). Consequentemente, o uso de ultrassom em processos de DO tem, em geral, resultado no aumento da perda de água e do ganho de sólidos; além disso, reduzem o tempo de processamento na secagem posterior (GARCIA-NOGUERA et al., 2010). A taxa de transferência depende da pressão e da frequência da onda produzida por sonicação (RAGHAVAN et al., 2005). Dependendo do meio receptor das ondas sonoras, os efeitos podem causar alterações leves ou moderadas em produtos alimentares (BHASKARACHARYA; KENTISH; ASHOKKUMAR, 2009). O uso de ultrassom pode auxiliar tanto na desidratação osmótica quanto em processos posteriores como a secagem convectiva.

Os resultados deste processo são dependentes do período de exposição ao ultrassom e de variáveis inerentes a processos osmóticos, como concentração e temperatura da solução e tipo de agente osmótico, além de aspectos estruturais

do alimento (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; GARCIA-NOGUERA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009). Cárcel et al. (2012) ressaltam que a ação do ultrassom é consequência da pressão acústica e esta se modifica também conforme o meio em que é utilizado o ultrassom, no caso, a solução osmótica.

Segundo Fernandes e Rodrigues (2008), cada tipo de fruto forma canais microscópicos diferentes, e em tempos diferentes. Estes canais facilitam a difusão de água e sólidos para o interior e o exterior do fruto. O tipo, o número e o tamanho dos canais formados influenciam diretamente as variáveis envolvidas no processo, como a perda de água e o ganho de sólidos. Em melões, os canais se formam pelo alongamento das células, em um período de tempo curto. Em abacaxi, a formação dos canais exigiu um maior tempo, devido ao fato de os canais serem formados pela ruptura das células. Esta variedade de canais formados deve-se, provavelmente, às características próprias de estrutura dos tecidos de cada fruto.

O tratamento ultrassônico utilizando água destilada como meio líquido é um processo interessante para a produção de frutos secos, com baixo teor de açúcares, porque, durante o pré-tratamento de ultrassom, o fruto perde açúcar, ao passo que, no processo de desidratação osmótica, a absorção de açúcar é muito maior.

Segundo Garcia-Noguera et al. (2010), a aplicação da desidratação osmótica assistida por ultrassom em frutas e hortaliças está proporcionando a redução do tempo de secagem e a redução de custos de processamento. Avaliando a desidratação osmótica de morangos, observaram que a maior redução de tempo foi atingida com o pré-tratamento de USDO, em 30 minutos em solução de 50% de sacarose e na frequência de 25 kHz. Isso representa um decréscimo de aproximadamente 50% de tempo de processamento total, quando comparado o processo sem a aplicação de ondas ultrassônicas. Aqueles autores

também estudaram a influência da frequência do ultrassom (25 kHz e 40 kHz) identificando que maiores quantidades de água foram perdidas em frequência de 25 kHz, entre 10 e 20 minutos. Os pré-tratamentos realizados em 40 kHz resultaram, em geral, em menores valores de difusividade efetiva da água do que os valores da difusividade efetiva da água de morango, quando tratado em 25 kHz. Este resultado é consistente com as observações publicadas por Carcel et al. (2007), afirmando que, em frequências mais altas (maiores que 25 kHz), a energia ultrassônica é absorvida pelo meio líquido e, como consequência, as ondas ultrassônicas não penetram tão profundamente na matriz sólida da fruta.

A influência da desidratação osmótica assistida por ultrassom em secagem convectiva também foi observada por Azoubel et al. (2010), que observaram redução no tempo de secagem. Naquele trabalho, a secagem com frutas frescas e não tratadas por USDO foi realizada em 345 minutos a 50 °C (ou 111 minutos a 70 °C). Quando utilizado o pré-tratamento de ultrassom por 20 minutos, o tempo total foi reduzido para 207 minutos a 50 °C (ou para 106 minutos a 70 °C). A diminuição de tempo de secagem está relacionada ao aumento da difusividade da água. Estes resultados confirmam as observações de Fernandes, Gallão e Rodrigues (2009), Fernandes e Rodrigues (2007) e Fuente-Blanco et al. (2006), de que o pré-tratamento de ultrassom afeta o tecido de frutos, facilitando difusão de água durante a secagem, provavelmente devido à formação de canais microscópicos no fruto.

As alterações do tecido dos frutos, ocasionadas pela aplicação do ultrassom, podem ser observadas por meio da análise de imagem. Porém, essa técnica ainda é pouco utilizada em alimentos (RODRIGUES; FERNANDES, 2007). No entanto, é uma ferramenta importante que pode auxiliar na determinação de alterações estruturais do material celular (PEREIRA; CARMELLO-GUERREIRO; HUBINGER, 2009), no encolhimento e na transferência de massa de sólido no interior do alimento.



Em diversos estudos tem sido ressaltada a utilização do ultrassom como uma tecnologia capaz de melhorar as condições de processamento de muitos produtos. No entanto, como uma nova tecnologia, há a necessidade de estudos aprofundados para seu emprego, buscando melhor padronização e observação dos efeitos sobre as diversas variáveis envolvidas nos processos.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, W. C. **Características físicas, químicas e atividade antioxidante “in vitro” de tomate submetido à desidratação**. 2010. 156 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- ADE-OMOWAYE, B. Kinetics of osmotic dehydration of red bell peppers as influenced by pulsed electric field pretreatment. **Food Research International**, Barking, v. 36, n. 5, p. 475-483, Mar. 2003.
- AZOUBEL, M. P. et al. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 2, p. 194-198, Mar. 2010.
- BHASKARACHARYA, R. K.; KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. Selected applications of ultrasonics in food processing. **Food Engineering Reviews**, Dordrecht, v. 1, n. 1, p. 31-49, Apr. 2009.
- BORGUINI, R. G. **Avaliação do potencial antioxidante e de algumas características físico-químicas do tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico em comparação ao convencional**. 2006. 178 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BRAMLEY, P. M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry**, Oxford, v. 54, n. 2, p. 233-236, Mar. 2000.
- BUGIANESI, R. et al. Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and carotene in cherry tomatoes. **European Journal of Nutrition**, London, v. 43, n. 6, p. 360-366, Dec. 2004.
- CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 521-526, Out. 2007.
- CARCEL, J. et al. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 2, p. 472-479, Jan. 2007.
- CÁRCEL, J. A. et al. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 110, n. 2, p. 200-207, May 2012.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CORRÊA, J. L. G. et al. Desidratação osmótica de tomate de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2008.

\_\_\_\_\_. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498-504, Aug. 2010.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). **LWT - Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 41, n. 9, p. 1575-1585, Nov. 2008.

FACHIN, D. **Temperature and pressure inactivation of tomato pectinases: a kinetic study**. 2003. 133 p. Proefschrift (Doctoraats in de Toegepaste Biologische Wetenschappen Door) - Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2003.

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

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERNANDES, A. N. F.; GALLAO, M.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 90, n. 2, p. 186-190, June 2009.

\_\_\_\_\_. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. **Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 41, n. 4, p. 604-610, May 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 12, p. 1509-1516, Jan. 2008.

\_\_\_\_\_. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 2, p. 261-267, Feb. 2007.

FERREIRA, S. M. R. **Características de qualidade do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. 249 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: UFPB, 2004. 229 p.

FUENTE-BLANCO, S. et al. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics**, Surrey, v. 44, n. 1, p. 523-527, Dec. 2006.

GAMEIRO, A. H.; COSTA FILHO, J. V.; DAMIÃO, C. D. Modelagem e gestão das perdas no suprimento de tomates para processamento industrial. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 101-115, jan./abr. 2008.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. **Drying Technology**, New York, v. 28, n. 2, p. 294-303, Mar. 2010.

GEORGE, B. et al. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function genotype. **Food Chemistry**, London, v. 84, n. 1, p. 45-51, Jan. 2004.

HEREDIA, A. et al. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, n. 4, p. 285-294, June 2009.

HERRERA, R. P.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F. Desidratação osmótica de abacaxi com revestimento comestível: isotermas de desorção. In: LATIN AMERICAN SYMPOSIUM OF FOOD, 4., 2001, Campinas. **Abstracts...** Campinas: UNICAMP, 2001. p. 190.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tomate.**

Disponível em:

<[http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1394&Itemid=64](http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1394&Itemid=64)>. Acesso em: 21 fev. 2011.

KLUGE, R. A.; MINAMI, K. Efeito de ésteres de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 39-44, 1997.

LAZARIDES, H. N. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. In: FITO, P. et al. (Ed.). **Osmotic dehydration & vacuum impregnation**. Lancaster: Technomic, 2001. p. 33-42.

LERICI, C. R. et al. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 1217-1226, Sept. 1985.

MARTINEZ-VALVERDE, I. et al. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Journal of Science and Food Agriculture**, Easton, v. 82, n. 3, p. 323-330, Feb. 2002.

MASON, T. J. Power ultrasound in food processing: the way forward. In: \_\_\_\_\_. **Ultrasounds in food processing**. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1998. p. 104-124.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 103, n. 1, p. 29-37, Aug. 2011.

MORITZ, B.; TRAMONTE, V. L. C. Biodisponibilidade do licopeno. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 265-273, jan./fev. 2006.

MOTA, R. V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssego submetidas à desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 789-794, out./dez. 2005.

MULET, A. et al. New food drying technologies: use of ultrasound. **Food Science and Technology International**, London, v. 9, n. 3, p. 215-221, June 2003.

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

POKHARKAR, S. M.; PRASAD, S.; DAS, H. A model for osmotic concentration of bananas slices. **Journal Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 34, n. 3, p. 230-232, May/June 1997.

PONTING, J. D. et al. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 1363-1368, 1966.

RAFFO, A. et al. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, n. 1, p. 11-19, Feb. 2006.

RAGHAVAN, G. S. V. et al. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 195-201, Apr./June 2005.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 5, n. 8, p. 255-260, Aug. 1994.

RASTOGI, N. K. et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 13, n. 2, p. 48-59, Feb. 2002.

RODRIGUES, S. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. **Journal of the Science of the Food and Agriculture**, Easton, v. 89, n. 4, p. 665-670, Jan. 2009.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons. **Drying Technology**, New York, v. 25, n. 10, p. 1791-1796, Dec. 2007.

SANINO, A.; CORTEZ, L. B.; MEDEROS, B. T. Vida de prateleira do tomate (*Lycopersicum esculentum*), variedade "Débora", submetido a diferentes condições de resfriamento. In: WORKSHOP DE TOMATE. PERSPECTIVAS E PESQUISAS, 4., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2003. 1 CD-ROM.

SHAMI, N. J. I.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 227-236, mar./abr. 2004.

SILVA, M. A.; CORRÊA, J. L. G. Academic research on drying in Brazil 1970-2003. **Drying Technology**, New York, v. 23, n. 7, p. 1345-1359, Feb. 2005.

SIMAL, S. et al. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 36, n. 3, p. 323-336, May 1998.

SOUZA, J. S. **Estudo da desidratação de tomates (*Lycopersicon esculentum*) em pedaços com pré-tratamento osmótico**. 2002. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

TABELA brasileira de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: <[http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf?arquivo=taco\\_4\\_versao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2012.

TAIWO, K. A.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Effects of pulsed electric field on quality factors and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 26, n. 1, p. 31-48, Apr. 2003.

TONON, R. V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

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

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatment in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 49, n. 1/2, p. 247-253, Aug. 2001.

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. Osmotic dehydration of Kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Science des Aliments**, Paris, v. 11, n. 1, p. 63-84, 1991.



## CAPÍTULO 2

### **Efeito do ultrassom na desidratação osmótica de fatias de tomates sobre a transferência de massa e qualidade dos frutos osmodesidratados**

#### **RESUMO**

O uso de ultrassom tem se mostrado um facilitador na transferência de massa entre alimentos e o meio de imersão. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO), em diferentes meios líquidos, com relação a perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP), atividade de água ( $a_w$ ) e parâmetros de cor, com uso de ultrassom em tempos de 10, 20, 30 e 40 minutos. Foram utilizados como meios líquidos água destilada e soluções de maltodextrina, sacarose e cloreto de sódio na concentração de 27,5%. Objetivando avaliar o efeito do uso do ultrassom, experimentos foram realizados com e sem aplicação das ondas ultrassônicas, no tempo de 40 minutos de processo. Maiores taxas de transferência de massa foram observadas quando se utilizou cloreto de sódio a 27,5% como agente osmótico, no tempo de 40 minutos de USDO. Entretanto, as maiores razões PA por GS foram obtidas em solução binária de sacarose e cloreto de sódio, em 20 minutos de USDO. O estudo comparativo de DO e USDO demonstrou que a aplicação de ultrassom influenciou o aumento da PA, GS e RP.

Palavras-chave: Tomate. Ondas ultrassônicas. Soluções osmóticas. Secagem. Microscopia.

### ABSTRACT

The use of ultrasound has been shown to make easier the mass transfer between food and the immersion media. The objective of this study was to evaluate ultrasound-assisted osmotic dehydration (USDO) in different liquid media, with respect to water loss (WL), solid gain (SG), weight reduction (WR), water activity ( $a_w$ ) and color parameters, with the use of ultrasound in times of 10, 20, 30 and 40 minutes. The liquid media used were distilled water and solutions of maltodextrin, sucrose and sodium chloride at a concentration of 27.5%. To evaluate the effect of ultrasound use, experiments were performed with and without application of ultrasonic waves in the time of 40 minutes of the proceedings. Higher rates of mass transfer were seen when using sodium chloride 27.5% as the osmotic agent, time of 40 minutes USDO. However, the major reasons GS for PA was obtained in binary solution of sucrose and sodium chloride, in 20 minutes USDO. The comparative study of DO and USDO demonstrated that the application of ultrasound influenced the increase in WL, GS and WR.

Keywords: Tomato. Ultrasonic waves. Osmotic solutions. Drying; Microscopy.

## 1 INTRODUÇÃO

O tomate é uma importante *commodity* agrícola mundial. Sua produção no mundo é superior a 120 milhões de toneladas por ano. Dentre os países produtores, o Brasil está entre os maiores, com produção de 4.425.274 toneladas, em 2011 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011). Por ser cultivada em todo o território nacional, apresenta grande relevância econômica e nutricional. Entretanto, é um fruto altamente perecível, devido ao seu alto teor de água, o qual leva a extensas perdas pós-colheita, causadas por deterioração química e microbiana.

Diversas tecnologias são empregadas, na indústria de alimentos, como forma de conservação de frutos e vegetais. Dentre essas, a desidratação osmótica é uma técnica de conservação frequentemente utilizada como pré-tratamento das operações de secagem (AL-HARAHSEH; AL-HARAHSEH; MAGEE, 2009; CORRÊA et al., 2008, 2011), congelamento (DERMESONLOUOGLU; GIANNAKOUROU; TAOUKIS, 2007) e também para a produção de produtos minimamente processados (PANADÉS et al., 2003; PEREIRA et al., 2004; RODRIGUES et al., 2006), por conseguir reduzir parcialmente o teor de água do fruto, manter e, até mesmo, reter os constituintes nutricionais e sensoriais dos frutos frescos (CORRÊA et al., 2008, 2011; FANTE et al., 2011; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; RASTOGI et al., 2002; SHI et al., 1997; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007).

Entre as novas tecnologias empregadas em processos de desidratação, a energia de ultrassom vem auxiliando tanto no processo osmótico quanto no processo subsequente de secagem. Estudos recentes demonstraram que essa tecnologia é muito promissora, por conseguir reduzir ainda mais a quantidade de água dos produtos, comparada a outros processos convencionais (FERNANDES; RODRIGUES, 2007; GARCIA-NOGUERA et al., 2010).

O pré-tratamento de desidratação osmótica assistida por ultrassom consiste na imersão do alimento inteiro ou em pedaços em solução aquosa hipertônica na qual o ultrassom é aplicado. A vantagem do processo osmótico, assim como a DO convencional, é a redução do teor de água em temperatura ambiente, ou pouco acima, com menor degradação de nutrientes e ganho energético (FUENTE-BLANCO et al., 2006; GARCIA-PÉREZ et al., 2011; MANSON, 1998). Quando aliadas ao uso de ultrassom, as resistências internas e externas à transferência de massa são diminuídas pelo efeito esponja e cavitação, respectivamente. As alterações nas condições de pressão no alimento geram rápidas compressões e expansões na matriz alimentícia, fenômeno conhecido como efeito esponja, que conduz ao aumento da difusividade, tanto do teor de água quanto dos solutos envolvidos. A cavitação consiste na formação de bolhas no líquido, que podem gerar colapso e flutuação da pressão localizada. As bolhas geradas, ao colapsarem, formam microjatos de solução, que adentram o sólido (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; FUENTE-BLANCO et al., 2006; GARCIA-NOGUERA et al., 2010). Estas alterações formam canais microscópicos que auxiliam o movimento do líquido no interior do alimento, facilitando a remoção da água, por reduzirem a camada limite entre o alimento e o meio que o circunda e aumentar a transferência de massa convectiva no fruto (FUENTE-BLANCO et al., 2006; TARLETON; WAKEMAN, 1998). Entretanto, nota-se que os resultados dessa associação de tecnologias são dependentes do tempo de exposição dos frutos ao ultrassom e das variáveis envolvidas no processo osmótico, como a concentração e o tipo do agente osmótico, a temperatura, além dos fatores intrínsecos do alimento (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; GARCIA-NOGUERA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009).

Diante do exposto nos parágrafos anteriores, este trabalho foi realizado com o objetivo principal de estudar os efeitos das ondas de ultrassom e o uso de

meios de imersão no processo de desidratação osmótica de fatias de tomates cv. Carmem. Avaliou-se o processo osmótico com relação a: (1) perda de água (PA), (2) ganho de sólidos (GS), (3) redução de peso (RP), (4) atividade de água, (5) quantificação e retenção de licopeno, (6) parâmetros de cor e (7) microestrutura dos frutos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Frutos de tomates (*Lycopersicum esculentum* cv. Carmem) foram adquiridos no comércio de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Eles foram classificados com mesmo padrão de maturidade, por meio da intensidade de cor, do tamanho e da firmeza, de forma a se obter amostras relativamente homogêneas.

A composição centesimal química dos tomates utilizados nos ensaios (Tabela 1) foi determinada de acordo com a Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2002). Os resultados obtidos foram próximos aos apresentados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TABELA..., 2011).

Tabela 1 Composição centesimal e valor energético de tomates (*Lycopersicum esculentum* cv. Carmem)

Análises	Valor médio± desvio padrão
Umidade [%]	95,54±0,02
Valor energético [kcal]	11,5±0,00
Lipídeos [g]	0,04±0,00
Proteínas [g]	0,53±0,02
Fibras [g]	1,24±0,13
Carboidratos [g]	2,25±0,00
Cinzas [g]	0,46±0,01

O fruto *in natura* apresentou atividade de água de 0,996, conteúdo inicial de licopeno de 314,16  $\mu\text{g}/100\text{g}$ , claridade ( $L^*$ ) 41,29, intensidade de cor ( $C^*$ ) 21,88 e tonalidade ( $^{\circ}\text{h}$ ) 0,79.

## 2.2 Preparo das amostras

Após seleção das amostras, procedeu-se à higienização dos frutos em solução de hipoclorito de sódio ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ), por 15 minutos, seguida de enxague em água corrente. A fim de favorecer o processo de transferência de massa na epiderme do tomate, os frutos foram, então, imersos em uma solução com oleato de etila 2% (v/v) e hidróxido de sódio 5% (m/m) (SHI et al., 1997), durante 20 minutos, com subsequente lavagem com água corrente. Com a necessidade de manutenção de firmeza das fatias, optou-se pela manutenção da epiderme. Dessa forma, a transferência de massa foi favorecida pelas fissuras na epiderme do tomate, causadas pelo tratamento químico. Os frutos foram cortados ao meio e as sementes retiradas. E, então, com o auxílio de molde de aço inox em formato retangular, cortaram-se os frutos em placas planas, nas dimensões de 4,0 cm de comprimento e 2,0 cm de largura, mantendo-se a espessura da polpa do fruto ( $0,80 \pm 0,20 \text{ cm}$ ), a qual foi corrigida com auxílio de faca de inox e aferida com paquímetro digital.

## 2.3 Caracterização dos materiais

As amostras *in natura* e desidratadas osmoticamente foram caracterizadas em relação ao teor de água, atividade de água, cor, perda de água, ganho de sólidos, redução de peso e análise de imagem, com base nas metodologias descritas a seguir. As análises foram realizadas com três repetições, exceto para os parâmetros de cor, com onze repetições.

## 2.4 Análises físicas e químicas

### 2.4.1 Teor de água e atividade de água

O teor de água foi obtido por secagem em estufa a vácuo, a 70 °C, por 48 horas, de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1995). A atividade de água, dos frutos tratados e das soluções foi determinada com uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA), à temperatura de 25 °C (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

### 2.4.2 Análises colorimétricas

A cor foi avaliada por meio do sistema de leitura de três parâmetros, o CIELAB, proposto pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), em 1971. Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  das amostras foram mensurados utilizando-se o colorímetro eletrônico Minolta CR400, a 25 °C, em que  $L^*$  define a claridade ( $L^* = 0$  preto e  $L^* = 100$  branco) e  $a^*$  e  $b^*$  são responsáveis pela cromaticidade  $a^*$  ( $-a^*$  verde e  $+a^*$  vermelho) e  $b^*$  ( $-b^*$  azul e  $+b^*$  amarelo). Os parâmetros avaliados foram Croma ( $C^*$ ), que define a intensidade da cor da amostra, obtido pela Eq. (1); a diferença total de cor ( $\Delta E$ ), pela Eq. (2) e hue ( $^{\circ}h$ ), relacionado à tonalidade, pela Eq. (3).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

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



$$^{\circ}h = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

O parâmetro hue define a cor básica do material e representa a tonalidade média das amostras. O ângulo hue representa as cores: vermelha, como 0°h; amarelo, como 90°h; verde, como 180°h e azul, como 270°h.

## 2.5 Desidratação osmótica com uso de ultrassom (USDO)

Os tratamentos osmóticos foram realizados combinando-se a aplicação do ultrassom em quatro intervalos de tempo, 10, 20, 30 e 40 minutos; em soluções preparadas com água mineral com três agentes osmóticos distintos (sacarose, cloreto de sódio e maltodextrina), na concentração de 27,5% (m/m). Também foram realizados experimentos em água destilada, i.e., 0% (m/m). Além destes, foram realizados tratamentos com e sem aplicação do ultrassom, no tempo de 40 minutos com os três agentes osmóticos e água destilada, a fim de observar os efeitos do tratamento ultrassônico. Utilizou-se água mineral por questões práticas, pois, em um uso aplicado, seria o tipo de água utilizado.

Os experimentos com aplicação do ultrassom foram realizados em erlenmeyers de 250 mL, com imersão total das amostras nas soluções correspondentes aos experimentos e imersão dos frascos em banho ultrassônico (Marca Unique, modelo USC 2850 A) a 30°C, frequência ultrassônica de 25 kHz e sem agitação mecânica. A razão fruta:solução foi mantida em 1:4 (m/m), em todos os experimentos, para evitar efeitos de diluição (FERNANDES, GALÃO; RODRIGUES, 2008; FERNANDES; RODRIGUES, 2008; GARCIA-NOGUERA et al., 2010). Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Ao final de cada intervalo, as amostras foram retiradas dos frascos e imersas em banho de gelo, por alguns segundos, para cessar o processo de desidratação

osmótica. A água superficial residual foi removida por secagem com papel toalha e as amostras de tomates seguiram para pesagem e análises posteriores.

### 2.5.1 Perda de água, ganho de sólidos e redução de peso

As variáveis respostas perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP), foram determinadas pelas Eq. (4), (5) e (6).

$$PA(\%) = \frac{X_0^w M_0^o - X_f^w M_f^o}{M_0^o} \times 100 \quad (4)$$

$$GS(\%) = \frac{x_f^{ST} M_f^o - x_0^{ST} M_0^o}{M_0^o} \times 100 \quad (5)$$

$$RP(\%) = \frac{M_0^o - M_f^o}{M_0^o} \times 100 \quad (6)$$

em que  $M_0^o$  e  $M_f^o$  são a massa da amostra antes e após o tratamento (g);  $X_0^w$  e  $X_f^w$  são o teor de água da amostra inicial e final do tratamento em base úmida (g água g fruto<sup>-1</sup>);  $x_0^{ST}$  e  $x_f^{ST}$  são o conteúdo inicial de sólidos das amostras, antes e após o tratamento (g sólido g fruto<sup>-1</sup>).

## 2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Após o tratamento osmótico, as amostras foram seccionadas e fixadas em solução Karnovisk's modificada. Após 24 horas, estas amostras foram transferidos para glicerol 30%, por 30 minutos, imergidos em nitrogênio líquido e fraturados sobre uma superfície metálica resfriada com nitrogênio líquido, utilizando bisturi. Depois, foram pós-fixadas em tetróxido de ósmio 1% por 1 hora, lavadas por três vezes em água destilada e desidratadas em gradiente de acetona (25%, 50%, 75% e 90% e três vezes em 100%), permanecendo por cerca de 10 minutos em cada uma. Para completar a secagem, o material foi levado ao aparelho de ponto crítico (CPD 030). As amostras foram fixadas em suporte com fita dupla face, revestidas com banho de ouro aplicado com Sputtering (SCD 050) e, então, visualizadas em microscópio eletrônico de varredura Leo Evo 40.

## 2.7 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, em esquema fatorial 4x4, em que foram avaliados quatro meios líquidos de imersão em quatro tempos de pré-tratamento. As variáveis independentes consideradas foram tempo de tratamento ultrassônico, com quatro níveis, 10, 20, 30 e 40 minutos e os meios líquidos de imersão foram água destilada e soluções de sacarose, maltodextrina e cloreto de sódio, na concentração de 27,5% (m/m). Mediram-se as variáveis respostas teor de água, atividade de água, PA, GS, RP,  $L^*$ ,  $C^*$ , °h e  $\Delta E$ . Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), de acordo com o modelo da Eq. (7). Diferenças significativas foram determinadas para  $p < 0,05$  (nível de confiança de 95%). O teste de Scott-Knott foi aplicado para comparação das médias, em que ocorreram diferenças significativas em termos das variáveis resposta analisadas. As

análises estatísticas foram realizadas por meio do software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

$$y_{ij} = \mu + s_i + t_j + st_{ij} + e_{ij} \quad (7)$$

em que  $e_{ij}$  é o erro experimental  $N \sim (0, \sigma_e^2)$ ;  $s_i$  é o efeito da solução osmótica;  $st_{ij}$  é o efeito da interação entre o efeito do tempo e da solução osmótica;  $t_j$  é o efeito do tempo;  $\mu$  a constante associada aos dados e  $y_{ij}$  é o valor observado na solução osmótica  $i$  no tempo  $j$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Perda de água (PA)

A perda de água de tomates imersos nos diversos meios e submetidos ao ultrassom é apresentada na Tabela 2. As fatias de tomates tratados com água destilada e maltodextrina apresentaram, de modo geral, PA negativa, isto é, houve incremento de água no produto. Em solução osmótica de sacarose e cloreto de sódio, se observou PA, decorrente da transferência de água do fruto para a solução osmótica.

Os resultados demonstram que, quando o fruto foi imerso em água destilada, houve decréscimo em PA com o tempo de tratamento, o que significa ganho de água para o fruto. Porém, os valores de PA obtidos nos tempos de 10, 20 e 30 minutos não diferiram estatisticamente. Observou-se diferença significativa apenas no tempo de 40 minutos de USDO (Tabela 2). O decréscimo da PA, nesse caso especificamente, ocorre pelo fato de a pressão osmótica nesta solução não ser suficiente para que ocorra a desidratação osmótica (ausência de soluto como agente osmótico). A diferença de concentração entre a solução e o fruto fez com que ocorresse o transporte passivo de meio hipotônico para meio hipertônico, para que ocorresse o equilíbrio osmótico. O fato explica a grande transferência de água para o fruto. Além disso, o aumento gradativo da permeabilidade da água durante o processo osmótico no tecido do fruto também deve ter sido favorecido pelos efeitos das ondas ultrassônicas, como cavitação e efeito esponja, os quais formam os canais microscópicos e distorcem as células do tecido, facilitando a transferência de água do meio líquido para o fruto, ao longo do período de USDO. Resultados semelhantes foram relatados em estudos com banana (AZOUBEL et al., 2010), morango (GARCIA-NOGUERA et al.,

2010), mamão, jenipapo, jambo e sapoti (FERNANDES; RODRIGUES, 2008) imersos em banho ultrassônico de água destilada.

Tabela 2 Perda de água durante o processo osmótico assistido por ultrassom, de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30 °C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz

PERDA DE ÁGUA [%]				
Meio	Tempo [min]			
	10	20	30	40
AD	-2,78±0,3 Ba	-4,29±1,3 Da	-5,97±1,2 Da	-9,08±2,0 Db
SAC	-0,33±0,2 Cc	6,28±0,1 Ba	5,76±0,5 Ba	3,68±1,6 Bb
CL	10,82±0,6 Ad	13,61±0,1 Ac	15,56±0,6 Ab	19,99±0,0 Aa
M	-2,87±1,9 Bb	0,02±0,3 Ca	-1,82±0,2 Cb	-0,02±0,0 Ca

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem significativamente, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. AD: água destilada; SAC: sacarose; CL: cloreto de sódio e M: maltodextrina

Em solução de sacarose, os maiores valores de PA foram obtidos aos 20 e aos 30 minutos. Entretanto, para o tempo subsequente de 40 minutos, a PA foi menor que a observada para os tempos de 20 e 30 minutos. Ainda em relação a esse soluto, obteve-se PA negativa nos 10 minutos iniciais do processo. PA negativa no início do processo nessa solução e redução da PA após os 30 minutos de tratamento podem ser interpretadas como influência da aplicação do ultrassom no tecido dos frutos, como distorção das células e alteração dos canais internos, os quais facilitaram a PA negativa no início do processo osmótico e, após os 30 minutos, podem ter desestruturado o tecido de tal forma que houvesse o decréscimo da transferência de massa interna e externa do fruto.

A intensificação da transferência de massa em solução de NaCl provocou um aumento contínuo em PA, ao longo do tempo de processo. Maior PA foi atingida em 40 minutos de USDO; aproximadamente 20% da umidade do

fruto foram transferidos para o meio líquido, diferindo estatisticamente dos demais tempos avaliados. O efeito do cloreto de sódio foi relativamente grande em relação à PA, quando comparado com os demais agentes estudados. Isto se deve à maior pressão osmótica, o que facilita consideravelmente a PA dos frutos. Além disso, deve ser ressaltado que, por ser um sal, substância eletrolítica, ocorre a dissociação dos íons quando em solução aquosa, os quais favorecem o processo de desidratação osmótica (TONON, 2005).

As fatias de tomates osmodesidratadas em solução de maltodextrina apresentaram PA negativa em praticamente todos os tempos estudados (Tabela 2), com maiores valores negativos e estatisticamente iguais nos tempos 10 e 30 minutos. Na concentração testada, a maltodextrina se apresentou como um soluto de baixa pressão osmótica, praticamente sem efeito de desidratação osmótica. Togrul e Ispir (2007) observaram maior PA em desidratação osmótica de damascos com maltodextrina do que com sacarose, porém, naquele estudo, a concentração utilizada foi de 70%.

Ao avaliar a PA em diferentes meios de imersão com uso de ultrassom, nota-se que, em todos os tempos estudados (10, 20, 30 e 40 minutos), o meio líquido que proporcionou maior PA foi o cloreto de sódio. Isto se deve ao menor peso molecular do soluto, que resulta em maior pressão osmótica e, assim, a maiores PA durante o processo de DO. Entretanto, neste estudo, existe uma importante influência da aplicação das ondas ultrassônicas no acréscimo da transferência de massa. Esta influência foi observada quando se avaliaram o processo de DO e a aplicação de ultrassom em diferentes meios líquidos de imersão, conforme será discutido posteriormente.

### 3.2 Ganho de sólidos (GS)

O ganho de sólidos (GS) tendeu a aumentar à medida que o tempo do processo osmótico e de aplicação do ultrassom foram aumentando, nas soluções osmóticas de NaCl e maltodextrina. Em água destilada e solução de sacarose, as diferenças encontradas em relação ao tempo não foram significativas (Tabela 3).

Tabela 3 Ganho de sólidos durante o processo osmótico assistido por ultrassom de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão, na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30 °C, frequência do ultrassom de 25kHz e sem agitação mecânica

Meio líquido	GANHO DE SÓLIDOS [%]			
	Tempo [min]			
	10	20	30	40
AD	-0,58±0,2 Bns	-0,96±0,2 Cns	-0,82±0,4 Cns	-0,93±0,3 Dns
SAC	-0,3±0,2 Ba	0,48±0,3 Ba	0,61±0,5 Ba	1,40±0,1 Ba
CL	3,03±0,1 Ad	4,47±0,6 Ac	5,45±1,3 Ab	6,85±0,2 Aa
M	-0,39±0,4 Bb	-0,55±0,1 Cb	0,05±0,3 Ba	0,31±0,2 Ca

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem significativamente, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. AD: água destilada; SAC: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina e ns: não significativo

Durante todo o tempo de tratamento ultrassônico das fatias de tomates em água destilada e nos tempos de 10 e 20 minutos em solução de maltodextrina, observou-se valor negativo GS, isto é, houve perda de sólidos a partir do tecido dos frutos para o meio líquido. O resultado pode ser explicado devido à diferença de concentração de sólidos solúveis entre os frutos e o meio líquido, os quais favoreceram a difusão de sólidos solúveis para fora do tecido do fruto, se dissolvendo no meio líquido para atingir o equilíbrio osmótico (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Nos tempos de 30 e 40 minutos em solução de maltodextrina houve ligeiro GS a partir da solução osmótica para o



tecido do fruto, porém, não houve diferença significativa entre os valores encontrados. Este agente osmótico apresentou-se como soluto de baixa incorporação de sólidos, devido à baixa pressão osmótica.

Em estudos realizados por Azoubel et al. (2010) há relato de comportamento similar ao submeter banana em processo ultrassônico em água destilada quanto ao ganho de sólidos. Além destas, outras pesquisas realizadas por Garcia-Noguera et al. (2010), com morangos e por Fernandes e Rodrigues (2008), com banana, mamão, jenipapo, jambo, abacaxi, sapoti, pinha e melão, apresentaram resultados análogos aos encontrados neste estudo. Porém, estes últimos observaram que as frutas que apresentaram maior teor de umidade inicial perderam mais sólidos solúveis para o meio líquido do que frutas com baixo teor de umidade inicial, devido à facilidade de difusão de sólidos solúveis para o meio líquido.

As fatias de tomates submetidas à USDO em solução de sacarose apresentaram menor GS durante todo o tempo de tratamento e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). A sacarose apresentou menor GS, quando comparada ao NaCl. O baixo peso molecular do cloreto de sódio favoreceu seu incremento no interior do fruto com relação à sacarose, de alto peso molecular. Falade e Igbeka (2007) observaram efeito similar quanto ao uso de açúcares em solução, na desidratação osmótica de frutas e vegetais. Os autores enfatizaram que, como os açúcares apresentam moléculas bem maiores que os sais, costumam difundir menos para dentro do alimento e promover maior perda de umidade. Para Corrêa et al. (2010), a diminuição nas taxas de ganho de sólidos é altamente desejável durante o processo osmótico por favorecer a preservação das características originais dos frutos. Diminuição do ganho de sólidos com o tempo em processos de USDO também foi observada em trabalhos como o de Garcia-Noguera et al. (2010), em USDO de morangos cortados em metades.

O ganho de sólidos aumentou com o tempo em USDO com solução de cloreto de sódio, tendo sido a solução que conferiu maiores valores nesta variável (Tabela 3). Isso pode ser justificado pelo baixo peso molecular do sal e pela maior pressão osmótica que a solução salina exerce sobre o fruto, o qual favorece a incorporação de sólidos no tecido dos frutos pela maior facilidade de penetração das moléculas na parede celular do fruto por difusão.

### **3.3 Redução de peso (RP)**

A RP foi observada nos tratamento de desidratação osmótica assistida por ultrassom realizado em solução de sacarose e cloreto de sódio. Em água destilada e solução de maltodextrina, houve um aumento de peso, exceto para o tempo de 20 minutos na última solução, conforme demonstrado na Tabela 4.

Os resultados da redução de peso têm relação com a perda de água e o ganho de sólidos, por balanço de massa. Para os frutos tratados em água destilada e maltodextrina, os resultados de RP retratam os valores negativos da PA e GS. Para as fatias de tomates tratadas em solução de maltodextrina, no tempo de 20 minutos, a redução de peso é justificada pela pequena perda de água que o fruto apresentou para a solução osmótica.

Tabela 4 Redução de peso observada ao longo do processo osmótico assistido por ultrassom de fatias de tomates submetidos a três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30°C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz

REDUÇÃO DE PESO				
Meio líquido	Tempo [min]			
	10	20	30	40
AD	-2,18±0,3 Ca	-3,25±1,3 Da	-5,06±1,3 Da	-8,18±2,1 Db
SAC	1,04±0,1 Bc	3,21±0,5 Bb	3,70±0,0 Ba	3,57±0,0 Ba
CL	7,00±0,0 Ad	9,35±0,0 Ac	11,37±0,7 Ab	13,10±0,6 Aa
M	-2,31±1,9 Cb	0,79±0,2 Ca	-0,96±1,6 Cb	-0,01±0,2 Ca

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas, e maiúscula nas colunas, não diferem significativamente, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. AD: água destilada; SAC: sacarose; CL: cloreto de sódio e M: maltodextrina

A RP das fatias de tomates em solução de sacarose foi menor, comparada com a da solução salina. O sal proporcionou a maior redução de peso no decorrer do tratamento osmótico assistido por ultrassom, por consequência da alta perda de água. Analisando a RP em relação aos agentes osmótico e água destilada, os resultados mostram que a solução salina apresentou maiores reduções de peso, mostrando-se significativamente ( $p < 0,05$ ) diferente das demais. Em ordem decrescente de redução vieram a sacarose, a maltodextrina e, por último, a água destilada, que não favoreceu nenhuma RP.

### 3.4 Atividade de água ( $a_w$ )

Os valores iniciais de atividade de água das soluções osmóticas binárias, maltodextrina, sacarose e cloreto de sódio foram, em ordem decrescente, de 0,997; 0,986 e 0,819, respectivamente, e a água destilada, de 1,000. Estes resultados demonstram menor  $a_w$  para a solução de cloreto de sódio e, para a

solução de maltodextrina, próxima à da água. A atividade de água é inversamente relacionada à pressão osmótica. No presente caso, por consequência, o meio líquido de maior pressão osmótica é a solução de cloreto de sódio, seguida, nesta ordem, pelas soluções de sacarose, maltodextrina e pela água destilada. Como a desidratação osmótica é favorecida pela pressão osmótica, a solução de maltodextrina na concentração utilizada foi insuficiente para propiciar pressão osmótica que favorecesse os processos de transferência de massa estudados. A solução de sacarose apresentou-se como um bom agente redutor de  $a_w$  e solução adequada para a desidratação osmótica de fatias de tomate. No entanto, o agente osmótico que apresentou maior pressão osmótica e, por consequência, maior influência na redução da  $a_w$  das fatias de tomate foi o cloreto de sódio. Isto é atribuído também à alta capacidade de ionização do sal que forma a solução.

Na Tabela 5 é possível observar os valores da atividade de água de fatias de tomate atingidos no decorrer do tratamento osmótico assistido por ultrassom em quatro meios líquidos de imersão distintos. Observa-se que, para aqueles frutos submetidos ao processo osmótico em água destilada, não foi observada diminuição significativa da  $a_w$  durante os tempos de USDO, comparada com o fruto fresco. Para o tratamento realizado em solução de sacarose, os resultados revelam que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a amostra *in natura* e as amostras osmodesidratadas. Já os frutos imersos em solução de maltodextrina tiveram um aumento da  $a_w$  nos primeiros 10 e 20 minutos de processo osmótico e, nos 30 minutos, significativa redução da  $a_w$ , sendo igual à atividade de água do fruto *in natura*, já com o aumento do tempo, houve novamente um novo acréscimo da  $a_w$ . Acredita-se que as diferenças observadas sejam atribuídas ao desvio padrão dos dados, pois, como a maltodextrina não contribuiu para a PA, não deveria haver variação significativa.

Um decréscimo da atividade de água foi observado em fatias de tomates submetidos ao processo osmótico assistido por ultrassom em solução de cloreto de sódio (Tabela 5). A depressão da  $a_w$  está associada à maior perda de água (Tabela 2), com diminuição da água disponível e menor  $a_w$  de água da solução. Ainda nesta condição, foi observado o aumento do ganho de sólidos, o que favoreceu a significativa diminuição da  $a_w$ , seja pelo baixo peso molecular deste soluto e/ou pela sua alta capacidade de ionização. O decréscimo da  $a_w$  foi intensificado com o aumento de tempo do processo, confirmando, assim, os efeitos do tempo de aplicação do processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom sobre o aumento da transferência de massa.

Diante dos fatos relatados, entende-se que uma boa condição de desidratação osmótica é aquela em que o processo osmótico favorece à maior PA do alimento, menor GS e que, ainda, se consiga reduzir a  $a_w$  do alimento. Com base nisso, pode-se inferir que a solução de cloreto de sódio foi a que melhor atingiu os objetivos. Embora tenha facilitado o GS, houve maior PA e maior redução da  $a_w$  do que nas outras condições avaliadas.

Vale ressaltar o fato de o processo de USDO, por si só, não causar um abaixamento da  $a_w$  suficiente para que o produto seja considerado estável. Apesar de o processo USDO conferir a obtenção de um alimento com alto teor de água e atividade de água, similar ao produto fresco, promove a preservação de nutrientes e das propriedades sensoriais, sendo um pré-tratamento bastante adequado para processos complementares, como resfriamento, secagem ou congelamento.

Tabela 5 Atividade de água de fatias de tomates *in natura* e desidratados osmoticamente, associada com a aplicação de ultrassom, submetidos em três meios líquidos de imersão na concentração de 27,5% e em água destilada, a 30°C, sem agitação mecânica e frequência do ultrassom de 25kHz

ATIVIDADE DE ÁGUA					
Meio	Tempo [min]				
	0	10	20	30	40
AD	0,995±0,003 Ba	0,995±0,002 Ba	0,996±0,001 Ba	0,997±0,001 Ba	0,996±0,001 Ba
SAC	0,996±0,002 Bns	0,995±0,002 Cns	0,996±0,003 Bns	0,994±0,002 Bns	0,996±0,001 Bns
CL	0,999±0,001 Aa	0,987±0,002 Ab	0,980±0,000 Ac	0,971±0,004 Ad	0,965±0,003 Ae
M	0,996±0,002 Bb	0,999±0,002 Ca	1,000±0,001 Ca	0,994±0,003 Bb	0,999±0,003 Ba

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. AD: água destilada; SAC: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina e ns: não significativo

### 3.5 Efeitos dos processos de DO e USDO sobre os parâmetros de transferência de massa

O estudo de comparação entre os processos de DO e USDO foi realizado com a finalidade de identificar os efeitos dos tratamentos osmóticos com e sem aplicação do ultrassom sobre os parâmetros de transferência de massa, PA, GS e RP, em fatias de tomates. Baseado no que foi apresentado anteriormente, foram realizados estudos no tempo de 40 minutos de processo, pois, em tempos menores que este, os resultados de PA, GS e RP não foram relevantes. Na Tabela 6 é possível observar os resultados encontrados nos dois processos osmóticos distintos, DO e USDO. É importante notar que não há processo de desidratação osmótica em meio líquido de água destilada, mas, na Tabela 6, os termos USDO e DO também foram mantidos para água destilada por praticidade.

Tabela 6 Comparação da PA [%], GS [%] e RP [%] de fatias de tomates submetidas em processo de desidratação osmótica (DO) e desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO), em quatro meios líquidos de imersão distintos, em 40 minutos de processo

Condições de operação	PA [%]		GS [%]		RP [%]	
	USDO	DO	USDO	DO	USDO	DO
AD	-9,08 ± 2,0 b	-0,95 ± 1,4 a	-0,93 ± 0,3 ns	-0,87 ± 0,2 ns	-8,18 ± 2,1 b	-0,19 ± 2,1 a
SAC	3,68 ± 1,6 b	7,01 ± 1,3 a	1,40 ± 0,1 ns	2,03 ± 0,8 ns	3,57 ± 0,0 b	4,97 ± 0,7 a
CL	19,99 ± 0,0 a	16,25 ± 1,1 b	6,85 ± 0,2 a	4,53 ± 0,6 b	13,10 ± 0,6 a	11,71 ± 1,5 b
M	-0,02 ± 0,2 ns	2,49 ± 3,0 ns	0,31 ± 0,2 ns	0,33 ± 0,3 ns	-0,01 ± 0,2 ns	2,09 ± 2,4 ns

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas entre cada variável resposta analisada não diferem significativamente, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. AD: água destilada; SAC: sacarose; CL: cloreto de sódio e M: maltodextrina; ns: não significativo

A intensa PA negativa e o RP negativo em fatias de tomates imersos em água destilada e submetidas à USDO são o resultado da aplicação do ultrassom e do meio de imersão utilizado. As alterações causadas pelas ondas ultrassônicas

favoreceram a alteração na camada limite entre o alimento e o meio, e o efeito esponja, que propiciaram o ingresso do solvente para o interior do fruto, conduzindo à hidratação do material. O fenômeno que envolve a imersão de um alimento em um meio líquido com a aplicação de ultrassom não obedece sempre a uma mesma tendência, uma vez que os efeitos do ultrassom na desidratação osmótica são dependentes das condições intrínsecas do fruto e de interações entre as ondas ultrassônicas e o meio que circunda o alimento. Esta observação já havia sido relatada por Carcel et al. (2012) e Fernandes e Rodrigues (2008). Fernandes e Rodrigues (2008), por exemplo, encontraram resultados bastante distintos para diferentes frutos avaliados. Em solução de maltodextrina, pela análise de variância, foi possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos osmóticos de DO e USDO. Conforme informado anteriormente, a solução de maltodextrina, na concentração utilizada neste trabalho, não resultou em atividade de água suficiente para promover o processo osmótico entre o meio e o alimento.

Experimentos realizados com solução de sacarose alcançaram maior PA e maior RP, quando submetidos à desidratação osmótica por 40 minutos. No entanto, quando se confrontam os dados de PA em 40 minutos de DO com os tempos de 10, 20, 30 e 40 minutos de USDO (Tabela 2), é notório que, em 20 minutos de USDO, a quantidade de água perdida é equivalente aos 40 minutos de DO. Isso quer dizer que 20 minutos de USDO foram suficientes para que a perda de água fosse praticamente a mesma de 40 minutos de DO. A maior perda de água em 20 minutos de processo de USDO é fruto da alteração das resistências interna e externa à transferência de massa, promovidas pela ação do ultrassom e a formação dos canais microscópicos, os quais, a partir de 20 minutos, podem ter desestruturado o tecido do fruto, favorecendo a entrada de solventes na matriz alimentícia, diminuindo, assim, a PA ao longo do processo. No entanto, essa comparação demonstra o efeito considerável do ultrassom na



redução de aproximadamente metade do tempo de pré-tratamento, refletindo em redução no consumo de energia e custos de processamento.

Comparando-se os resultados obtidos nos dois processos em solução salina, observa-se que as variáveis analisadas apresentaram melhores resultados em processo de USDO. Os resultados expostos vêm confirmar que a intensa transferência de massa atingida em 40 minutos de processo não é atribuída exclusivamente à pressão osmótica gerada pelo gradiente de concentração do cloreto de sódio entre a solução e o fruto, pois, com os melhores resultados obtidos no processo de USDO, fica evidente a influência do tratamento ultrassônico no incremento das variáveis analisadas.

A aplicação do ultrassom em solução salina demonstrou que o US propiciou maior penetração de soluto do que o processo convencional de DO. Dessa forma, observa-se que o ultrassom pode ser utilizado com a finalidade de incorporar solutos nos poros do produto, tais como ingredientes funcionais, agentes protetores de textura, antioxidantes e antimicrobianos, o que possibilita a capacidade de modificar a formulação, desenvolver novos produtos, incrementar sua qualidade e aumentar sua vida de prateleira.

### **3.6 Parâmetros colorimétricos**

Nos Gráficos (1), (2), (3) e (4) estão ilustrados os efeitos do tempo e da solução osmótica sobre os parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $\Delta E$  de fatias de tomates submetidas ao processo osmótico assistido por ultrassom, respectivamente.

Os resultados mostram que, para o valor  $L^*$ , poucas mudanças foram observadas. O valor da claridade ( $L^*$ ) identificado no fruto *in natura* foi de 41,29. Após o processo osmótico, o menor valor observado foi de 37,53, em frutos tratados em água destilada por 30 minutos e o valor mais alto de 42,99, no

caso de maltodextrina, por 40 minutos. Pode-se dizer que as amostras imersas em água destilada e solução de maltodextrina apresentaram uma diminuição da claridade com o avanço do tempo de USDO, quando comparadas com os frutos frescos. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da opacidade das amostras, decorrente, provavelmente, dos efeitos do escurecimento enzimático ocorrido no tecido do fruto. Entretanto, observou-se que fatias de tomate tratadas com solução salina apresentaram um aumento de claridade. Parece que a perda de claridade, neste caso, é o resultado da perda de água decorrente do processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. Para a solução de sacarose, o soluto facilitou a manutenção da cor, pois o produto, após o tratamento osmótico, apresentou valores de  $L^*$  próximos aos encontrados no fruto fresco, exceto para o tempo de 40 minutos, em que houve uma redução no valor de  $L^*$ .

Para o fruto fresco, o valor médio de  $^{\circ}h$  encontrado foi de 44,85. O maior valor de  $H^*$  encontrado após o processo osmótico foi em solução de maltodextrina 52,44, no tempo de 30 minutos, e o menor foi encontrado no tempo de 40 minutos em solução NaCl, 40,91, quando comparados com a média dos frutos frescos. Os resultados demonstram que os frutos que apresentaram maior perda de água na desidratação osmótica assistida por ultrassom (Tabela 3) apresentaram menores valores de  $^{\circ}h$ . Isso pode ser explicado pelo aumento da concentração de sólidos e pigmentos, demonstrando o efeito das variáveis, tempo e solução osmótica, sobre a tonalidade da cor dos tomates.

As diferentes soluções utilizadas no tratamento osmótico com aplicação de ultrassom e o tempo de imersão também afetaram os parâmetros colorimétricos  $C^*$  e a diferença total de cor (Gráficos 3 e 4). Em água destilada, os frutos, após serem submetidos ao tratamento, tiveram valores de  $C^*$  inferiores, quando comparados com os frutos frescos. Tal fato pode estar relacionado com a maior perda de sólidos no tratamento com água destilada. Além desses, podem

também estar perdendo alguns pigmentos que, concomitantemente, podem ter afetado a diminuição da intensidade de cor das amostras.

Quando se utilizou a maltodextrina como agente desidratante, nota-se que, em alguns tempos, houve a manutenção da saturação da amostra *in natura*, como é o caso dos tempos de 20 e 40 minutos sem solução de maltodextrina. Nos demais tempos, 10 e 30 minutos em solução de maltodextrina, houve um aumento do valor de  $C^*$ , indicando que a cor tornou-se mais intensa. Em solução salina, observou-se, em todos os tempos, uma redução do valor de  $C^*$ . Isso pode ter relação com o escurecimento enzimático ou oxidação, o qual causou a redução de  $C^*$  das amostras processadas.

Em solução de sacarose, observou-se um aumento do valor de croma durante os 40 minutos de processo osmótico, evidenciando a intensificação da cor durante a desidratação osmótica assistida por ultrassom.

Os valores da diferença total de cor entre os frutos frescos e as amostras submetidas ao processo de USDO, avaliadas em soluções osmóticas e em água destilada, não diferiram estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ). Isto é interessante no que diz respeito à manutenção das características de coloração das amostras desidratadas, quando comparadas com o fruto fresco.

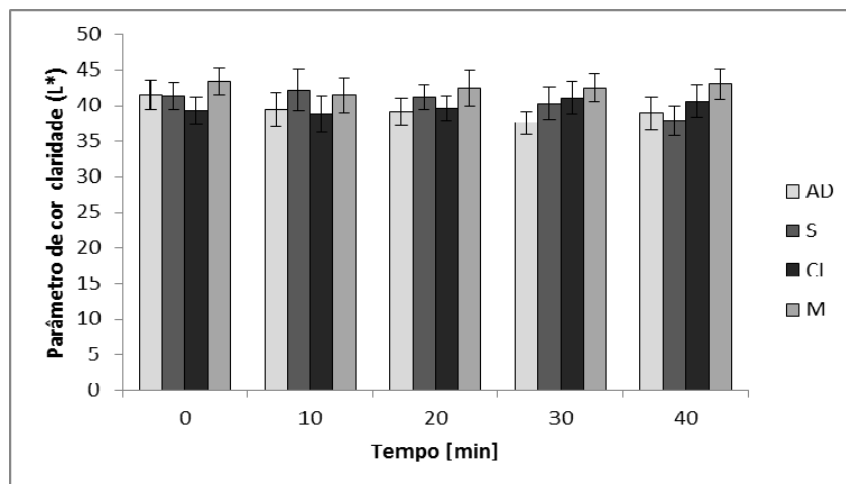


Gráfico 1 Parâmetros de cor claridade ( $L^*$ ) de amostras de tomate *in natura* e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. AD: água destilada; S: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina

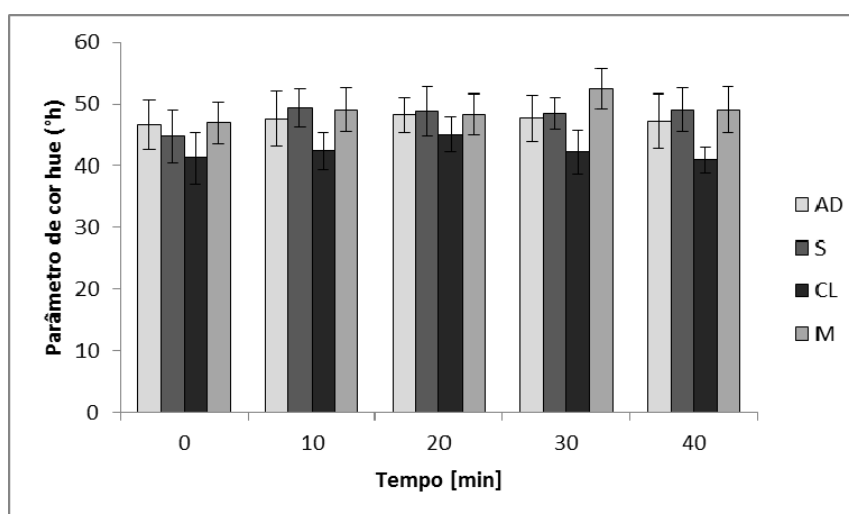


Gráfico 2 Parâmetro de cor hue ( $^{\circ}h$ ) de amostras de tomate *in natura* e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. AD: água destilada; S: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina

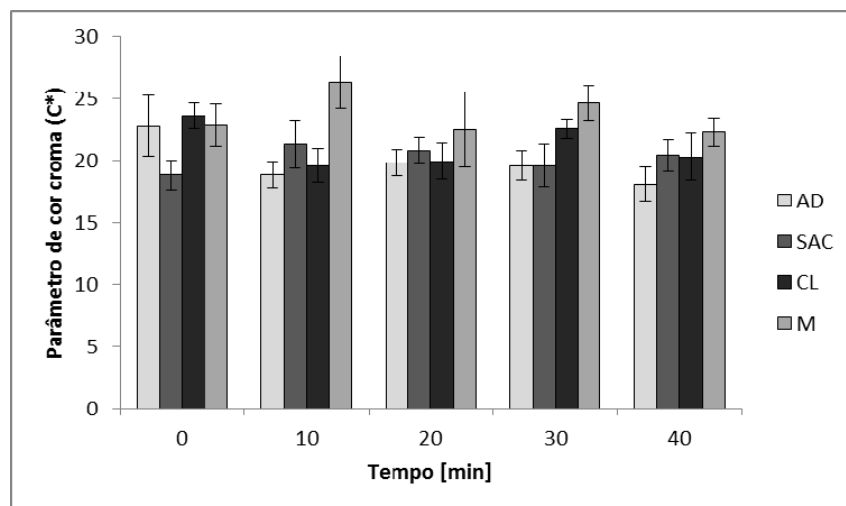


Gráfico 3 Parâmetro de cor croma ( $C^*$ ) de amostras de tomate *in natura* e de tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. AD: água destilada; S: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina

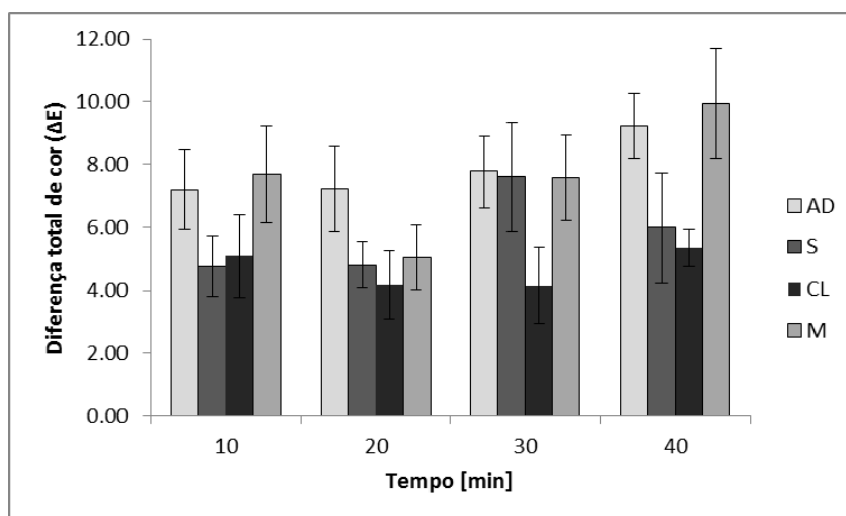


Gráfico 4 Valores da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) entre amostras de tomate *in natura* e tomates desidratados em soluções osmóticas e em água destilada, durante 40 minutos de processo de USDO. AD: água destilada; S: sacarose; CL: cloreto de sódio; M: maltodextrina

### 3.7 Microscopia eletrônica de varredura

Para se observar as alterações estruturais causadas pelo tratamento osmótico assistido por ultrassom no tecido de tomates, utilizou-se a microscopia eletrônica de varredura. A técnica permite melhor compreensão das modificações originadas pelo processo. Dessa forma, avaliaram-se as imagens de amostras frescas e tratadas com diferentes agentes osmóticos com mesma concentração e em água destilada.

Conforme mostra a micrografia eletrônica de varredura da amostra de tomate *in natura* (Figura 1), o tecido do fruto apresentou-se com células túrgidas, com parede celular definida e organizada.

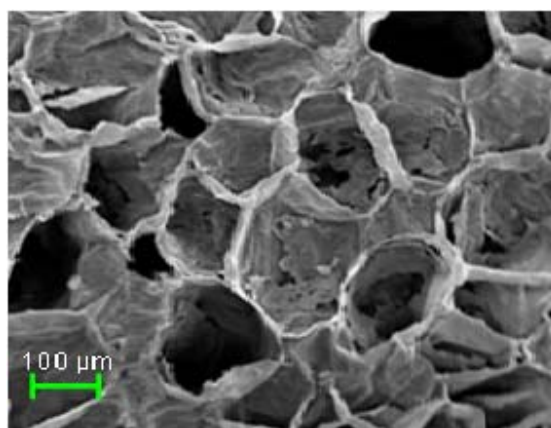


Figura 1 Micrografia eletrônica de varredura de fatia de tomate *in natura* (150X)

Quando comparados ao tecido do tomate *in natura* (Figura 1) observa-se que o processo osmótico e a aplicação das ondas ultrassônicas causaram severos danos estruturais aos frutos (Figuras 2 A, B, C e D). Tais alterações foram provocadas pela desidratação osmótica e aplicação do ultrassom, os quais aceleram e facilitam a transferência de massa, ocasionando, assim, uma intensa alteração na estrutura celular. Resultados semelhantes foram relatados por

Fernandes, Gallão e Rodrigues (2008) em melão; Pereira (2006), em goiaba e Giraldo et al. (2003), em tecidos de manga.

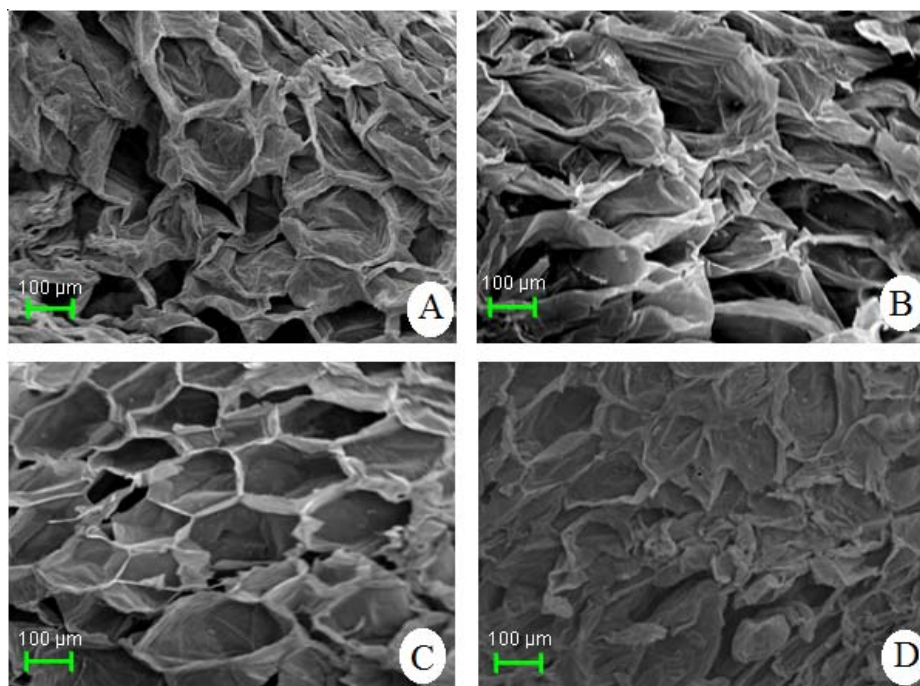


Figura 2 Micrografia eletrônica de varredura de fatias de tomates submetidas ao processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO) em quatro meio líquidos distintos. (A) maltodextrina (27,5%), por 20 minutos (USDO); (B) água destilada, 20 minutos (USDO); (C) sacarose (27,5%), por 20 minutos(USDO) e (D) cloreto de sódio (27,5%), por 20 minutos (USDO) (150x)

Durante o tratamento osmótico assistido por ultrassom, as micrografias mostraram a distorção das paredes celulares e o colapso da estrutura celular de amostras de tomates (Figuras 2A-D). Nota-se que, em alguns tratamentos USDO, as células foram mais afetadas pelas condições às quais foram submetidas, como é o caso da sacarose e do cloreto de sódio, comparados a outros tratamentos.

Em geral, percebe-se que quanto maior PA e o maior GS do material (Tabelas 3 e 4), mais intenso o colapso do tecido durante o tratamento USDO (Figuras 2C e D). Na Figura 2D é possível observar o efeito do NaCl na alteração da estrutura do fruto, o que é devido à maior PA e ao maior GS, citados anteriormente nessa condição. Em solução de sacarose (Figura 2C) é observado menor colapso do tecido dos frutos, quando comparado com o NaCl, mas, mesmo em menor intensidade, o colapso é evidenciado. Se comparados com os tomates tratados em solução contendo maltodextrina e em água destilada (Figura 2A e B), respectivamente, esses apresentaram um aumento no turgor celular, devido, provavelmente, à significativa PA negativa e ao GS negativo ocasionados pelo tratamento de USDO. Nota-se, ainda, que esses frutos sofreram menores deformações celulares do que os que foram imersos em solução de cloreto de sódio e sacarose.

Os resultados obtidos corroboram os dados relatados por Khin, Zhou e Perera (2007), que observaram que o colapso do tecido das maçãs foi devido à perda de água e à absorção de soluto. Estes autores verificaram também que o tamanho molecular dos agentes osmóticos impede o colapso das células. Segundo eles, as amostras tratadas com solução de sacarose (65%) apresentaram melhor manutenção da estrutura das células, sem colapso, do que em comparação com as tratadas com solução de dextrose.

Fatias de tomates submetidas à USDO em solução de sacarose e cloreto de sódio apresentaram diminuição no teor de água e no volume celular. Segundo Mason, Paniwnyk e Lorimer (1996), esse fato pode ser atribuído à aplicação das ondas de ultrassom, as quais facilitam a permeabilidade na membrana celular e a perda de água. A maior perda de firmeza (Figura 2D) em processo de USDO em solução de cloreto de sódio pode ser o resultado de uma combinação de maior perda de turgor, devido à maior perda de água (Tabela 2). Além disso, esta



amostra apresentou maior dano tecidual visível, quando comparados com os demais tratamentos (Figura 2).

#### 4 CONCLUSÃO

Ao se comparar o processo convencional de DO e USDO, foi possível verificar a influência do ultrassom sobre as altas taxas de transferência de massa em relação à PA, GS e RP. Atribuem-se esses resultados à alteração da camada limite entre o alimento e o meio líquido e à formação de canais microscópicos, causada pela aplicação de ultrassom, decorrentes dos fenômenos de cavitação e efeito esponja.

Quanto ao agente osmótico, utilizado no processo de USDO, o cloreto de sódio foi o que mais favoreceu o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom, conduzindo a maiores PA, RP, menor  $a_w$  dos frutos, sem alterações significativas de cor ao longo do tempo de processo, ainda que, nessa condição, tenha favorecido o GS. O tempo de ultrassom teve influência positiva sobre a transferência de massa. Em solução de cloreto de sódio, considerou-se como melhor tratamento de USDO o tempo de 40 minutos. Entretanto, a maior razão PA/GS foi obtida em 20 minutos de USDO, tanto em soluções de sacarose quanto em soluções de cloreto de sódio.

Em relação à atividade de água e a microestrutura avaliadas, percebe-se que maior redução da  $a_w$  foi atingida em solução de cloreto de sódio. Devido aos maiores efeitos da USDO nessa condição, foi possível observar maiores efeitos sobre a microestrutura do fruto, decorrentes da maior transferência de massa, conduzida pelo efeito da solução osmótica e da aplicação das ondas de ultrassom.

## REFERÊNCIAS

- AL-HARAHSEH, M.; AL-HARAHSEH, A. H.; MAGEE, T. R. A. Microwave drying kinetics of tomato pomace: effect of osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 48, n. 1, p. 524-531, Jan. 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16<sup>th</sup> ed. Arlington, 1995. 1075 p.
- \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 18<sup>th</sup> ed. Arlington, 2002. 1094 p.
- AZOUBEL, M. P. et al. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 2, p. 194-198, Mar. 2010.
- CÁRCEL, J. A. et al. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 110, n. 2, p. 200-207, May 2012.
- CORRÊA, J. L. G. et al. Desidratação osmótica de tomate de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2008.
- \_\_\_\_\_. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 13, p. 1556-1561, Aug. 2011.
- \_\_\_\_\_. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498-504, Aug. 2010.
- DERMESONLOUOGLOU, E. K.; GIANNAKOUREOU, M. C.; TAOUKIS, P. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 272-280, Jan. 2007.
- FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. **Food Reviews International**, New York, v. 23, n. 4, p. 373-405, Aug. 2007.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

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

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 12, p. 1509-1516, Jan. 2008.

\_\_\_\_\_. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 2, p. 261-267, Feb. 2007.

FUENTE-BLANCO, S. et al. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics**, Surrey, v. 44, n. 1, p. 523-527, Dec. 2006.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. **Drying Technology**, New York, v. 28, n. 2, p. 294-303, Mar. 2010.

GARCIA-PÉREZ, J. V. et al. Modeling ultrasonically assisted convective drying of eggplant. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 13, p. 1499-1509, Aug. 2011.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tomate**.

Disponível em:

<[http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1394&Itemid=64](http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1394&Itemid=64)>. Acesso em: 21 fev. 2011.

KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. O. Impact on process conditions and coating on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 3, p. 817- 827, Abr. 2007.

MASON, T. J. Power ultrasound in food processing: the way forward. In: \_\_\_\_\_. **Ultrasounds in food processing**. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1998. p. 104-124.

MASON, T. J.; PANIWNKYK, L.; LORIMER, J. P. The use of ultrasound in food technology. **Ultrasounds Sonochemistry**, Oxford, v. 3, n. 3, p. 253-256, Nov. 1996.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 103, n. 1, p. 29-37, Aug. 2011.

MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. do A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 86, n. 1/2, p. 199-205, Feb. 2002.

PANADÉS, G. et al. Influence of operating conditions on sensory quality of minimally processed osmotically dehydrated guava. **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 26, n. 1, p. 91-103, May 2003.

PEREIRA, L. M. **Influência da desidratação osmótica com aditivos na estrutura celular e na manutenção da qualidade de goiabas minimamente processadas**. 2006. 202 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PEREIRA, L. M. et al. Influence of modified atmosphere packaging and osmotic dehydration on the quality maintenance of minimally processed guavas. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, n. 4, p. 172-177, May 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

RASTOGI, N. K. et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 13, n. 2, p. 48-59, Feb. 2002.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration: determination of moisture and solute diffusion coefficients from concentration profiles. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 82, n. 1, p. 44-48, Mar. 2004.

RODRIGUES, A. C. C. et al. Impact of modified atmosphere packaging on the osmodehydrated papaya stability. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 30, n. 5, p. 563-581, Oct. 2006.

RODRIGUES, S. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. **Journal of the Science of the Food and Agriculture**, Easton, v. 89, n. 4, p. 665-670, Jan. 2009.

SHI, J. et al. Application of osmotic treatment in tomato processing: effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, Barking, v. 30, n. 9, p. 669-674, Nov. 1997.

TABELA brasileira de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: <[http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf?arquivo=taco\\_4\\_versao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2012.

TARLETON, E. S.; WAKEMAN, R. J. Ultrasonically assisted separation process. In: POVEY, M. J. W.; MASON, T. J. (Ed.). **Ultrasounds in food processing**. Berlin: Springer, 1998. p. 193-218.

TOGRUL, T. I.; ISPIR, A. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, n. 10, p. 2611-2621, Oct. 2007.

TONON, R. V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

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

### CAPÍTULO 3

#### **Cinética de transferência de massa de tomates desidratados osmoticamente com uso de ultrassom**

##### **RESUMO**

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de ultrassom e diferentes soluções osmóticas sobre a transferência de massa de fatias de tomates desidratadas osmoticamente. As cinéticas de redução de peso (RP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) foram obtidas em soluções binárias e ternárias, utilizando, como agentes osmóticos, sacarose, maltodextrina e cloreto de sódio, nas concentrações de 27,5%, 27,5% e 10%, respectivamente, nas soluções binárias e a combinação de sacarose/cloreto de sódio (27,5%/10%) e maltodextrina/cloreto de sódio (27,5%/10%) como soluções ternárias. O uso das ondas de ultrassom na frequência de 25 kHz, nos 20 minutos iniciais do processo osmótico, também foi objeto de estudo. As cinéticas foram avaliadas nos tempos de 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos de processo de desidratação osmótica (DO), com e sem aplicação de ultrassom no início da DO. A atividade de água ( $a_w$ ) das soluções e a dos materiais foi avaliada ao final de cada tratamento. Soluções ternárias e aplicação do ultrassom conduziram maior PA de fatias de tomates osmodesidratadas, assim como também maior RP. Além disso, observou-se maior redução da  $a_w$  nessas condições. Dentre estas, o GS foi mais reduzido em solução de maltodextrina/cloreto de sódio, solução que também favoreceu o ganho de NaCl. Dois modelos matemáticos de difusão foram testados para a obtenção da difusividade, o modelo unidirecional de Fick e o modelo hidrodinâmico de Fito. A difusividade efetiva obtida pelo modelo hidrodinâmico foi a que melhor reproduziu os efeitos das variáveis sobre a cinética de transferência de massa, apresentando os melhores coeficientes de determinação e menor erro padrão do que o modelo de difusão unidirecional.

Palavras-chave: Desidratação de frutas. Soluções osmóticas. Ondas ultrassônicas. Difusividade efetiva.

## ABSTRACT

The present study was to evaluate the influence of the application of ultrasound and various osmotic solutions on the mass transfer of osmotically dehydrated tomato slices. The kinetics of weight reduction (WR), water loss (WL), solid gain (SG) were obtained in binary and ternary solutions using, as osmotic agents, sucrose, maltodextrin and sodium chloride in concentrations of 27.5%, 27.5% and 10% respectively, in binary solutions and the combination of sucrose / sodium chloride (27.5% / 10%), maltodextrin / sodium chloride (27.5% / 10%) as a solution ternary. The use of ultrasound waves at a frequency of 25 kHz, in the first 20 minutes of the osmotic process, was also the object of study. The kinetics were evaluated on 20, 30, 45, 60, 90, 120 and 180 minutes of osmotic dehydration (DO) with and without the application of ultrasound at the start of the DO. The water activity ( $a_w$ ) of the solutions and materials were evaluated at the end of each treatment. Ternary solutions and application of ultrasound lead greater WL slices osmodesidratadas tomatoes, as well as higher WR. Furthermore, there was a greater reduction in these conditions  $a_w$ . Among these, the SG was lower in a solution of maltodextrin / sodium chloride solution, which also favors the gain of NaCl. Two mathematical models of diffusion were tested to obtain the diffusivity, Fick's unidirectional model and hydrodynamic model of Fito. The effective diffusivity was obtained by the hydrodynamic model that best reproduced the effects of variables on the kinetics of mass transfer, with the highest coefficients of determination and lower standard error than the one direction diffusion model.

**Keywords:** Dehydration of fruits. Osmotic solutions. Ultrasonic waves. Effective diffusivity.



## 1 INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica (DO) tem se mostrado uma técnica eficaz como pré-tratamento em processos como secagem, congelamento e resfriamento, uma vez que propicia redução de umidade e minimiza a perda de nutrientes, como vitaminas, minerais e mesmo de licopeno (antioxidante responsável pela cor vermelha do tomate), além de manter a textura do produto mais próxima ao do produto fresco (RAOULT-WACK, 1994; TORREGGIANI, 1993). Trata-se de um processo brando, com imersão do alimento em solução hipertônica.

Esta solução com elevada pressão osmótica promove uma força motriz para a difusão da água por osmose pela membrana celular (RASTOGI et al., 2002). A solução hipertônica pode ser composta por um ou mais agentes osmóticos. Os solutos mais utilizados no processo de DO de frutas e vegetais são açúcares e sais, principalmente sacarose e cloreto de sódio (BORIN et al., 2008; GIRALDO et al., 2003; MAYOR et al., 2006; TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004). Alguns autores relataram a utilização de soluções ternárias (misturas de açúcares e sais) como um método vantajoso, por conduzir a maiores perdas de água com menores ganhos de sólidos e também por proporcionar um aumento da concentração da solução total (BOHUON et al., 1998; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

A utilização da desidratação osmótica tem se renovado e vem aumentando, principalmente como pré-tratamento de secagem em técnicas combinadas, como, por exemplo, a desidratação osmótica assistida por ultrassom (USDO) (CÁRCEL et al., 2007; FERNANDES; GALLAO; RODRIGUES, 2008, 2009; GARCIA-NOGUERA et al., 2010). O uso do ultrassom (US) no processo osmótico pode auxiliar tanto na desidratação osmótica com o aumento das taxas de transferência de massa, como no processo

posterior de secagem na redução do tempo total de processamento (AZOUBEL et al., 2010; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; FUENTE-BLANCO et al., 2006). As vantagens dessa tecnologia estão relacionadas com o aumento da difusividade da água, devido à formação de canais microscópicos nos alimentos, provenientes das alterações causadas pelo ultrassom.

Os microcanais propiciam o movimento de líquido no interior do alimento (GARCIA-NOGUERA et al., 2010; MULET et al., 2003; SORIA; VILLAMIEL, 2010). Eles surgem pela ocorrência dos fenômenos de cavitação e efeito esponja, os quais são responsáveis pela redução da resistência externa à transferência de massa para o interior do alimento e a redução à resistência interna, com aumento da difusividade, tanto da umidade quanto de solutos, respectivamente (CÁRCEL et al., 2007; FERNANDES; RODRIGUES, 2007). No entanto, o que se tem observado é que os resultados deste processo são altamente dependentes das características intrínsecas dos alimentos, bem como do período de exposição ao ultrassom e de variáveis inerentes ao processo osmótico, como concentração e temperatura da solução e tipo de agente osmótico (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; GARCIA-NOGUERA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009).

Os modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de desidratação osmótica, normalmente, se baseiam na lei de difusão de Fick (CORRÊA et al., 2008, 2010; FALADE; IGBEKA, 2007; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Entretanto, a aplicação do ultrassom no início do processo apresenta comportamento similar à aplicação de pulso de vácuo, pois há uma alteração das condições hidrodinâmicas, base do modelo matemático de Fito (1994), em que, segundo ele, o aumento da taxa de transferência de massa não pode ser explicado de forma satisfatória utilizando-se os mecanismos clássicos de difusão. Sendo assim, a consideração do mecanismo hidrodinâmico associado com a lei de Fick pode promover uma

melhor representação do fenômeno de transferência de massa no processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom.

Este trabalho foi realizado com os objetivos principais de estudar os efeitos do uso do ultrassom no processo de desidratação osmótica e diferentes soluções osmóticas em fatias de tomates cv. Carmem, durante 180 minutos de processo. Avaliou-se o processo osmótico em relação: (1) às cinéticas de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP), (2) à atividade de água ( $a_w$ ) das soluções e dos materiais osmodesidratados, (3) ao ganho de cloreto de sódio em soluções ternárias e (4) à difusividade efetiva através de dois modelos distintos, modelo difusão unidirecional e modelo hidrodinâmico, com a finalidade de fazer uma comparação entre eles.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Frutos de tomates (*Lycopersicum esculentum* cv. Carmem) foram adquiridos no comércio de Lavras, Minas Gerais, Brasil e classificados com o mesmo padrão de maturidade, tamanho, intensidade de cor e firmeza, de forma a se obter amostras relativamente homogêneas.

A composição centesimal química dos tomates utilizados nos ensaios (Tabela 1) foi determinada de acordo com a Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2002). Os resultados obtidos foram próximos aos apresentados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TABELA..., 2011).

Tabela 1 Composição química e valor energético de tomates (*Lycopersicum esculentum* cv. Carmem)

Análises	Valor médio ± desvio padrão
Umidade [%]	95,54±0,02
Valor energético [kcal]	11,5±0,00
Lipídeos [g]	0,04±0,00
Proteínas [g]	0,53±0,02
Fibras [g]	1,24±0,13
Carboidratos [g]	2,25±0,00
Cinzas [g]	0,46±0,01

## 2.2 Preparo das amostras

Após seleção dos frutos, procedeu-se à higienização dos mesmos em solução de hipoclorito de sódio ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ), por 15 minutos, seguidos de enxague em água corrente. A fim de favorecer o processo de transferência de massa na epiderme do tomate, os frutos foram, então, imersos em uma solução com oleato de etila 2% (v/v) e hidróxido de sódio 5% (m/m) (SHI et al., 1997), durante 20 minutos, com subsequente lavagem com água corrente. Com a necessidade de manter a firmeza das fatias, optou-se pela manutenção da epiderme. Dessa forma, a transferência de massa foi favorecida pelas fissuras na epiderme do tomate, causada pelo tratamento químico. Os frutos foram cortados ao meio e as sementes retiradas. Então, com o auxílio de um molde de aço inox em formato retangular, cortaram-se os frutos em placas planas, nas dimensões de 4,0 cm de comprimento e 2,0 cm de largura, mantendo-se a espessura da polpa do fruto ( $0,80 \pm 0,20 \text{ cm}$ ), a qual foi corrigida com auxílio de faca de inox e aferida com paquímetro digital. A geometria (forma e tamanho) foi escolhida para que as amostras pudessem ser tratadas como uma placa semi-infinita, tal como requer o modelo de difusão unidirecional utilizado no estudo.

## 2.3 Caracterização dos materiais

As amostras *in natura* e desidratadas osmoticamente foram caracterizadas em relação ao teor de água, à atividade de água, à perda de água, ao ganho de sólidos e à redução de peso, com base nas metodologias descritas a seguir. As análises foram realizadas com três repetições.

## 2.4 Análises físicas e químicas

### 2.4.1 Teor de água e atividade de água

O teor de água foi obtido por secagem em estufa a vácuo, a 70 °C, por 48 horas, de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1995). A atividade de água, dos frutos frescos, tratados e da solução foi determinada com uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA), à temperatura de 25 °C (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

### 2.4.2 Determinação de cloreto de sódio

O cloreto de sódio foi quantificado no caso das soluções ternárias, para mensurar a absorção do sal na matriz alimentícia. O conteúdo de sal foi determinado pelo método de Ranganna (1977). Pesaram-se 10 g de tomate para posterior trituração e adicionaram-se 100 mL de água destilada. O material foi homogeneizado e agitado por 30 minutos, sendo transferido, em seguida, para um balão volumétrico de 250 mL e aferido. Filtrou-se o homogenato e uma alíquota de 50 mL foi titulada com nitrato de prata 0,1 N, usando-se 0,5 mL de cromato de potássio como indicador. Na titulação em branco utilizaram-se 50 mL de água destilada e também 0,5 mL de indicador. O conteúdo de sal foi calculado pela Equação (1).

$$\text{NaCl}(\%) = \frac{(V_t - V_{bt}) \times N \times V \times 58,45 \times 100}{V_A \times m \times 1000} \quad (1)$$

em que  $V_t$  – volume gasto na titulação da amostra [mL];  $V_{bt}$  – volume gasto na titulação do branco [mL];  $N$  – normalidade do álcali [ $\text{gmL}^{-1}$ ];  $V$  – volume aferido [mL];  $V_A$  – volume da alíquota [mL] e  $m$  – massa da amostra [mL] .

## 2.5 Desidratação osmótica

Os tratamentos osmóticos foram realizados combinando-se a aplicação do ultrassom nos 20 minutos iniciais do processo em três soluções osmóticas binárias e em duas soluções ternárias. As soluções foram preparadas, em temperatura ambiente, com água mineral nas seguintes concentrações: (a) 27,5% de sacarose, (b) 27,5% de maltodextrina, (c) 10% de cloreto de sódio, (d) mistura de solução de sacarose 27,5% e solução de cloreto de sódio 10% e (e) mistura de solução de maltodextrina 27,5% e solução de cloreto de sódio 10%. As concentrações foram baseadas no trabalho de Heredia et al. (2009).

Utilizou-se água mineral por questões práticas, pois, em um uso aplicado, seria o tipo de água utilizado. A comparação da utilização de NaCl em solução binária com solução ternária foi realizada com a finalidade de observar o efeito da sacarose e da maltodextrina em relação ao efeito desidratante do NaCl sobre os parâmetros de transferência de massa. Além desses, foram realizados tratamentos sem aplicação do ultrassom no início do processo com as mesmas soluções, a fim de verificar a influência do tratamento sônico no processo osmótico.

Os experimentos, com aplicação do ultrassom foram realizados em erlenmeyers de 250 mL, com imersão total das amostras nas soluções correspondentes. Os frascos foram colocados em banho ultrassônico (marca Unique, modelo USC 2850 A), a 30 °C, com frequência ultrassônica de 25 kHz, sem agitação mecânica. A razão fruta:solução foi mantida em 1:4 (m/m) em todos os experimentos, para evitar efeitos de diluição (FERNANDES;

GALLÃO; RODRIGUES, 2008; FERNANDES; RODRIGUES, 2008; GARCIA-NOGUERA et al., 2010). A desidratação osmótica convencional foi realizada nos frascos os quais foram imersos em banho. Todos os experimentos de desidrataação osmótica convencional e com ultrassom foram realizados a 30°C, durante 180 minutos e em triplicata.

Avaliaram-se, em ambos os processos, as variáveis respostas (PA, GS, RP) nos tempos de 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos de tratamento osmótico. Ao final de cada intervalo, as amostras foram retiradas dos frascos e imersas em um banho de gelo, por alguns segundos, para cessar o processo de desidrataação osmótica. A água superficial residual foi removida por secagem com papel toalha e as amostras de tomates seguiram para análises.

### 2.5.1 Perda de água, ganho de sólidos e redução de peso

As variáveis respostas perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP) foram avaliadas durante todos os tempos da cinética e determinadas pelas Eq. (2), (3) e (4).

$$PA(\%) = \frac{X_0^W M_0^o - X_f^W M_f^o}{M_0^o} \times 100 \quad (2)$$

$$GS(\%) = \frac{x_f^{ST} M_f^o - x_0^{ST} M_0^o}{M_0^o} \times 100 \quad (3)$$

$$RP(\%) = \frac{M_0^o - M_f^o}{M_0^o} \times 100 \quad (4)$$



em que  $M_0^0$  e  $M_f^0$  são a massa da amostra antes e após o tratamento (g);  $X_0^w$  e  $X_f^w$  são o teor de água da amostra inicial e final do tratamento em base úmida (g água g fruto<sup>-1</sup>);  $x_0^{ST}$  e  $x_f^{ST}$  são o conteúdo inicial de sólidos das amostras antes e após o tratamento (g sólido g fruto<sup>-1</sup>).

## 2.6 Modelos matemáticos – coeficiente de difusão

O modelo matemático usualmente utilizado para descrever processos de desidratação osmótica é baseado na lei de difusão de Fick (Eq. 5 a 9) (CORRÊA et al., 2008, 2010; FALADE; IGBEKA, 2007; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004), mas, em processos que envolvem retirada de água e de ar interno do alimento por pulso de vácuo, tem sido utilizado o modelo hidrodinâmico de Fito (Eq. (10) a (17)). Como, na desidratação osmótica assistida por ultrassom, há a retirada de água e ar do interior do alimento por compressão e expansão, foram testados ambos os modelos (Fick e hidrodinâmico) para ajuste de DO assistida por ultrassom.

### 2.6.1 Método 1- Modelo de difusão unidirecional

O modelo é baseado na equação unidirecional de Fick:

$$\frac{\partial MC(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{\text{eff}} \frac{\partial MC(t)}{\partial z} \right) \quad (5)$$

em que  $MC(t)$  é a quantidade de água ou de sólidos no instante  $t$ , na posição  $z$ ,  $D_{\text{eff}}$  é a difusividade efetiva e  $z$  é uma coordenada genérica.

Considerou-se a amostra sólida como uma placa de espessura  $2L$ , com condição de quantidade de água e/ou sólidos inicial uniforme,  $MC_{(z,0)} = MC_0$ , as condições de contorno com simetria de concentração,  $\left. \frac{\partial MC(t)}{\partial t} \right|_{z=0} = 0$  e quantidade de equilíbrio na superfície  $MC_{(L,t)} = MC_{eq}$ , a equação unidirecional de Fick (CRANK, 1975) torna-se

$$W_{w \text{ ou } s} = \left( \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}, w \text{ ou } s} \frac{t}{4L^2}\right) \right) \quad (6)$$

em que  $D_{\text{eff}, w \text{ ou } s}$  é a difusividade efetiva da água ou sólidos,  $i$  é o número de termos da série,  $L$  é a meia espessura da amostra e  $W_{w \text{ ou } s}$  é a quantidade adimensional de água ou sólidos, dada pela equação (7).

$$W_{w \text{ ou } s} = \frac{\overline{MC(t)} - MC_{eq}}{MC_0 - MC_{eq}} \quad (7)$$

em que, de acordo com a equação de Peleg (1988),

$$\overline{MC}_t = MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (8)$$

com a aproximação de equilíbrio assintoticamente (PALOU et al., 1993),

$$MC_{eq} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \right) = MC_0 \pm \frac{1}{k_2} \quad (9)$$

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

### 2.6.2 Método 2 - Modelo hidrodinâmico

Este modelo matemático considera a aproximação de equilíbrio (Equação 10):

$$z_{\infty}^{SS} = y_{\infty}^{SS} \quad (10)$$

em que  $z_{\infty}^{SS}$  é a fração mássica de sólidos solúveis no alimento e  $y_{\infty}^{SS}$  a fração mássica de sólidos solúveis na solução osmótica, ambos no estado de equilíbrio. Como somente há transferência de dois componentes, água e sólidos solúveis, forma-se um sistema binário com igualdade de resultado, a difusividade efetiva (ou pseudodifusividade):

$$D_{\text{eff } w \text{ ou } s} = D_{\text{eff } w} = D_{\text{eff } s} \quad (11)$$

As mudanças na composição são funções da força motriz reduzida,  $Y$ , dada por

$$Y = Y_t^w = Y_t^s = \frac{z_t^w - z_{\text{eq}}^w}{z_0^w - z_{\text{eq}}^w} \quad (12)$$

A variação na composição da fase líquida do alimento (FLP) relacionada ao mecanismo hidrodinâmico (HDM) ocorre no princípio do processo ( $t=0$  para  $t=t_{\text{HDM}}$ ), em que este mecanismo é dominante e é dependente de gradientes de pressão

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{\text{HDM}}} \cong k \quad (13)$$

Após este período, o fenômeno é modelado com a equação de Fick para uma camada semi-infinita e curto tempo (CRANK, 1975), com a aproximação sugerida por Fito e Chiralt (1997).

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) \left( \pi^{-0,5} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \text{ierfc} \frac{iL}{\sqrt{D_{\text{eff}} t}} \right) \quad (14)$$

A Equação (13) pode ser simplificada no primeiro termo, resultando na equação (14):

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (15)$$

Estes dois efeitos são acoplados, considerando-se os efeitos dos mecanismos hidrodinâmico e pseudofickiano,

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t} = k + 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (16)$$

Os parâmetros  $D_{\text{eff}}$  e  $k$  são obtidos, para cada experimento, por linearização da equação (15), ajustando por uso de logaritmo, resultando em

$$1 - Y_t^w \Big|_{PD, t > 0} \text{ versus } t^{0.5}.$$

Os critérios para avaliação do modelo que resultaram em melhor ajuste foram a estimativa de erro padrão (SE) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OBS} - \text{PRED})^2}{n}} \quad (17)$$

em que OBS é o valor observado, PRED é o valor predito e  $n$  é o número de observações.

## 2.7 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, em esquema fatorial 2x4, em que foram avaliados em dois tratamentos osmóticos (com e sem aplicação do ultrassom) e quatro meios líquidos de imersão. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), de acordo com o modelo da Eq. (18). Diferenças significativas foram determinadas para  $p < 0,05$  (nível de confiança de 95%). O teste de Scott-Knott foi aplicado para comparação das médias, em que ocorreram diferenças significativas em termos das variáveis respostas analisadas. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

$$y_{ij} = \mu + s_i + t_j + st_{ij} + e_{ij} \quad (18)$$

em que  $e_{ij}$  é o erro experimental  $N \sim (0, \sigma_e^2)$ ;  $s_i$  é o efeito da solução osmótica;  $st_{ij}$  é o efeito da interação entre o efeito do tempo e da solução osmótica;  $t_j$  é o efeito do tempo;  $\mu$  a constante associada aos dados e  $y_{ij}$  é o valor observado na solução osmótica  $i$  no tempo  $j$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Perda de água (PA)

A cinética da perda de água a partir de fatias de tomates submetidos a diferentes soluções osmóticas é apresentada nos Gráficos 1 e 2. No Gráfico 1, avaliou-se a PA em soluções binárias, compostas por sacarose ou maltodextrina. O uso de solução de sacarose na concentração de 27,5% conduziu à maior PA de fatias de tomates submetidas a DO convencional e um maior acréscimo foi observado quando o ultrassom foi aplicado no início do processo osmótico. No entanto, quando a solução binária foi composta por maltodextrina, foram observados menores efeitos de desidratação osmótica sobre as fatias de tomates.

Conforme pode ser observado no item 3.4, capítulo 2 deste trabalho, a concentração de 27,5% para a maltodextrina resultou em solução com atividade de água de 0,997 que, conseqüentemente, não levou a uma pressão osmótica suficiente para que o processo de transferência de massa ocorresse em maior intensidade. Nota-se, em ambas as soluções, que o uso do ultrassom no início do processo conduziu maior transferência de massa, do que com os resultados de DO convencional. São encontrados, na literatura, trabalhos que mostram que, para concentrações maiores de maltodextrina, a transferência de massa é mais relevante. Torgrul e Ispir (2007), estudando a desidratação osmótica de damascos com diferentes açúcares, como maltodextrina e sacarose na concentração de 70%, observaram que a maior transferência de massa entre esses ocorreu quando a maltodextrina foi utilizada na solução osmótica.

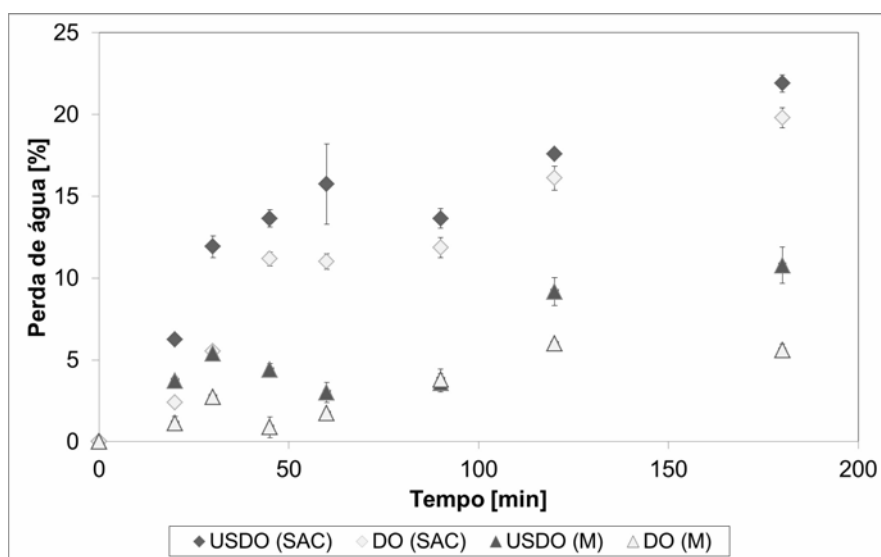


Gráfico 1 Cinética da perda de água de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina.



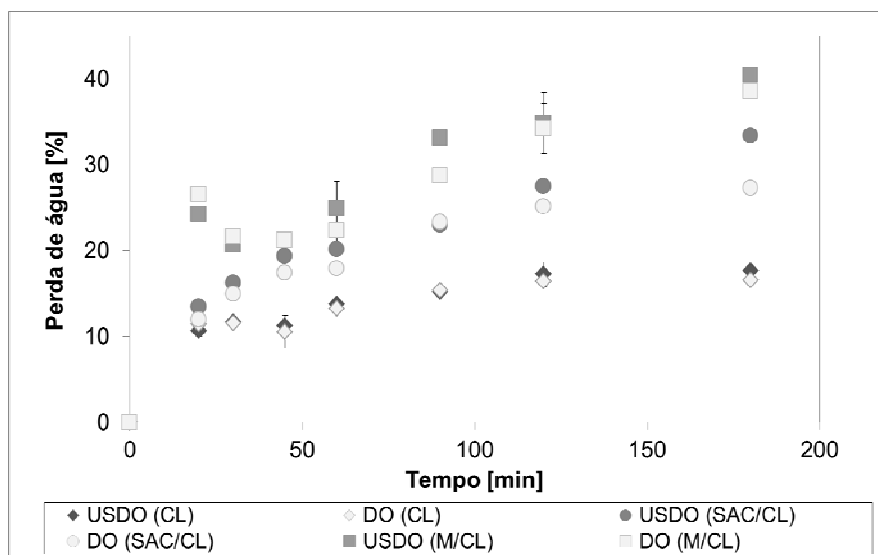


Gráfico 2 Cinética da perda de água de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias e ternárias. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina. CL: cloreto de sódio.

Os resultados de PA observados no Gráfico 2 demonstram a influência positiva dos agentes osmóticos, sacarose e maltodextrina, no incremento da PA de fatias de tomate, quando associadas com o NaCl, tanto para a DO com e sem aplicação do US. Dentre esses, observa-se que a imersão das fatias de tomates em solução M/Cl conferiu maior PA, cerca de 41%, do que a combinação de NaCl com sacarose com 34%, ao final dos 180 minutos de processo. A composição da solução osmótica afetou a maior PA. Devido à baixa pressão osmótica gerada pela maltodextrina, prevaleceu a maior pressão osmótica gerada pelo NaCl, por consequência do seu baixo peso molecular. A associação NaCl e maltodextrina apresentou-se com um bom agente desidratante, visto que conferiu maior transferência de massa da água contida nas amostras de tomate para a solução. A menor PA em solução de SAC/Cl pode ser devido à menor

pressão osmótica conseguida nessa solução, a qual conferiu menor PA do que a outra solução ternária de M/Cl.

O uso de soluções ternárias se mostrou bastante favorável em relação à maior PA atingida nessas condições. Quando o NaCl foi utilizado em solução binária, observou-se uma menor PA, aproximadamente de 17%, quando comparado com os 41% em solução de M/Cl e 34% em SAC/Cl, ao final de 180 minutos de tratamento osmótico. Além disso, verificou-se uma tendência de equilíbrio a partir dos 120 minutos de processo osmótico em solução binária. Nesses casos, observou-se que o aumento da concentração da solução osmótica devido à associação do NaCl com sacarose ou maltodextrina conduziu a uma maior ligação dos solutos presentes na solução com a água dos frutos, favorecendo uma maior migração da água para a solução osmótica.

Os resultados obtidos neste estudo seguem a mesma tendência daqueles em que se avaliaram diferentes soluções osmóticas na DO. Segundo Heredia, Barrera e Andrés (2007), a utilização de soluções ternárias de sacarose 27,5% e sal 10% na desidratação osmótica de tomates aumentou a PA, quando comparadas com solução binária de sal e limitou a absorção de sólidos. Baroni (2004), desidratando tomate em soluções binárias e ternárias de sacarose e cloreto de sódio, também verificou que a combinação destes solutos favoreceu a remoção de água e diminuiu a penetração de sólidos no produto, tendo a maioria dos ensaios realizados com estas soluções apresentado valores elevados para o índice PA/GS.

Para a maioria das soluções utilizadas nos experimentos, principalmente em soluções ternárias, é possível perceber maior perda de água nos 20 minutos iniciais do processo osmótico, aplicando ou não o ultrassom. Isso é devido ao maior gradiente de concentração osmótico no início do processo, o qual, com o decorrer do tempo de processo, diminui, devido à migração da água do alimento

para o meio externo, o que influencia o gradiente de concentração. Em soluções ternárias, após 60 minutos, a PA foi maior até o final do processo.

Tanto em soluções binárias quanto em soluções ternárias, o uso do ultrassom foi significativo com relação à PA (Gráficos 1 e 2). Porém, em soluções binárias de sacarose ou maltodextrina (Gráfico 1), a influência do ultrassom foi mais evidente que em solução binária de cloreto de sódio (Gráfico 2) ou soluções ternárias de cloreto de sódio associado à maltodextrina ou à sacarose (Gráfico 2). O baixo peso molecular do NaCl, a atividade de água de sua solução e sua capacidade de ionização o tornam uma solução osmótica de excelência que, por si só, já leva a uma PA importante, que o uso de ultrassom não intensifica. A maltodextrina e a sacarose, por terem peso molecular alto, em soluções binárias ou ternárias, têm PA intensificada com uso de ultrassom. O aumento da PA de tomates, quando se fez o uso das ondas de ultrassom, pode ser explicado pelos efeitos do processo sônico aplicado no início do tratamento sobre o tecido dos frutos. Ao serem aplicadas no processo osmótico, as ondas ultrassônicas causam uma série de rápidas compressões e expansões (efeito esponja) e formam a cavitação no material. Dessa forma, os efeitos do ultrassom reduzem a resistência externa e interna à transferência de massa (FERNANDES; RODRIGUES, 2007, 2008; FUENTE-BLANCO et al., 2006; GARCIA-NOGUERA et al., 2010), favorecendo, assim, o aumento da transferência de massa, conforme comprovado nesta pesquisa (Gráficos 1-2). Comportamento semelhante da PA foi observado para a redução do peso (RP).

### **3.2 Ganho de sólido (GS)**

As fatias de tomates desidratadas osmoticamente, sem aplicação do ultrassom, e imersas em solução de maltodextrina mostraram maior GS ao longo do processo, em relação aos demais tratamentos avaliados. Fenômeno totalmente

inverso ocorreu quando o ultrassom foi aplicado na DO em solução de maltodextrina. Nos tratamentos realizados em solução de sacarose, maior absorção de sólidos ocorreu quando o ultrassom foi aplicado no processo e uma menor retenção quando o processo convencional de DO foi realizado (Gráfico 3)

No Gráfico 4 é possível observar os resultados do GS em solução binária de NaCl e soluções ternárias (M/Cl e SAC/Cl). Diante dos resultados, o que pode ser visto é que a condição que mais favoreceu a PA, no caso solução ternária contendo M/Cl, foi a que obteve menor taxa de GS. Segundo Corrêa et al. (2010), a diminuição nas taxas de GS são altamente desejáveis durante o processo osmótico, por favorecer a preservação das características originais dos frutos. Isso demonstra que a solução de M/Cl foi mais eficaz no processo de USDO, pois favoreceu a maior PA, sem conferir um alto GS, podendo, assim, ser considerada uma boa condição de processo.

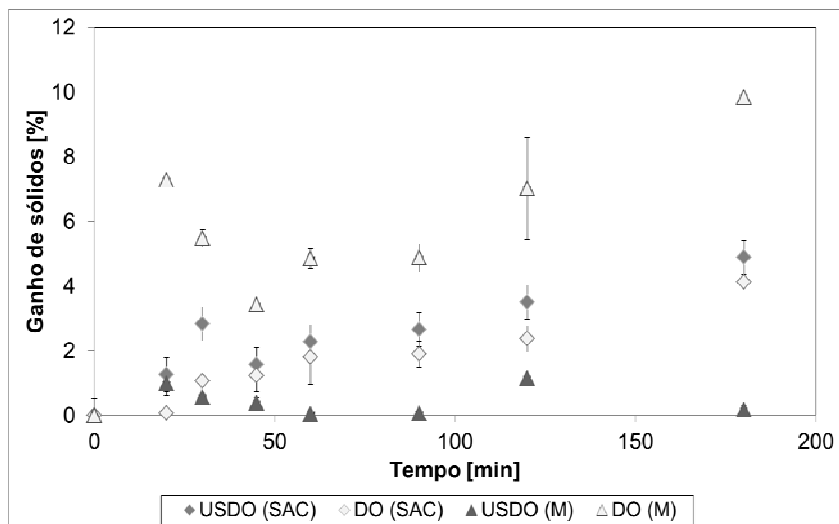


Gráfico 3 Cinética do ganho de sólidos de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina

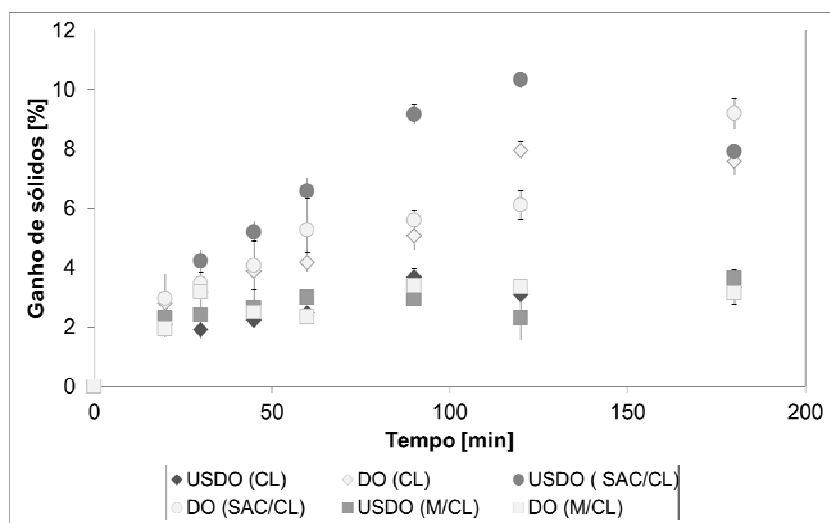


Gráfico 4 Cinética do ganho de sólidos de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções binárias e ternárias. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina

A aplicação do US no início do processo de DO influenciou o GS de fatias de tomates tratadas em solução de sacarose e este comportamento foi intensificado com o aumento do tempo de DO. Além desta, a solução de SAC/Cl também conferiu aumento no GS. No entanto, para os demais tratamentos realizados com as fatias de tomates, a aplicação do US teve efeito na redução do GS.

### **3.3 Ganho de cloreto de sódio**

No que diz respeito à absorção de sal, o efeito sobre a penetração deste soluto na fruta foi considerável, principalmente quando o NaCl foi utilizado como agente desidratante principal (solução binária). Isso ocorreu devido, principalmente, ao seu baixo peso molecular, o qual torna mais fácil seu transporte (TONON, 2005).

De acordo com Sereno et al. (2001), o NaCl pode causar algumas alterações estruturais na membrana da célula, as quais afetam as propriedades físicas, levando a um aumento de permeabilidade. Além disso, o sal aumenta a força motriz do processo osmótico, devido à sua capacidade de reduzir a atividade de água, conduzindo, assim, maior PA.

Os resultados obtidos para o ganho de NaCl, em soluções ternárias, demonstram correlação da PA com o ganho de NaCl. Pode-se dizer que a condição que favoreceu a maior PA conduziu a maior absorção de sal, como é o caso da solução de M/Cl ao longo do processo de USDO. O aumento da transferência da água nesse caso foi proveniente, principalmente, da ação do NaCl e por isso houve a maior absorção de sal. Entretanto, o que deve ser ressaltado é que, apesar de essa condição reter mais NaCl na matriz do alimento do que a outra condição ternária de SAC/Cl, a absorção de sal foi menor do que quando a solução foi composta apenas pelo NaCl (solução binária). Isso

demonstra que, apesar de a concentração da maltodextrina ser considerada baixa para efeitos em DO em solução binária, pode ser considerada uma boa condição, quando associada com NaCl, pois conduziu à menor absorção maltodextrina e, principalmente, de sal.

Em solução de sacarose/cloreto de sódio, a absorção de sacarose (Gráfico 4) foi maior que a de cloreto de sódio (Gráfico 5). O aumento da permeabilidade da membrana resultante das alterações físicas induzidas pelo sal, como encolhimento do tecido celular, e a aplicação do US podem explicar esse comportamento. É possível que o aumento da permeabilidade tenha provocado maior penetração de sacarose. Além disso, a maior absorção de sacarose pode ser decorrente da maior sinergia entre a sacarose e o cloreto de sódio, o que pode ter dificultado a transferência de água do fruto para a solução osmótica, refletindo em menores resultados de PA, quando comparados com os da solução de M/Cl.

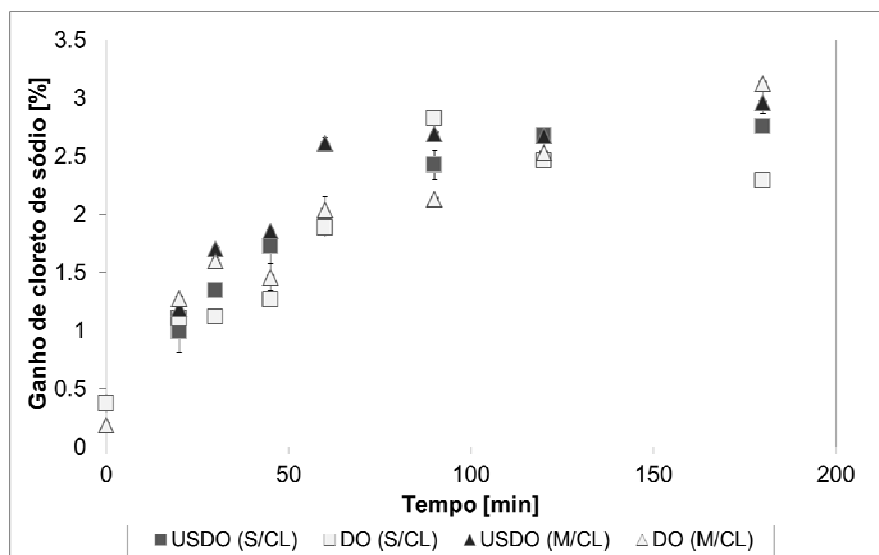


Gráfico 5 Cinética do ganho de cloreto de sódio de fatias de tomates osmodesidratadas em soluções ternárias. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina. Cl: cloreto de sódio

Comparando-se o GS dos frutos em solução em cloreto de sódio (Gráfico 4) com o ganho de NaCl dos tomates imersos em soluções ternária de açúcares e sais, observou-se que o ganho de sal diminui com a presença de açúcares, devido, provavelmente, à interação entre eles.

### 3.4 Atividade de água ( $a_w$ )

Uma redução nos valores de atividade de água de tomates foi evidenciada após 180 minutos de tratamento osmótico, exceto para os tratamentos realizados em solução de maltodextrina. Dentre aqueles, observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, conforme demonstrado na Tabela 2. Essa redução foi causada pelo aumento de



transferência de massa verificada nestas condições do processo, como também foi observado na perda de água de frutos.

Tabela 2 Atividade de água de fatias de tomates submetidas ao tratamento osmótico com e sem aplicação do ultrassom, ao final dos 180 minutos de processo

Condição de operação	USDO	DO
Tratamento		
Cl (10%)	0,971±0,04 Bd	0,978±0,00 Ac
SAC. (27,5%)	0,994±0,00 Ab	0,995±0,00 Ab
M (27,5%)	1,000±0,00 Aa	1,000±0,00 Aa
SAC/Cl (27,5%/10%)	0,965±0,00 Ae	0,945±0,00 Be
M/Cl (27,5%/10%)	0,973±0,00 Bd	0,973±0,00 Ad

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. DO: processo de desidratação osmótica. USDO: processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. SAC: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina. Cl: cloreto de sódio

De modo geral, pode-se dizer que a utilização de soluções binárias de cloreto de sódio e ternárias de açúcares e sal foi a que apresentou maior redução da  $a_w$  no produto final. A influência do NaCl sobre a  $a_w$  do tomate desidratado osmoticamente pode ser explicada pelo fato de este soluto ser uma substância eletrolítica que, portanto, se dissocia em íons, os quais interagem com as moléculas de água. Já a sacarose, por ser uma substância não eletrolítica, não se dissocia e, assim, o número de moléculas de água interagindo com este soluto é bem menor, resultando em maiores níveis de atividade de água (TONON, 2005). No entanto, o uso de soluções ternárias favoreceu a interação entre os componentes, melhorando a interação das moléculas de sal e açúcares, auxiliando, assim, na redução da  $a_w$ .

Comparando-se os resultados da DO, com e sem aplicação das ondas de ultrassom, foi possível observar que o uso do ultrassom teve efeito sobre a solução binária de cloreto de sódio e soluções ternárias contendo maltodextrina/cloreto de sódio. Já a DO teve efeito de redução em solução de sacarose/cloreto de sódio e foi a que apresentou maior eficácia no decréscimo da  $a_w$  (Tabela 2). Ocorreram, simultaneamente, maior redução da  $a_w$ , em SAC/Cl e maior redução do teor de água, com conseqüente absorção de sólidos (Gráfico 6). No entanto, a solução ternária M/Cl apresentou significativa redução da atividade de água, porém, menor e diferente, estatisticamente, quando comparada com a solução ternária anterior, podendo ser, assim, explicada pelo menor favorecimento da solução em reduzir o teor de água, com uma menor penetração de sólidos, de modo geral (Gráfico 7). Já em relação aos demais tratamentos, não houve diferença significativa entre aplicar ou não o ultrassom no início do processo.

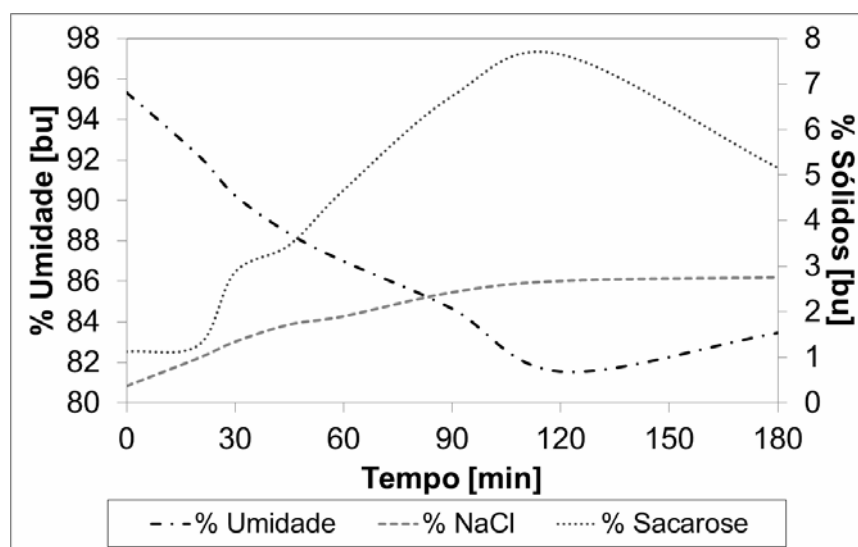


Gráfico 6 Comportamento da umidade e dos solutos durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom de fatias de tomates, a 30 °C, na concentração de 27,5% sacarose e 10% cloreto de sódio

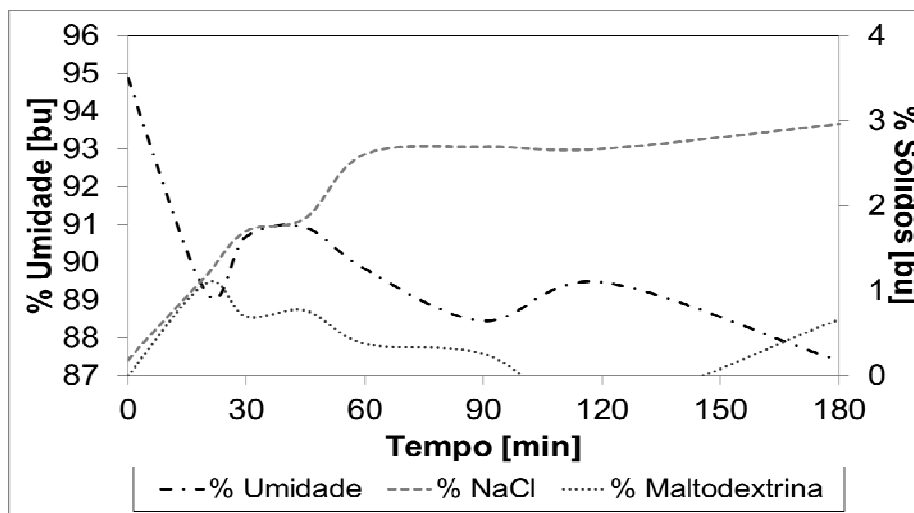


Gráfico 7 Comportamento da umidade e de solutos durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom de fatias de tomates, a 30 °C, na concentração de 27,5% maltodextrina e 10% cloreto de sódio

Tabela 3 Atividade de água dos meios líquidos utilizados para o tratamento osmótico de fatias de tomates

Meio líquido	$a_w$
Água destilada	1,000 a
Cl (10%)	0,819 e
SAC (27,5%)	0,986 b
M (27,5%)	0,997 a
SAC/Cl (27,5%/10%)	0,925 d
M/Cl (27,5%/10%)	0,942 c

SAC.: solução de sacarose. M: solução de maltodextrina. Cl: cloreto de sódio

Como a desidratação é o principal objetivo dos tratamentos osmóticos, a  $a_w$ , tanto no material desidratado como na solução, é fator de grande importância. Menores valores de  $a_w$  da solução osmótica devem conduzir a maiores transferências (PA e GS) sofridas pelo produto processado. Em cinéticas de desidratação osmótica, o equilíbrio pode ser considerado para o tempo para o qual os valores de  $a_w$  da solução e da amostra são iguais

(MEDINA-VIVANCO, 1998). Dessa forma, avaliando-se as soluções utilizadas (Tabela 3), foi possível observar que o equilíbrio entre algumas soluções e frutos parece não ter sido estabelecido, como é o caso das soluções de sacarose, SAC/Cl, M/Cl. Nesses casos, haveria a necessidade de avaliar o processo osmótico por um período de tempo maior. No entanto, o alcance do equilíbrio na transferência de massa no processo de DO pode ser muito demorado e, em alguns casos, pode não ocorrer, devido à instabilidade biológica e/ou física do produto a ser desidratado (ITO et al., 2007).

A atividade de água pode ser utilizada para explicar as transferências entre solução e alimento por conta da pressão osmótica da solução traduzida pela atividade de água. A Tabela 3 pode ser prontamente utilizada para justificar a perda de água em soluções binárias, pois, quanto menor a  $a_w$ , maior PA. Porém, o mesmo raciocínio não é válido (conforme Tabela 3) para soluções ternárias ou para a comparação entre soluções ternárias e binárias. Isso mostra que este parâmetro não é suficiente nestas condições e indica o sinergismo entre os solutos em soluções ternárias.

### **3.5 Difusividade efetiva**

Os coeficientes de difusão obtidos para fatias de tomates submetidas ao tratamento osmótico calculados pelos métodos 1 e 2 são demonstrados na Tabela 4 e 5, respectivamente. As difusividades efetivas de água ( $D_{eff_w}$ ) e de sólidos ( $D_{eff_s}$ ) obtidas pelo método 1 variaram de  $0,68 \times 10^{-9}$  a  $5,66 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  e de  $0,73 \times 10^{-9}$  a  $5,65 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 4). Utilizando-se o método 2, os resultados obtidos de difusividade efetiva de água e sólidos variaram de  $3,94 \times 10^{-13}$  a  $1,01 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (Tabela 5).

A maior difusividade efetiva para a água e para os sólidos foi encontrada em fatias de tomates desidratados osmoticamente com a aplicação do ultrassom em solução de M/Cl,  $5,66 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , seguida da solução de M/Cl, em condição de DO convencional,  $5,19 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (Método 1). Ambas as condições foram as que obtiveram as maiores PA durante o processo osmótico. Para o método 2, o tratamento que obteve maior difusividade efetiva foi em solução de SAC/Cl em USDO; em seguida, vieram os tratamentos de DO em solução de sacarose/cloreto de sódio, cloreto de sódio em USDO, M/Cl em DO e USDO, e a menor difusão foi identificada em solução de maltodextrina, tanto para DO quanto USDO.

Os resultados obtidos pelo método 1 das difusividades efetivas da água e dos sólidos (Tabela 4) apresentaram coeficientes de difusão na ordem de  $10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ . Essa magnitude foi a mesma que Azoubel e Murr (2004) obtiveram na desidratação osmótica de tomates-cereja em soluções binárias e ternárias de NaCl e sacarose. Entretanto, a difusividade tanto para água como sólidos nesse estudo foi maior do que os encontrados para tomate-cereja. Telis, Murari e Yamashita (2004), utilizando os mesmos solutos em soluções ternárias para a desidratação osmótica de quartos de tomates, obtiveram difusividades na ordem de  $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , inferiores às encontradas neste estudo pelo método 1. No entanto, para o método 2, foi a ordem encontrada para a mesma condição de solução ternária (SAC/Cl).

A maior difusividade efetiva em tratamentos de desidratação osmótica com a aplicação do ultrassom é devido à formação dos canais microscópicos no tecido intercelular dos frutos, conforme também já evidenciado em outros estudos de USDO, realizados por Cárcel et al. (2007) e Fernandes, Gallão e Rodrigues (2008, 2009). Segundo Garcia-Noguera et al. (2010), esses canais podem ocorrer de duas maneiras: pelo alongamento e a separação das células, no caso de tratamentos de alimentos com aplicação de ultrassom em água destilada

ou, então, pela ruptura e quebra das células devido aos efeitos combinados de cavitação e da pressão osmótica, quando se tem a desidratação osmótica assistida por ultrassom. No entanto, neste estudo, nem sempre a aplicação do ultrassom no início do processo osmótico resultou em maior difusividade efetiva de água e sólidos, em tomates osmodesidratados.

Segundo Fernandes e Rodrigues (2008), o efeito da desidratação osmótica assistida por ultrassom nos frutos difere também em relação à difusividade efetiva. Os autores observaram um aumento da difusividade efetiva da água em jambo, mamão e abacaxi submetidos à solução osmótica de 25°, 35° e 70° Brix, respectivamente, quando comparados com a difusividade efetiva de água dos produtos frescos. Nos demais frutos avaliados não houve aumento da difusividade com o tratamento de USDO. Atribui-se este aumento pela destruição das células quando uma solução osmótica foi utilizada, criando um caminho fácil para a água difundir-se em direção à superfície.

E difícil fazer a comparação de dados de difusividade efetiva encontrados na literatura, devido às diferentes condições operacionais e métodos utilizados em cada estudo, além da grande variabilidade de composição e de estrutura dos materiais.

Tabela 4 Difusividade efetiva para água e sólidos, obtida pelo método 1

Tratamento	Deff <sub>w</sub> [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>	SE	Deff <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>	SE
SAC, USDO	1,24 x 10 <sup>-9</sup>	0,87	0,229	1,89 x 10 <sup>-9</sup>	0,91	0,236
SAC, DO	0,68 x 10 <sup>-9</sup>	0,81	0,107	0,73 x 10 <sup>-9</sup>	0,82	0,121
M, USDO	3,26 x 10 <sup>-9</sup>	0,13	0,526	3,08 x 10 <sup>-9</sup>	0,17	3,335
M, DO	5,55 x 10 <sup>-9</sup>	0,12	0,34	2,6 x 10 <sup>-9</sup>	0,14	1,414
Cl, USDO	1,72 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,532	0,82 x 10 <sup>-9</sup>	0,53	0,302
Cl, DO	3,68 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,569	3,94 x 10 <sup>-9</sup>	0,76	0,543
SAC/Cl, USDO	1,88 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,559	1,48 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,422
SAC/Cl, DO	2,16 x 10 <sup>-9</sup>	0,85	0,339	3,6 x 10 <sup>-9</sup>	0,89	1,698
M/Cl, USDO	5,66 x 10 <sup>-9</sup>	0,55	0,438	5,65 x 10 <sup>-9</sup>	0,55	0,432
M/Cl, DO	5,19 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,224	5,23 x 10 <sup>-9</sup>	0,74	0,220

DO: desidratação osmótica. USDO: desidratação osmótica assistida por ultrassom durante os 20 minutos iniciais. SAC: sacarose, M.: maltodextrina e Cl: cloreto de sódio, 27,5%, 27,5%, 10%, respectivamente, tanto para soluções binárias quanto ternárias. A Deff foi calculada baseada na Eq. unidirecional de Fick (CRANK, 1975)

Tabela 5 Difusividade efetiva para água e sólidos, obtida pelo método 2

Tratamento	Deff [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>	SE
SAC, USDO	3,94 x 10 <sup>-11</sup>	0,98	0,005
SAC, DO	3,19 x 10 <sup>-11</sup>	0,94	0,009
M, USDO	3,94 x 10 <sup>-13</sup>	0,50	0,000
M, DO	3,94 x 10 <sup>-13</sup>	0,71	0,004
Cl, USDO	1,01 x 10 <sup>-10</sup>	0,95	0,015
Cl, DO	9,86 x 10 <sup>-12</sup>	0,95	0,005
SAC/Cl, USDO	2,27 x 10 <sup>-10</sup>	0,95	0,022
SAC/Cl, DO	1,27 x 10 <sup>-10</sup>	0,99	0,007
M/Cl, USDO	4,77 x 10 <sup>-11</sup>	0,86	0,018
M/Cl, DO	5,68 x 10 <sup>-11</sup>	0,93	0,013

DO: desidratação osmótica. USDO: desidratação osmótica assistida por ultrassom durante os 20 minutos iniciais. SAC: sacarose, M.: maltodextrina e Cl: cloreto de sódio, 27,5%, 27,5%, 10%, respectivamente, tanto para soluções binárias quanto ternárias. A Deff foi calculada baseada no modelo hidrodinâmico de Fito e Chiralt (1997)

Avaliando-se os métodos de obtenção de difusividade efetiva de água e sólido, ficou evidenciado que os dados experimentais tiveram uma melhor concordância com o método 2, por apresentar maiores coeficientes de correlação ( $R^2$ ) com valores entre 0,86 e 0,99, e valores de erro padrão inferiores a 0,02. Nessa comparação, foram descartados os resultados obtidos em solução de maltodextrina tanto para DO quanto na USDO, pois, como o processo de transferência de massa não foi satisfatório devido à baixa concentração utilizada, o coeficiente de determinação apresentou-se muito baixo, sendo considerado uma condição desfavorável.

Com os melhores resultados de difusividade efetiva obtidos pelo método 2, pode-se dizer que o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom apresenta comportamento semelhante àqueles processos em que há a retirada de ar interno. Isso é indício de que a maior correlação entre os coeficientes de transferência de massa e os coeficientes de difusividade pode ser atribuída ao mecanismo hidrodinâmico.



#### 4 CONCLUSÕES

As cinéticas de transferência de massa de fatias de tomates desidratadas osmoticamente foram diretamente afetadas pelo tipo de soluções e pela aplicação do ultrassom nos 20 minutos iniciais do processo osmótico. Tomates imersos em solução ternária de M/Cl apresentaram melhores resultados em relação à perda de água e redução de peso. O ganho de sólidos solúveis foi menor do que a solução de SAC/Cl, no entanto, o ganho de NaCl foi maior. O emprego de soluções ternárias implicou em redução da  $a_w$  das amostras.

De modo geral, a aplicação do ultrassom na desidratação osmótica apresentou efeito sobre as variáveis de transferência de massa estudadas, bem como a composição da solução osmótica.

Maior difusividade efetiva foi encontrada em solução ternária de M/Cl pelo método de difusão (método 1), porém, esse método apresentou baixo coeficiente de correlação e alto erro padrão. Pelo método hidrodinâmico (método 2), a solução de SAC/Cl foi a que apresentou maior difusividade efetiva. Dentre os dois métodos avaliados, o modelo hidrodinâmico (método 2) demonstrou melhor ajuste aos dados experimentais do que o modelo difusional (método 1), apresentando melhores coeficientes de correlação ( $R^2$ ) e menor erro padrão.

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16<sup>th</sup> ed. Arlington, 1995. 1075 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 18<sup>th</sup> ed. Arlington, 2002. 1094 p.

AZOUBEL, M. P. et al. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 2, p. 194-198, Mar. 2010.

AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 61, n. 3, p. 291-295, Feb. 2004.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BOHUON, P. et al. Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 37, n. 4, p. 451-469, Sept. 1998.

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

CARCEL, J. et al. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 2, p. 472-479, Jan. 2007.

CORRÊA, J. L. G. et al. Desidratação osmótica de tomate de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2008.

\_\_\_\_\_. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498-504, Aug. 2010.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Clarendon, 1975. 424 p.

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

FERNANDES, F. A. N.; GALLAO, M.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 90, n. 2, p. 186-190, June 2009.

\_\_\_\_\_. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. **Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 41, n. 4, p. 604-610, May 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 12, p. 1509-1516, Jan. 2008.

\_\_\_\_\_. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 2, p. 261-267, Feb. 2007.

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

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

FUENTE-BLANCO, S. et al. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics**, Surrey, v. 44, n. 1, p. 523-527, Dec. 2006.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. **Drying Technology**, New York, v. 28, n. 2, p. 294-303, Mar. 2010.

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

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRES, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques: comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 8, n. 1, p. 111-118, July 2007.

HEREDIA, A. et al. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, n. 4, p. 285-294, June 2009.

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

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

MEDINA-VIVANCO, M. **Estudo da difusão de cloreto de sódio no filé de tilápia (*Oreochromis (O.) niloticus*) utilizando volumes limitados de salmoura**. 1998. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. do A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 86, n. 1/2, p. 199-205, Feb. 2002.

MULET, A. et al. New food drying technologies: use of ultrasound. **Food Science and Technology International**, London, v. 9, n. 3, p. 215-221, June 2003.

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

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

RANGANNA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. New Delhi: McGraw-Hill, 1977. 1112 p.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 5, n. 8, p. 255-260, Aug. 1994.

RASTOGI, N. K. et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 13, n. 2, p. 48-59, Feb. 2002.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration: determination of moisture and solute diffusion coefficients from concentration profiles. **Food and Bioprocess Processing**, Rugby, v. 82, n. 1, p. 44-48, Mar. 2004.

RODRIGUES, S. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. **Journal of the Science of the Food and Agriculture**, Easton, v. 89, n. 4, p. 665-670, Jan. 2009.

SERENO, A. M. et al. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 49, n. 2/3, p. 103-114, Aug. 2001.

SHI, J. et al. Application of osmotic treatment in tomato processing: effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, Barking, v. 30, n. 9, p. 669-674, Nov. 1997.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 21, n. 7, p. 323-331, July 2010.

TABELA brasileira de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em:  
<[http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf?arquivo=taco\\_4\\_versao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2012.

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**, Essex, v. 61, n. 2, p. 253-259, Feb. 2004.

TOGRUL, T. I.; ISPIR, A. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, n. 10, p. 2611-2621, Oct. 2007.

TONON, R. V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

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