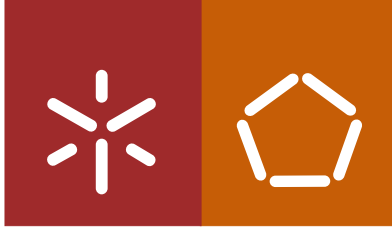


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Filipa Daniela Ribeiro de Castro

**Desenvolvimento de uma Metodologia para  
a Segurança Alimentar e Preservação das  
Propriedades Funcionais na Desidratação  
da Maçã *Golden Delicious***



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Filipa Daniela Ribeiro de Castro

**Desenvolvimento de uma Metodologia para  
a Segurança Alimentar e Preservação das  
Propriedades Funcionais na Desidratação  
da Maçã *Golden Delicious***

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Biológica  
Ramo Tecnologia Química e Alimentar

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Doutora Mariana Contente Rangel Henriques**  
e co-orientação da  
**Doutora Maria do Pilar de Araújo Teixeira**

outubro de 2013

## **DECLARAÇÃO**

Nome: Filipa Daniela Ribeiro de Castro

Endereço eletrónico: filipadrcastro@hotmail.com

Número do cartão de cidadão: 13735150

Título da dissertação: Desenvolvimento de uma Metodologia para a Segurança Alimentar e Preservação das Propriedades Funcionais na Desidratação da Maçã *Golden Delicious*

Orientadora: Doutora Mariana Contente Rangel Henriques

Co-Orientadora: Doutora Maria do Pilar de Araújo Teixeira

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Biológica, Ramo Tecnologia Química e Alimentar

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO, APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

---

(Filipa Daniela Ribeiro de Castro)

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora, prof.<sup>a</sup> Doutora Mariana Henriques, agradeço pela orientação, pela dedicação, pelo incentivo, bem como pelas correções que contribuíram para a melhoria desta dissertação.

À minha co-orientadora, prof.<sup>a</sup> Doutora Pilar Teixeira, obrigada pela paciência, pelo apoio, pelo conhecimento e auxílio que sempre me deu.

Ao prof. Doutor António Vicente, pelas sugestões, pelo conhecimento e pela disponibilidade que sempre demonstrou.

À Eng.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Madalena Vieira, pela orientação e pelos ensinamentos de HPLC.

À BLC3 e aos seus colaboradores, pela oportunidade e pelos meios disponibilizados, que tornaram possível a realização desta dissertação.

Aos meus pais Manuel e Rosa agradeço a oportunidade que me deram e o esforço que fizeram em apostar na minha formação profissional. Agradeço ao meu pai, pelas palavras sábias, pelos conselhos dados e pela motivação que sempre me incutiu em aprender. À minha mãe agradeço o carinho, a sensatez e o sentido de responsabilidade que sempre me transmitiu.

À minha irmã Cecília, que permitiu com que esta dissertação fosse encarada de forma positiva, agradeço o incentivo, a distração e também a ajuda que me proporcionou.

Ao meu namorado Bruno, que esteve sempre presente, que foi incansável, querido e paciente nos momentos difíceis.

À minha amiga de longa data e jornada Marília, por todos os bons e hilariantes momentos que passamos juntas.

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho, manifesto o meu apreço e gratidão. Obrigada



## **Desenvolvimento de uma Metodologia para a Segurança Alimentar e Preservação das Propriedades Funcionais na Desidratação da Maçã *Golden Delicious***

### **RESUMO**

A conservação dos alimentos com garantia de segurança e de qualidade tem sido a preocupação central na indústria alimentar. Como resultado, as técnicas de conservação têm vindo a ser adaptadas de forma a haver um processamento mínimo do alimento, não colocando de parte a segurança alimentar, mas assegurando assim uma maior preservação nutricional e funcional do produto.

Nesta investigação estabeleceu-se uma metodologia para a desidratação da maçã *Golden Delicious* e avaliou-se a influência das condições propostas nas propriedades físico-químicas da maçã. Os métodos empregues foram o pré-tratamento osmótico conduzido a 30°C, com agitação de 170 rpm, durante 4 h, utilizando os solutos sacarose a 35, 55 e 65 % (m/m) e o sorbitol a 65 % (m/m). A dimensão média dos palitos de maçã foi de 4 x 1,2 x 1,3 cm<sup>3</sup> e a proporção de maçã e da solução usada foi de 1:20 (m/m). Utilizou-se também a secagem convectiva, a 60 °C durante 16 h, para desidratar as amostras pré-tratadas e amostras *in natura*. A desidratação osmótica é um processo importante em conjunto com a secagem convectiva, na transformação de frutos perecíveis em novos produtos com maior vida de prateleira e maior valor associado. Foi ainda testado o efeito do pré-tratamento de branqueamento (banho de água a 98 °C durante 3 min), ácido ascórbico (2 g/L) e combinação dos dois durante a secagem convectiva.

No processo de desidratação osmótica verificou-se um aumento do ganho de sólidos (GS), da perda de água (PA) e da redução de massa (RM) das amostras com o aumento da concentração de sacarose. Além disso, o sorbitol foi o soluto que mostrou ser mais eficiente na PA, este obteve também valores superiores de GS e RM. Os coeficientes de difusão efetiva da água ( $D_{ef}$ ) foram iguais para todas as amostras ( $1,751 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ). O aumento da concentração osmótica proporcionou uma diminuição da acidez, do pH, do volume e aumento dos sólidos solúveis totais. Na secagem osmo-convectiva verificou-se uma diminuição na taxa de secagem com o aumento da concentração de 35 % para 55 % de sacarose, com  $D_{ef}$  de  $5,836 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $5,252 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , respetivamente. O pré-tratamento osmótico mostrou ser eficaz na redução do encolhimento, uma vez que a amostra imersa em 55 % de sacarose foi a que obteve menor encolhimento (53,96 %) comparativamente à *in natura* (80,17 %).

O branqueamento (exclusivo ou combinado) mostrou ser mais eficaz contra o escurecimento durante a secagem convectiva do que a imersão em ácido ascórbico e pouco afetou a taxa de secagem.

Concluiu-se após a análise de todos os parâmetros testados, que as melhores condições do processo de desidratação dizem respeito à concentração de 55 % de sacarose e 65 % de sorbitol. Uma diferenciação entre estas duas só poderia ser feita com base num exame sensorial e num teste de preferência.



# **Development of a Methodology for Food Safety and Preservation of the Functional Properties in the Dehydration of *Golden Delicious* Apple**

## **ABSTRACT**

The preservation of food with a guaranteed safety and quality has been the main concern in the food industry. As a result, conservation techniques have been adapted so that there is a minimal processing of food, never neglecting food safety, but ensuring a higher nutritional and functional preservation of the product.

In this research we've established a methodology for the dehydration of *Golden Delicious* apple and evaluated the influence of the proposed conditions in the physicochemical properties of the apple. The methods used were the osmotic pretreatment conducted at 30 °C, with agitation at 170 rpm for 4 hours using as solutes sucrose at 35, 55 and 65 % (w/w) and sorbitol at 65 % (w/w). The average sizes of apple sticks was 4 x 1,2 x 1,3 cm<sup>3</sup> and the ratio apple/solution was 1:20 (w/w). It was also used convective drying at 60 °C for 16 h to dehydrate the pretreated samples and the fresh samples. The osmotic dehydration is an important process jointly with the convective drying, in the processing of perishable fruits into new products with higher shelf life and higher value. It was also tested the effect of blanching (water bath at 98 °C for 3 minutes), ascorbic acid (2 g/L) and combination of both as a pretreatment for convective drying.

In the process of osmotic dehydration, there has been an increase in solids gain (GS), water loss (PA) and mass reduction (RM) of the samples with the increase of sucrose concentration. Furthermore, sorbitol was the solute that has shown to be more efficient in PA and it also obtained higher GS and RM. The effective diffusion coefficients of water ( $D_{ef}$ ) were equal for all samples ( $1,751 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s). The increase of osmotic concentration originated a reduction of acidity, pH, volume and an increase in total soluble solids.

In the osmo-convective drying, there was a reduction of the drying rate with the increase of sucrose concentration from 35 to 55 %, with a  $D_{ef}$  of  $5,836 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s and  $5,252 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s respectively. The osmotic pretreatment proved to be effective in the reduction of shrinkage once that the sample immersed in 55 % sucrose was less shrunken (53,96 %) than the fresh one (80,17 %).

The blanching (exclusive or combined) has shown to be more effective than ascorbic acid immersion against browning during convective drying and had little effect on the drying rate.

After the analysis of all the evaluated parameters we concluded that the best conditions of the dehydration process were obtained with 55 % sucrose and 65 % sorbitol. A differentiation between these two could only be made based on a sensory examination and a preference test.





## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xvii
CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos da Investigação .....	3
1.3. Importância da Investigação .....	3
CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA .....	5
2.1. Perspetiva Histórica da Maçã.....	5
2.2. Características Físico-Químicas da Maçã .....	6
2.2.1. Compostos Bioativos .....	7
2.3. Mercado Mundial .....	8
2.3.1. Produção de Maçã Fresca .....	8
2.3.2. Tendência de Cultivo .....	10
2.3.3. Importação e Exportação .....	11
2.4. Mercado em Portugal .....	12
2.4.1. Produção Nacional .....	12
2.4.2. Produção Diferenciada.....	13
2.5. Atividade da Água.....	14
2.6. Desidratação .....	18
2.6.1. Desidratação Osmótica .....	18
2.6.2. Agentes Desidratantes .....	22

2.6.2.1.	Sacarose .....	23
2.6.2.2.	Sorbitol.....	23
2.7.	Secagem Convectiva .....	24
2.8.	Secagem Osmo-Convectiva.....	27
2.9.	Cinética de Secagem.....	28
2.10.	Reações de Escurecimento.....	29
2.10.1.	Inibição do Escurecimento .....	30
2.10.1.1.	Branqueamento .....	30
2.10.1.2.	Ácido ascórbico .....	31
CAPÍTULO II - METODOLOGIA.....		33
3.1.	Matéria-Prima.....	33
3.2.	Soluções Desidratantes .....	33
3.3.	Pré-tratamento Osmótico.....	34
3.4.	Branqueamento .....	36
3.5.	Imersão em Ácido Ascórbico.....	36
3.6.	Secagem Convectiva .....	36
3.7.	Cálculo do Coeficiente de Difusão Efetiva.....	37
3.8.	Métodos Analíticos .....	37
3.8.1.	Determinação do pH.....	37
3.8.2.	Determinação da Humidade .....	37
3.8.3.	Determinação da Acidez Titulável.....	38
3.8.4.	Determinação da Massa da Amostra.....	38
3.8.5.	Determinação dos Sólidos Solúveis Totais.....	39
3.8.6.	Determinação da Cor.....	39
3.8.7.	Determinação da Redução do Volume.....	39
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		41

4.1.	Caraterização da Matéria-Prima .....	41
4.2.	Pré-Tratamento Osmótico .....	44
4.2.1.	Cinéticas de Desidratação Osmótica .....	44
4.2.2.	Caraterização das Amostras Osmo-Desidratadas .....	57
4.2.3.	Relação de Desempenho .....	58
4.2.4.	Redução do Volume.....	60
4.3.	Secagem Convectiva .....	62
4.3.1.	Cinéticas de Secagem Convectiva com o Pré-Tratamento de Desidratação Osmótica . .....	62
4.3.2.	Redução do Volume.....	68
4.4.	Outros Pré-Tratamentos.....	70
4.4.1.	Avaliação da Cor.....	70
4.4.2.	Redução do Volume.....	73
4.5.	Secagem Convectiva .....	75
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO .....		79
CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES .....		83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85
ANEXOS .....		101



## LISTA DE ABREVIATURAS

- A - Área da superfície
- AT – Acidez titulável
- Aw – Atividade da água
- CIE - Commission Internationale de l'Eclairage
- $D_{ef}$  – Coeficiente de difusão efetiva da água
- $\Delta E^*$  - Diferença de cor
- $\Delta V$  – Redução de volume
- DOP - Denominação de Origem Protegida
- FAOSTAT - The Statistics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations
- f - Fator de correção para o ácido málico
- GS - Ganho de sólidos
- IGP - Indicação Geográfica Protegida
- INE - Instituto Nacional de Estatística
- L – Espessura da amostra
- m - Massa
- $m_i$  – Massa inicial da amostra
- m.i. – Matéria inicial
- m.s. – Matéria seca
- $m_{i_{\text{água}}}$  – Massa inicial de água na amostra
- $m_{sf}$  - Massa seca após o tratamento
- min - Minutos
- $m_{i_{\text{sólidos}}}$  – Massa inicial de sólidos na amostra
- mt – Massa da amostra no tempo t
- $mt_{\text{água}}$  – Massa da água no tempo t
- $mt_{\text{sólidos}}$  – Massa dos sólidos da amostra no tempo t
- $m_s$  - Massa seca
- N – Normalidade
- PA – Perda de água

P - Pressão parcial de vapor de água no produto

$P_0$  - Pressão parcial de vapor da água pura

POD - Peroxidase

PPO - Polifenoloxidase

PME - Metilesterase

RD – Relação de Desempenho

RH – Rácio da humidade

RM – Redução de massa

SST – Sólidos solúveis totais

t – Tempo

ton - Toneladas

TEEH - Taxa específica de extração de humidade

UFC – Unidades formadoras de colónias

V – Volume

$V_t$  - Volume da amostra no tempo t

$V_0$  - Volume inicial da amostra

$X_0$  – Humidade inicial

$X_e$  – Humidade de equilíbrio

$X_t$  – Humidade ao tempo t

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de maçã na China e no resto do Mundo de 1980-2011.....	9
Figura 2 - Isotérmicas de sorção de um produto alimentar, mostrando a histerese .....	15
Figura 3 - Velocidade das reações de deterioração nos alimentos e crescimento de microrganismos em função da $a_w$ .....	16
Figura 4 - Transferência de massa durante a desidratação osmótica .....	19
Figura 5 - GS (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.....	44
Figura 6 - GS (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).....	47
Figura 7 - PA (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.....	48
Figura 8 - PA (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).....	49
Figura 9 - RM (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.....	51
Figura 10 - RM (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).....	53
Figura 11 - Variação da taxa de secagem da desidratação osmótica com os solutos sacarose e sorbitol, ao longo de 4 h.....	54
Figura 12 - Variação da humidade (%) das amostras sujeitas a desidratação osmótica com os solutos sacarose e sorbitol, ao longo de 4 h. ....	55
Figura 13 - Taxa de secagem das amostras in natura e pré-tratadas com as soluções de sacarose e sorbitol após a secagem convectiva, ao longo de 16 h. ....	62
Figura 14 - Variação da humidade (%) das amostras pré-tratadas com as soluções de sacarose e sorbitol após a secagem convectiva, ao longo de 16 h. ....	64
Figura 15 - Variação da humidade (%) da amostra pré-tratada com a solução de sorbitol e da amostra in natura após a secagem convectiva, ao longo de 16 h. ....	65
Figura 16 - Amostras desidratadas por secagem convectiva após 16 h de secagem, <i>in natura</i> , com imersão em solução de ácido ascórbico, com branqueamento e com branqueamento mais ácido ascórbico, da esquerda para a direita respetivamente. ....	72



Figura 17 - Taxa de secagem das amostras in natura e pré-tratadas, após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.....	75
Figura 18 - Variação da humidade (%) das amostras pré-tratadas e <i>in</i> natura após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de maçã ( $10^6$ ton) .....	9
Tabela 2 - Tipos de cultivo dos países de maior produção de maçã ( $10^3$ ton), excluindo a China .....	10
Tabela 3 - Principais países importadores e exportadores de maçã fresca em 2011 .....	11
Tabela 4 - Distribuição da produção de maçã no território português em 2011 .....	12
Tabela 5 - DOP e IGP para a maçã .....	13
Tabela 6 - Mínimo de $a_w$ requerido para o crescimento dos diferentes grupos de microrganismos .....	17
Tabela 7- Comparação de alguns parâmetros para os métodos de secagem por ar quente, por vácuo e por bombas de calor .....	26
Tabela 8 - Valores de humidade, acidez titulável (AT), pH e sólidos solúveis totais (SST) para a maçã <i>in natura</i> . .....	41
Tabela 9 - Equações do ajuste linear, valores de $R^2$ e $D_{ef}$ para a desidratação osmótica .....	56
Tabela 10 - Valores de acidez titulável, pH, sólidos solúveis totais e razão entre os sólidos solúveis totais com a acidez titulável, para a maçã <i>in natura</i> e para as amostras pré-tratadas por desidratação osmótica.....	57
Tabela 11 - Valores do rácio PA/GS após 2 e 4 h do processo de desidratação osmótica, com soluções de sacarose e de sorbitol .....	59
Tabela 12 - Redução do volume (%) das amostras depois de 4 h do processo de desidratação osmótica, com soluções de sacarose e de sorbitol.....	60
Tabela 13 - Equações do ajuste linear, valores de $R^2$ e $D_{ef}$ para a secagem da amostra <i>in natura</i> e das amostras pré-tratadas por desidratação osmótica.....	66
Tabela 14 - Redução do volume (%) das amostras pré-tratadas osmoticamente e sem tratamento, após de 16 h de secagem convectiva .....	68
Tabela 15 - Valores de $\Delta E^*$ para as amostras <i>in natura</i> e pré-tratadas durante a secagem convectiva.....	71
Tabela 16 - Redução do volume (%) das amostras pré-tratadas e sem tratamento, após de 16 h de secagem convectiva .....	74



## CAPÍTULO I

### CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

#### 1.1. Introdução

A maçã (*Malus domestica*) é um dos mais importantes cultivos de fruta e está entre os cinco principais frutos produzidos no mundo (Sinha, 2007). Aproximadamente 75,5 milhões de ton de maçãs foram produzidas a nível mundial em 2011, com a China a liderar a produção com quase metade da produção mundial, seguida pelos Estados Unidos e em terceiro lugar a Índia (FAOSTAT, 2011).

Estudos apoiam uma associação positiva entre o consumo de fruta e a manutenção de boa saúde. Os fitoquímicos presentes nas frutas podem proteger as moléculas biológicas do corpo humano contra danos oxidativos. Acredita-se que uma dieta rica em frutas possa melhorar a capacidade anti oxidativa endógena contra doenças crónicas degenerativas (Sinha, 2007).

O teor de água dos frutos frescos é bastante elevado geralmente superior a 80 %, daí que estes sejam classificados como altamente perecíveis (Narain & Moreira, 2012). A conservação de alimentos é uma ação ou um método que visa manter as propriedades dos alimentos a um nível desejado. Em geral, cada etapa de manipulação, processamento, armazenamento e distribuição afeta as características dos alimentos, que podem ser desejáveis ou indesejáveis (Perera & Rahman, 2007).

A preservação de frutas por secagem remonta há muitos séculos atrás, quando as técnicas solares de secagem eram postas em prática. Normalmente, estes procedimentos não têm qualquer controlo nas operações de tratamento e conseqüentemente resultam em produtos secos de má qualidade (Narain & Moreira, 2012). Hoje em dia muitos tipos de equipamentos e métodos sofisticados são utilizados para desidratar alimentos. Durante as últimas décadas, têm sido feitos esforços consideráveis para compreender algumas das modificações químicas e bioquímicas que ocorrem durante a desidratação, e desenvolver métodos para evitar perdas de qualidade indesejáveis (Perera & Rahman, 2007).

A secagem reduz a atividade de água, preservando assim os alimentos, evitando o crescimento microbiano e reações químicas que conduzem à deterioração. Os efeitos do calor

sobre os microrganismos e sobre a atividade de enzimas também são importantes na secagem de alimentos (Perera & Rahman, 2007).

O equipamento de desidratação pode utilizar a condução, convecção ou radiação para transferir energia a partir de uma fonte de calor para o alimento. O calor é transferido diretamente ou indiretamente de um gás quente, através de uma superfície de metal. As baixas temperaturas são preferíveis para alimentos sensíveis ao calor, no entanto, é necessário um maior tempo de secagem. O processo de secagem é uma operação com elevados gastos energéticos, sendo por isso uma das maiores preocupações na concepção das operações de secagem minimizar o custo da energia e maximizar a retenção de nutrientes. Os processos de secagem podem ser amplamente classificados, com base no método de remoção de água: secagem térmica, secagem osmótica, desidratação mecânica (Rahman, 2007).

Na secagem térmica é usado um meio gasoso para remover a água do material, sendo assim este método pode-se dividir em três tipos: secagem por ar, secagem por vácuo e secagem em atmosfera modificada. Relativamente à desidratação osmótica, este método recorre a uma solução para remover a água, enquanto na desidratação mecânica a força física é utilizada para remover a água. Neste sentido é relevante considerar vários fatores antes de escolher um processo de secagem (Rahman, 2007).

A seleção de um método de secagem adequado depende de vários fatores, tais como a qualidade do produto final desejado, a disponibilidade do secador e o custo da secagem. O aquecimento pode também resultar em alterações sensoriais negativas, devido à produção de sabor indesejável e atributos de sabor como amargo ou queimado e pode também promover mudanças na cor (Narain & Moreira, 2012).

## **1.2. Objetivos da Investigação**

O objetivo geral deste trabalho é a otimização de uma metodologia de desidratação da maçã, através do estabelecimento de determinadas condições de processamento.

Este objetivo será concretizado através dos seguintes objetivos específicos:

- Determinar as características químicas da maçã *in natura* (acidez titulável, sólidos solúveis totais e pH);
- Estudar o processo de desidratação osmótica utilizando os agentes desidratantes: sorbitol e sacarose;
- Avaliar as condições do processo de desidratação osmótica no GS, na PA, na RM, na redução de volume, na taxa de secagem e no  $D_{ef}$ ;
- Avaliar o efeito do pré-tratamento de desidratação osmótica durante a secagem convectiva na taxa de secagem, no  $D_{ef}$  e na redução de volume;
- Avaliar o efeito do branqueamento e ácido ascórbico e a combinação dos dois no escurecimento da maçã, na taxa de secagem e na redução de volume durante a secagem convectiva.

## **1.3. Importância da Investigação**

Este estudo foi nomeado pela BLC3 que é uma Plataforma de Desenvolvimento da Região Interior Centro, que tem como missão desenvolver e apoiar projetos empresariais de base tecnológica que apostem na inovação e na criatividade, com o intuito de gerar emprego e valor para a região. Esta plataforma deve-se sobretudo à Câmara Municipal de Oliveira do Hospital que pretende que a aposta deste tipo de iniciativas fomente a inovação, a ciência e o empreendedorismo, de modo a promover o seu município.

O desenvolvimento deste projeto tinha como alvo estabelecer condições ótimas para a desidratação duma maçã regional (Bravo de Esmolfe) de forma a obter um produto de valor acrescentado. No entanto, esta variedade conserva-se durante 4 a 5 meses, após a sua colheita em meados de setembro e tem uma produção muito limitada, assim no início deste estudo a maçã já não estava disponível no mercado. Assim, os objetivos deste trabalho mantiveram-se só

que com recurso a outra variedade de maçã a *Golden Delicious*, que está disponível mais tempo no mercado. Neste sentido, este trabalho irá proporcionar testes à maçã, desenvolvendo um processo que possa mais tarde ser usado como base para a industrialização.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1. Perspetiva Histórica da Maçã

A maçã (*Malus domestica*) é um fruto pomáceo do género *Malus*, classificado na subfamília *Maloideae* e pertencente à família *Rosaceae*, é um fruto amplamente cultivado em latitudes temperadas e em elevadas altitudes nos trópicos (Luby, 2003). Comumente consumido é um híbrido complexo, cuja resolução da sua origem e filogenia representa um desafio. Apenas por sequenciação do genoma da maçã se confirmou que o ancestral selvagem das maçãs cultivadas é a *Malus sieversii*, e que no entanto, não exclui a contribuição ocasional da selvagem árvore frutífera Europeia *Malus sylvestris* (Glabeke *et al.*, 2012).

O género *Malus* compreende entre 25 a 30 espécies e várias subespécies de maçãs, cerca de 2000 variedades conhecidas (Glabeke *et al.*, 2012). Estas espécies foram continuamente encontradas na natureza ao longo do clima temperado da Europa, Ásia e América do Norte. O principal local de diversidade parece centrar-se entre a Ásia menor e as províncias ocidentais da China. As florestas de maçãs silvestres ainda hoje são encontradas nesta região, com fruta de pequeno tamanho e pouco atraente em relação às maçãs tradicionalmente cultivadas (Jackson, 2003a).

Existem evidências de frutos carbonizados que datam os 6500 a.C. encontrados na Anatólia, região do extremo oeste da Ásia que corresponde hoje à porção asiática da Turquia, que comprovam que o homem pré-histórico coletava maçãs. Parece provável que as maçãs acompanharam a migração humana, abrindo assim caminho para a difusão da maçã pelo mundo, sendo apontado como possível centro de origem da maçã doméstica a região a leste do Cazaquistão e a norte das Montanhas de Thien Shan (Jackson, 2003a).

A maçã é a fruta mais presente do clima temperado e tem sido cultivada na Europa e na Ásia desde a antiguidade, era conhecida por gregos e romanos. Desde então, a maçã foi distribuída por quase todas as partes do mundo. A variabilidade genética encontrada na maçã permitiu a adaptação a diferentes ambientes e permite ainda que a seleção continue em novos tipos de cultivo, de forma a estender a maçã em regiões muito desfavoráveis. Hoje são



encontrados pomares na Sibéria e no norte da China, onde as temperaturas de inverno atingem os - 40 °C e em altitudes bastante elevadas como na Colômbia e na Indonésia (Brown *et. al*, 1996).

O cultivo de maçã atingiu o máximo de diversidade na Europa no final do século XIX e início século XX. No entanto, com o aumento da fruta importada da América, Austrália, Nova Zelândia, África do Sul, a Europa viu-se forçada a aumentar em tamanho e a diminuir em número, o que em grande medida, fez com que se adotasse as mesmas culturas que importava (Luby, 2003).

Atualmente a produção é dominada por variedades como a *Red Delicious*, *Golden Delicious*, *McIntosh* e *Jonagold* provenientes da América do Norte; a *Braeburn* e *Gala* da Nova Zelândia; a *Granny Smith* da Austrália e a *Fuji* do Japão. Apesar de haver outras culturas localmente importantes, estas variedades dominam a produção atual, assim como também são amplamente utilizadas em programas de melhoria em todo o mundo. Desde as suas origens, entre os milhões de árvores selvagens *M. sieversii* nas montanhas da Ásia Central e do desenvolvimento precoce de milhares de culturas locais na Europa e na América, a maçã domesticada, cultivada no século XXI, diminuiu drasticamente na diversidade (Luby, 2003).

## **2.2. Caraterísticas Físico-Químicas da Maçã**

Os consumidores modernos exigem uma aparência impecável, uma textura ideal e firmeza típica da variedade. No entanto, a boa aparência não garante que a qualidade alimentar seja mantida. Atualmente o conceito de qualidade está a centrar-se na melhoria de tamanho, aparência e armazenamento (Brown *et. al*, 1996).

O sabor é uma das caraterísticas mais importantes da qualidade de maçã, embora a seleção inicial de um fruto pelo consumidor seja determinada principalmente pelo aspeto visual do produto, a satisfação e a compra de repetição são determinadas principalmente pelo sabor. Os ésteres têm sido identificados como sendo responsáveis pelo aroma global na maçã, sendo os mais importantes os acetatos, propionatos, butanoatos e hexanoatos. Os álcoois são o segundo grupo mais importante dos compostos orgânicos em termos de contribuição para o sabor de maçã. Em particular o 1-butanol que possui um aroma doce é considerado desejável para a obtenção deste sabor característico. Em diferentes variedades de maçã foram

identificados mais de 300 compostos voláteis presentes, incluindo álcoois, aldeídos, ésteres, cetonas e éteres, mas os mais importantes destes são ésteres (78 - 92 g/100 g) e os álcoois (6 - 16 g/100 g) (Cortada & Frutuoso, 2010).

A cor é um parâmetro com bastante influência na comercialização da maçã, sendo que os requisitos comerciais são específicos para as diferentes variedades. Para a variedade *Golden Delicious* as cores da casca diversificam entre o verde ou amarelo (Kupferman *et al.*, 2004).

Normalmente, as maçãs contêm cerca de 85 % de água, 14 % de hidratos de carbono, 2,4 % de fibra dietética, 0,3 % de proteínas e 0,2 % de lípidos. Estes componentes podem variar, dependendo da variedade, da maturidade, do local de cultivo e das condições ambientais. Aproximadamente 75 % dos hidratos de carbono da maçã são açúcares, frutose (cerca de 6 %), glucose (2,4 %) e sacarose (2 %). O álcool de açúcar sorbitol (0,2 %), também está presente. O ácido málico é o ácido orgânico predominante (0,3 - 1 %) (Sinha, 2007).

O equilíbrio entre o açúcar e os ácidos determina a percepção do sabor. Não existe um nível de açúcar, ácido ou relação açúcar/ácido que se aplique a todas as variedades de maçã. O teor de sólidos solúveis normalmente varia de 11 % a 15,7 % e o ácido málico de 0,35 % a 0,95 % e a proporção de sólidos solúveis/ácido é de 12 a 36. Isto mostra que diferentes variedades têm gostos diferentes, mas a consistência em combinar o sabor esperado para uma variedade é bastante importante (Jackson, 2003b).

### **2.2.1. Compostos Bioativos**

A percepção geral de que as maçãs têm benefícios para a saúde tem incentivado muitos estudos na tentativa de encontrar o fator chave responsável por isso. Pesquisas recentes têm mostrado a correlação inversa entre o consumo de maçãs e muitas doenças do ser humano. O consumo de maçã tem vindo a ser associado à redução do risco de doenças cardiovasculares, disfunções pulmonares e vários tipos de cancro (Fernandes *et al.*, 2012; Kahle *et al.*, 2005; Tsao *et al.*, 2003). Estes benefícios, provavelmente, devem-se ao facto das maçãs serem ricas em compostos fenólicos, que são conhecidos pelas suas propriedades antioxidantes (Sinha, 2007).

As maçãs representam uma importante fonte bio disponível de compostos fenólicos, podem conter até 2 g de polifenóis por kg de maçãs (Kahle *et al.*, 2005). Polifenóis como

flavonoides, antocianinas, ácidos p-hidroxicinâmico e p-hidroxibenzoico (Ćetković *et al.*, 2008). O conteúdo de compostos fenólicos varia com as diferentes variedades de maçãs e ainda distribui-se de forma diferente na mesma. Geralmente na casca e no núcleo (perto das sementes) encontra-se uma concentração mais elevada de compostos fenólicos do que na polpa da maçã (Carle *et al.*, 2003; Sinha, 2007).

Os antioxidantes mais abundantes na fruta são os polifenóis e a vitamina C. Estes polifenóis são na sua maioria flavonoides (Fernandes *et al.*, 2011). A vitamina C tem sido considerada como sendo um dos componentes antioxidantes que mais prevalece nas frutas. No entanto, a contribuição de vitamina C foi determinada como sendo geralmente inferior a 15 %. Por outro lado, tem sido dada importância aos benefícios dietéticos dos compostos fenólicos que têm atividade antioxidante mais forte do que a da vitamina C. Além disso, a quercetina, um dos principais antioxidantes flavonoides na maçã, exerceu atividade antioxidante muito mais forte e anticancerígena do que a vitamina C. A maçã contém também ácido ascórbico, responsável por menos de 0,4 % da atividade antioxidante. Assim, sugere-se que a capacidade antioxidante total da maçã se deve à importante contribuição dos compostos fenólicos (Boyer & Liu, 2004; Lee *et al.*, 2003)

### **2.3. Mercado Mundial**

A comercialização de maçã não pode ser facilmente definida devido à variabilidade de uso pois de facto não existe um mercado, mas vários, como o mercado de fruta fresca, armazenada ou processada; o mercado local, mercado comercial ou de exportação. O mercado é dinâmico, como tal os critérios de qualidade variam, o que pode ser um problema real, se o conceito do criador de qualidade for diferente daquela do mercado (Brown *et al.*, 1996).

#### **2.3.1. Produção de Maçã Fresca**

A produção mundial de maçã tem tido uma tendência de crescimento de longo prazo desde a Segunda Guerra Mundial. A taxa de crescimento abrandou em 1980, mas na década de 1990, aumentou significativamente devido a apenas um fator, a enorme expansão de produção

na China. No início da década de 1990, a produção de maçã na China foi cerca de 4 milhões de ton e até ao final da década esta havia crescido mais de cinco vezes (Brown, 2012). Na perspetiva de Brown (2012), a produção de maçã aumentou mais de 50 % nos últimos 20 anos. Atualmente a China lidera com a maior produção de maçãs, em segundo os Estados Unidos da América, seguidos pelos produtores da União Europeia.

Cerca de 75,5 milhões ton de maçãs foram cultivadas em todo o mundo em 2011, sendo que a China produziu quase a metade desse total. A participação da China na produção mundial de maçã passou de 7 % em 1980 para 47,7 % no ano de 2011 (Figura 1), que corresponde a cerca de 36 milhões de ton de maçã. Os Estados Unidos como segundo produtor-líder, em 2011, produziu cerca de 5,7 % (4,3 milhões ton) da produção mundial, seguindo-se pela Índia com 3,8 % (2,9 milhões de ton) da produção mundial de maçã.

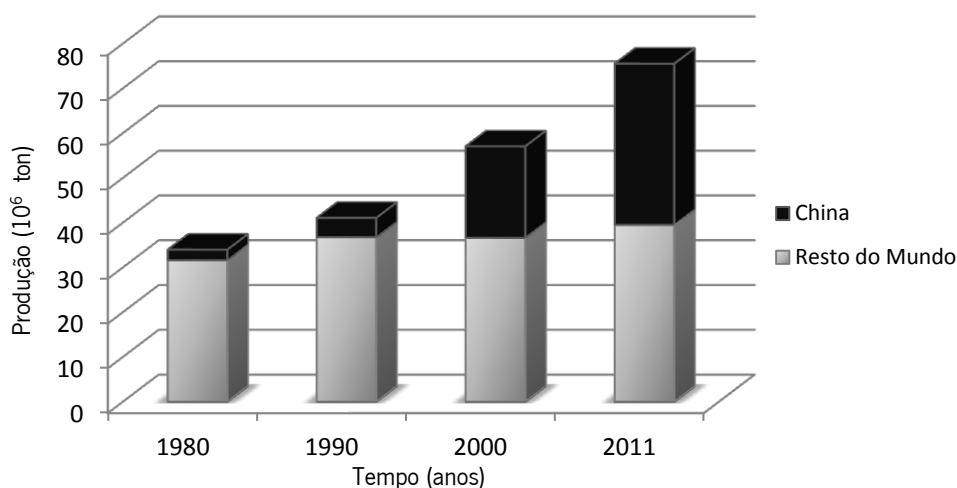


Figura 1 - Produção de maçã na China e no resto do Mundo de 1980-2011 (FAOSTAT, 2011).

A produção mundial de maçã aumentou ligeiramente nos últimos anos e estima-se que principalmente na Ásia haja um aumento significativo na produção e consumo nos próximos anos (Tabela 1). Por outro lado, para a América do Norte e para a Europa a produção está prevista permanecer estável (Kellerhals, 2009).

Tabela 1 - Produção mundial de maçã (10<sup>6</sup> ton) (Kellerhals, 2009)

Área geográfica	Tempo (anos)		
	2000	2005	2015*
Europa	14,104	12,394	14,245
América do Norte	5,671	5,187	5,521
Ásia	23,638	28,383	32,718
Hemisfério sul	4,301	4,978	6,330
Mundo	59,199	63,489	72,820

\*previsão

### 2.3.2. Tendência de Cultivo

A popularidade dos diferentes cultivos de maçã resultou essencialmente do fluxo de informação internacional, que induziu a uma introdução gradual de novos cultivos. Por exemplo as maçãs *Red Delicious* e *Golden Delicious* tornaram-se populares nos EUA nos anos 1950 e 1960, em parte porque as suas aparências atrativas proporcionaram uma vantagem para a comercialização em mercados de retalho. A maçã *Granny Smith* expandiu a sua produção no hemisfério norte nos anos 1970 e 1980, porque entrou no mercado como uma cultura fora de época. Já a chegada da maçã *Gala*, *Fuji* e *Braeburn* em 1980 e 1990 coincidiu com o crescimento de hipermercados e uma expansão considerável do espaço retalhista (O'Rourke, 2003).

Segundo O'Rourke (2003), alguns dos mais antigos tipos de cultivo de maçã estão a desaparecer, enquanto outros se mostraram mais resilientes e ainda novos cultivos ganham espaço no mercado. Os dados oficiais sobre os tipos de cultivo são um pouco limitados ou não estão disponíveis para muitos países, pelo que é mostrado na tabela 2 a tendência de cultivo em 34 principais países produtores.

Tabela 2 - Tipos de cultivo dos países de maior produção de maçã ( $10^3$  ton), excluindo a China (O'Rourke, 2003)

Cultivos	Tempo (anos)		
	2000 Estimado	2005 Previsto	2010 Previsto
<i>Red Delicious</i>	5334	5422	5423
<i>Golden Delicious</i>	4982	5222	5212
<i>Granny Smith</i>	1719	1805	1828
<i>Rome Beauty</i>	565	560	540
<i>Cox's Orange</i>	218	232	226
<i>McIntosh</i>	543	655	655
<i>Jonathan</i>	678	737	727
<i>Idared</i>	805	1087	1148
<i>Fuji</i>	1433	1671	1857
<i>Gala</i>	1688	2188	2594
<i>Braeburn</i>	429	574	710
<i>Elstar</i>	413	494	535
<i>Gloster</i>	210	221	214
<i>Jonagold</i>	1039	1168	1208
<i>Pink Lady</i>	61	129	194
Todos os outros	5997	6726	7063
Total	26313	29131	30429

Através da análise da tabela 2 pode-se reparar que a maçã *Red Delicious*, a *Golden Delicious* e a *Granny Smith* são as que têm uma maior tendência de cultivo e segundo as projeções, as quantidades de produção pretendem manter-se estáveis nos próximos anos. No entanto, isto não invalida os ganhos na produção de cultivos como a *Gala* e a *Fuji*, pois se a China fosse contabilizada e contemplada nesta tabela, a produção do cultivo *Fuji* iria liderar, pois estima-se que 45 % da produção de maçã na China se concentre neste cultivo (O'Rourke, 2003).

### 2.3.3. Importação e Exportação

De acordo com os dados reportados pela FAOSTAT, no ano de 2011 os países que mais exportaram foram a China, a Itália e os EUA, enquanto os maiores importadores no mesmo ano foram a Rússia, a Alemanha e o Reino Unido (Tabela 3).

Os mercados primários para o destino da maçã na China são o Sudeste Asiático e a Rússia. A evolução económica deste país e as economias emergentes que o cercam contribuem para um aumento considerável no consumo de maçã na Ásia, daí que futuramente, não é provável que grandes quantidades de maçãs da China sejam exportadas para a Europa ou para a América do Norte. Em 2005 a China forneceu 68,2 % de todas as maçãs no Sudeste da Ásia e 54,1 % no Sul da Ásia (Kellerhals, 2009).

Tabela 3 - Principais países importadores e exportadores de maçã fresca em 2011 (FAOSTAT, 2011)

Importadores			Exportadores	
	País	Quantidade (ton)	País	Quantidade (ton)
1	Rússia	1157724	China	1034635
2	Alemanha	665662	Itália	976131
3	Reino Unido	459068	EUA	833249
4	Holanda	310635	Chile	801167
5	Espanha	253056	França	726609
6	Indonésia	212685	Polónia	532058
7	Canadá	198618	Holanda	341296
8	México	198481	Africa do Sul	333435
9	Arábia Saudita	181280	Nova Zelândia	296931
10	Índia	179015	Bélgica	269144

## 2.4. Mercado em Portugal

### 2.4.1. Produção Nacional

Em 2011, segundo as estimativas do Instituto Nacional de Estatística (INE), a área de pomares de macieira no Continente totalizava 12383 hectares e a produção 244841 ton, o que correspondeu a um aumento de 16 % na produção, face a 2010.

A principal região de produção é o centro do país, com 60 % da produção total de Portugal, seguindo-se a região Norte, onde se concentra cerca de 35 % da produção de maçã (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição da produção de maçã no território português em 2011 (INE, 2011)

Território	Produção (ton)
Continente	244841
Norte	86799
Centro	149373
Lisboa	3076
Alentejo	5490
Algarve	104
Ilhas	2388
Arquipélago da Madeira	1911
Arquipélago dos Açores	477

De acordo com a publicação do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2007), as variedades com maior cultivo em Portugal são a *Golden Delicious*, a *Gala*, a *Red Delicious*, *Reineta (Parda e Branca)* e *Bravo de Esmolfe*. Com menor expressão surgem a *Riscadinha de Palmela*, a *Casa Nova*, a *Granny Smith* e a *Pink Lady*. Na região do Ribatejo e Oeste prevalecem largamente as maçãs *Gala*, sendo também importantes a *Golden Delicious* e a *Reineta*. Nas regiões de Trás-os-Montes e da Beira Interior e Litoral têm maior representação as variedades *Golden Delicious* e *Red Delicious*. Enquanto nas zonas de produção mais próximas de Leiria têm maior peso as maçãs *Golden e Gala* e a produção de maçã *Bravo de Esmolfe* está concentrada nas zonas da Cova da Beira, Viseu e Douro Sul.

## 2.4.2. Produção Diferenciada

O Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2005), define como Denominação de Origem Protegida (DOP) o nome de uma região, de um local determinado ou, em casos excepcionais, de um país, que serve para designar um produto agrícola ou um género alimentício originário dessa região, desse local determinado ou desse país e cuja qualidade ou características se devem essencial ou exclusivamente ao meio geográfico, incluindo os fatores naturais e humanos, e cuja produção, transformação e elaboração ocorrem na área geográfica delimitada.

A definição de Indicação Geográfica Protegida (IGP) é semelhante à DOP, contudo, a sua relação com a área geográfica não necessita de ser restrita. É suficiente que as características ou a reputação do produto possam ser atribuídas à sua origem geográfica e que pelo menos uma das etapas da produção tenha lugar na área geográfica delimitada. A ligação à origem é de alguma forma mais fraca que uma DOP, que necessita de ter uma relação exclusiva entre as características do produto e a sua origem geográfica. Além disso, todas as etapas do processo de produção devem ter lugar na área geográfica delimitada (London Economics, 2008).

A nível nacional existe apenas uma maçã com DOP e quatro maçãs com IGP, que estão indicadas na tabela 5.

Tabela 5 - DOP e IGP para a maçã (Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2007)

Tipo de denominação	Designação
DOP	Maçã Bravo de Esmolfe
IGP	Maçã da Beira Alta
IGP	Maçã da Cova da Beira
IGP	Maçã de Alcobaça
IGP	Maçã de Portalegre

Os principais motivos que determinam a adesão dos produtores à DOP/IGP são de ordem económica, para garantir a viabilidade ou a rentabilidade das empresas através da proteção da utilização das denominações e também para transmitir um sinal de uma garantia de qualidade aos consumidores (London Economics, 2008).



## 2.5. Atividade da Água

A água é o constituinte predominante em muitos alimentos, através da interação com os outros constituintes do alimento a água influencia significativamente a textura do alimento, influência a sua suscetibilidade à deterioração microbiana e estabilidade de armazenamento (Belitz *et al.*, 2009; Bolin, 1980).

Nos alimentos a água encontra-se presente sob duas formas, quimicamente ligada a outras moléculas, portanto imobilizada, e na forma livre, desligada de outras moléculas e como tal disponível (Bezerra, 2009). No que diz respeito à água quimicamente ligada ainda não existe uma definição formal, mas conhecem-se algumas das suas características. Uma das suas propriedades mais importantes é que não é congelável, apresenta baixa pressão de vapor, alta energia de ligação, indisponibilidade como solvente, reduzida mobilidade molecular e propriedades dielétricas diferentes das da água livre (Cunha, 2008).

A estabilidade química e microbiológica dos alimentos não está diretamente relacionada com o seu teor em água mas sim com uma propriedade designada por atividade de água ( $a_w$ ), que corresponde ao teor de água livre. A diminuição da  $a_w$  retarda o crescimento microbiano, abranda as reações catalisadas por enzimas e diminui o escurecimento não enzimático (Belitz *et al.*, 2009).

A maioria dos métodos de conservação de alimentos baseia-se na remoção das moléculas de água (secagem), na redução da mobilidade das moléculas de água (congelamento) ou ainda no facto de ser possível torná-la não disponível pela adição de eletrólitos, como o NaCl, ou não eletrólitos como a sacarose (Ditchfield, 2000). Na ausência de água livre os microrganismos não se conseguem desenvolver e o alimento torna-se estável contra a deterioração microbiana.

A atividade de água pode ser definida pela razão entre a pressão parcial de vapor de água no produto (P) com a pressão parcial de vapor da água pura ( $P_0$ ), à mesma temperatura (Mathouthi, 2001). Da definição de  $a_w$  tem-se a equação 1.

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad \text{Equação 1}$$

A  $a_w$  de um alimento é comumente determinada pela construção de isotérmicas de sorção de água. As isotérmicas de sorção relacionam a  $a_w$  em função de uma quantidade de

água adsorvida ou dessorvida, a temperatura constante (Figura 2). A isotérmica de sorção é geralmente em forma de sigmóide, onde muitas vezes podem ser identificadas três regiões. Na região I, as moléculas de água estão fortemente ligadas aos constituintes do alimento por pontes de hidrogénio, na região II a água está menos ligada e localiza-se nos pequenos capilares. Em relação à região III, a água está livre em solução ou condensada em capilares de dimensões superiores (Andrade *et al.*, 2011; Mathlouthi, 2001).

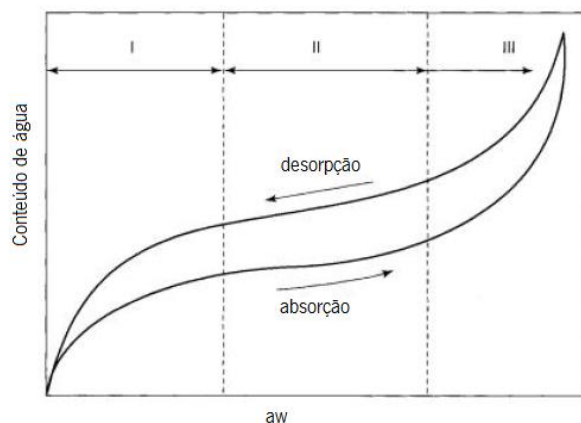


Figura 2 - Isotérmicas de sorção de um produto alimentar, mostrando a histerese (Acree *et al.*, 2005).

As isotérmicas de sorção podem ser de dois tipos: adsorção e dessorção. A adsorção é obtida quando um material seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a humidade relativa e medindo o aumento de massa devido ao aumento de água. Na dessorção, o material inicialmente húmido é colocado sob as mesmas condições utilizadas na adsorção, sendo medida a diminuição de massa, devido à saída de água (Bezerra, 2009).

As isotérmicas obtidas por remoção de água a partir de um alimento húmido e por adição de água a um alimento seco podem ser diferentes, a diferença no teor de água de equilíbrio entre as curvas de adsorção e dessorção é chamado de histerese, com teores de água na parte central da curva de dessorção, maiores do que na curva de absorção (Figura 2). Deve notar-se que a ocorrência de histerese indica que tanto a curva de adsorção como a dessorção não estão em equilíbrio verdadeiro. Os principais fatores que afetam a histerese são a composição do produto, a temperatura isotérmica, o tempo de armazenamento antes da medição isotérmica, a temperatura de secagem e o número de ciclos sucessivos de adsorção e de dessorção (Acree *et al.*, 2005; Christian, 2000; Mathlouthi, 2001).

A  $a_w$  é um fator chave no crescimento microbológico, na produção de toxinas e nas reações enzimáticas e não enzimáticas, podendo variar entre um máximo de 1, onde a água se encontra totalmente disponível (equivalente a água pura) e 0, onde a água livre é inexistente (Mathouthi, 2001). A relação entre a  $a_w$  e a velocidade das reações químicas e bioquímicas, bem como o crescimento de microrganismos pode ser observado na figura 3.

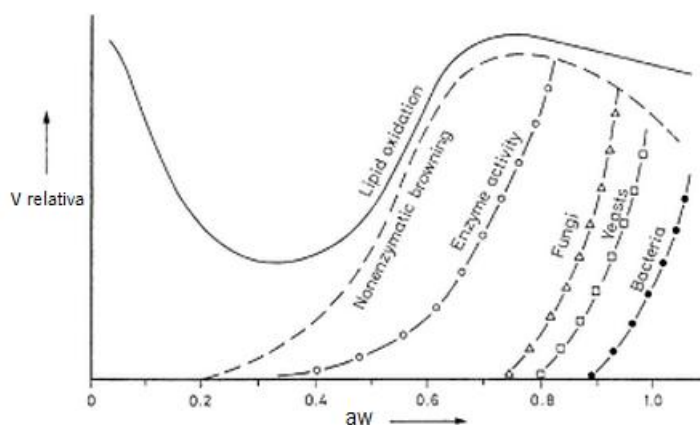


Figura 3 - Velocidade das reações de deterioração nos alimentos e crescimento de microrganismos em função da  $a_w$  (Belitz *et al.*, 2009).

Pode-se reparar pela figura 3 que a velocidade das reações diminui com a diminuição da  $a_w$ , até que para uma  $a_w$  abaixo de 0,2 todas as reações estão praticamente inibidas, com exceção da oxidação dos lípidos, que é crítica com a  $a_w$  (Belitz *et al.*, 2009).

A maioria das bactérias não cresce em ambientes com valores de atividade de água abaixo de 0,9 e os patogênicos usualmente requerem valores superiores a 0,95 (Cenvic *et al.*, 2006). Na grande parte dos alimentos a  $a_w$  varia entre os valores de 0,7 e 1,0. Alimentos com atividade de água abaixo de 0,6 são estáveis em relação ao crescimento microbológico e são classificados como alimentos desidratados (Cunha, 2008).

Todos os microrganismos têm um valor limite de  $a_w$  abaixo do qual cessam a sua atividade, nas bactérias isso acontece normalmente para valores de  $a_w$  inferiores a 0,9, como pode ser observado na tabela 6, havendo no entanto exceções. O maior grupo de bactérias patogênicas transmitidas por alimentos tem  $a_w$  mínima para o crescimento no intervalo de 0,95 a 0,94, incluídos estão membros da família Enterobacteriaceae e quinze serotipos móveis de *Salmonella*. As estirpes (grupo II) de *Clostridium botulinum* (tipos E, F e não proteolítico B) tem uma  $a_w$  mínima para o crescimento de 0,9; a *Listeria monocytogenes* é um dos patogênicos de

origem alimentar capaz de crescer em aw de 0,92, no entanto o único patogénico bacteriano com uma baixa necessidade de água é o *Staphylococcus aureus*, nove das treze estirpes crescem a níveis de aw de 0,86 e as outras quatro estirpes crescem a aw iguais a 0,88 (Christian, 2000; Featherstone & Tucker, 2011).

Tabela 6 - Mínimo de aw requerido para o crescimento dos diferentes grupos de microrganismos (Cenic *et al.*, 2006)

Grupo	Mínimo de aw
Bactérias	0,9
Leveduras	0,87 - 0,88
Fungos	0,8
Fungos xerófilos	0,65
Leveduras osmofílicas	0,62

As leveduras e os fungos são geralmente encontrados na natureza em meios mais ácidos ou mais secos do que as bactérias. Assim, a maioria destes microrganismos são mais tolerantes a uma aw reduzida, que a maioria das bactérias (Cenic *et al.*, 2006). Neste sentido, são necessários níveis mais baixos de aw para evitar o seu crescimento.

Os microrganismos que conseguem viver em ambientes secos são chamados de xerófilos, por sua vez, aqueles que além de suportarem uma aw baixa, também aguentam ambientes com altas pressões osmóticas, como altas concentrações de açúcar são chamados de osmofílicos. Estes últimos são capazes de crescer numa aw de 0,62 e na presença de concentrações elevadas de açúcares, sendo quase todos os osmofílicos são leveduras (Cenic *et al.*, 2006; Christian, 2000; Featherstone & Tucker, 2011).

## **2.6. Desidratação**

A desidratação de um sólido refere-se à remoção de quantidades relativamente pequenas de água ou de outro líquido, com a finalidade de reduzir o seu teor inicial para um valor final mais baixo e considerado aceitável. A redução do teor de água ou de líquido a partir de sólidos pode ser conseguido por meios mecânicos (centrifugação ou prensagem), métodos térmicos (evaporação) e por desidratação osmótica (soluções concentradas) (Melo *et al*, 2007).

O ponto final da secagem é determinado quando se atinge o equilíbrio no sistema de secagem. A  $a_w$  é normalmente usada para estimar esse o ponto de equilíbrio, no caso de processos térmicos e de secagem osmótica. Geralmente os produtos à base de carne, peixe e produtos lácteos são desidratadas até um teor de humidade de 3 % ou menos, os produtos vegetais geralmente a 5 %, e produtos derivados de cereais a 12 %. Um máximo nível de humidade é normalmente estabelecida para cada produto seco em separado, com base na qualidade, assim, o ponto final deve ser determinado com base na segurança primeiro e depois na aceitação do consumidor (Perera & Rahman, 2007).

O conteúdo de água residual das frutas desidratadas é cerca de 12 - 16 %, e quando estas são adequadamente embaladas têm uma longa duração, sem qualquer dano por causa do seu alto teor de açúcar e baixo de água atividade ( $a_w = 0,72 - 0,75$ ) (Pátkai, 2006).

Não há uma técnica de secagem que seja eficazmente aplicável a todos os produtos, o método de secagem mais apropriado terá de estar de acordo com as propriedades desejadas do produto final, a tolerância à temperatura, sensibilidade do produto ao calor, pré-tratamentos necessários, os custos de processamento e de capital (Perera & Rahman, 2007).

### **2.6.1. Desidratação Osmótica**

A desidratação osmótica é um método alternativo para reduzir o teor de água, bem como para melhorar a qualidade do produto final (Mujumdar & Ratti, 2005). Esta apresenta inúmeras vantagens em indústrias de processamento de frutas e vegetais, no entanto este processo de desidratação geralmente não produz um produto de baixo teor de humidade, que possa ser considerado como estável na prateleira. Por conseguinte, o produto do tratamento osmótico deve

ser processado para se obter um produto estável em armazenamento, daí que este processo seja considerado como um pré-tratamento no processo de desidratação (Rahman, 2007).

A desidratação osmótica envolve a remoção parcial da água do alimento, através da sua imersão numa solução hipertónica (Emam-Jomeh *et al.*, 2006). A força motriz para a difusão de água a partir do tecido para a solução resulta da pressão osmótica mais elevada da solução hipertónica (Knor *et al.*, 2002; Raghavarao & Rastogi, 1997). A difusão de água do alimento para a solução é estabelecida pela estrutura da superfície celular do alimento que funciona como uma membrana semipermeável. A difusão de água é acompanhada pela simultânea contra difusão do soluto a partir da solução osmótica para o alimento (Figura 4). Como a membrana responsável pelo transporte osmótico não é completamente seletiva, outros solutos presentes no alimento também serão difundidos para a solução osmótica (Bartolucci, 1985; Katsanidis *et al.*, 1995; Khin *et al.*, 2006; Knor *et al.*, 2002; Niranjana *et al.*, 1996). A fuga destes solutos (açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais) para o meio osmótico podem ser considerados quantitativamente insignificantes, no entanto podem ser essenciais para a qualidade nutricional e organolética do produto (Torreggiani, 1993; Bertolo & Torreggiani, 2004).

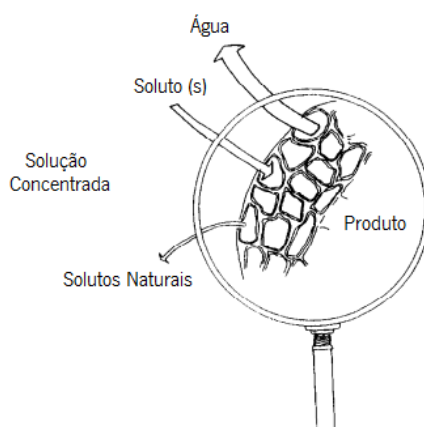


Figura 4 - Transferência de massa durante a desidratação osmótica (Torreggiani, 1993).

Este fenómeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é afetado pela natureza do produto (variedade, maturação, forma, tamanho, porosidade) e pelas variáveis do processo como temperatura e concentração da solução osmótica, nível de agitação da solução, proporção de massa da solução para o material, tempo de imersão, agente desidratante (Knor *et al.*, 2002; Raghavarao & Rastogi, 1997).

A taxa de osmose é fortemente afetada pela temperatura, pois influencia a cinética da PA e o GS. A PA aumenta com o aumento da temperatura, assim como o GS, sendo este último

menos afetado pela temperatura. Este comportamento foi reportado por vários autores como Flink & Hawkes (1978), Flink & Islam (1982), Flink & Lenart (1984), Martinez & Sereno (2001) e Rahman (2007).

Segundo os autores Raoult-Wack (1994), Martinez & Sereno (2001) e Torreggiani (1993) a transferência de massa ocorre mais intensamente nas primeiras duas horas do processo, no final deste período o processo osmótico tende a entrar em equilíbrio químico. Assim, o processo de desidratação osmótica deve ser realizado num curto espaço de tempo de forma a obter um maior grau de desidratação com um ganho mínimo de sólidos (Lenart, 1996).

No decorrer da desidratação, a solução osmótica torna-se cada vez mais diluída e a força motriz para a remoção de água vai diminuindo. É portanto, necessário ter-se uma proporção entre a solução e as amostras bastante elevada, a fim de assegurar uma força mais ou menos uniforme (Azuara *et al.*, 1998; Derossi *et al.*, 2008; Knor *et al.*, 2002; Raghavarao & Rastogi, 1997).

O aumento da concentração das soluções osmóticas provoca um aumento no GS e um aumento na PA do alimento. De acordo com o que foi relatado por Chavan *et al.*, 2012; Figueiredo *et al.* (2005), Íspir & Toğrul (2007), Karathanos *et al.* (1998), Karathanos *et al.* (2000), este facto deve-se ao aumento da pressão osmótica.

A forma e espessura da amostra são fatores importantes que condicionam a transferência de massa. Se a amostra tem uma maior espessura então o alimento será desidratado mais lentamente, porque o caminho de difusão da água é maior (Castaigne *et al.* 1996; Knor *et al.*, 2002). De acordo com Bartolucci *et al.* (1985) maiores áreas superficiais (como círculos) originaram maior PA e GS comparativamente às amostras que têm área superficial inferior (como palitos).

A seleção destes parâmetros do processo também depende da aplicação do produto final. Por exemplo, através da incorporação de soluto no alimento é possível alterar as suas propriedades nutricionais e funcionais e alcançar uma formulação específica do produto (Knor *et al.*, 2002; Torreggiani, 1993). No entanto, na maioria dos casos a grande absorção de açúcar é indesejável, devido ao seu impacto negativo sobre o perfil nutricional do produto, o que já não pode ser comercializado como natural (Katsanidis *et al.*, 1995).

A desidratação osmótica tem sido alvo de atenção devido às suas potenciais vantagens, incluindo uma melhor retenção de cor e sabor (Katsanidis *et al.*, 1995; Krokida *et al.*, 2001; Raoult-Wack, 1994), melhor manutenção da seletividade da parede celular, assim como menor

exigência de energia em comparação com o processo de secagem por convecção com ar quente (Azoubel *et al.*, 2003; Karathanos *et al.*, 1999; Katsanidis *et al.*, 1995). A imersão das amostras na solução osmótica, sem qualquer contacto das amostras com o ar protege as amostras contra o escurecimento oxidativo e enzimático (Emam-Jomeh *et al.*, 2006; Krokida *et al.*, 2001; Raoult-Wack, 1994).

O meio osmótico é geralmente formado por uma solução de açúcar, a uma temperatura entre 20 a 50 °C e ligeiramente agitado. Após a desidratação osmótica ser concluída a amostra pode ainda ser colocada num secador de ar quente para atingir o teor de humidade final desejado. A solução concentrada pode ser recuperada e depois de novamente ajustada a concentração de desidratante, poderá ser novamente utilizada para a desidratação osmótica (Mujumdar & Ratti, 2005).

A gestão da solução osmótica é um desafio importante para tornar o processo industrialmente viável. A fim de tornar a desidratação osmótica mais atraente em termos económicos, a solução osmótica precisa ser reconcentrada por evaporação ou por adição de reagente osmótico (Knor *et al.*, 2002). A reutilização da solução por reciclagem pode aumentar a contaminação microbiana, de acordo com o número de vezes que a solução é reciclada. Dependendo das condições do processo, a carga microbiana após vários ciclos osmóticos pode variar de  $2 \times 10^2$  UFC/mL para os níveis elevados de leveduras e fungos, apenas depois de 15 ciclos ( $10^5$  UFC/ mL) e após 8 h de tratamento contínuo (Rahman, 2007).

A taxa de transferência de massa durante a desidratação osmótica é geralmente baixa. Um número de técnicas têm sido testadas para melhorar a taxa de transferência de massa, estas técnicas incluem: submeter o alimento a alta pressão (Niranjan & Rastogi, 1998) ou a um campo elétrico pulsado de alta intensidade (Ade-Omowaye *et al.*, 2001) antes da desidratação osmótica. Durante o tratamento osmótico são ainda aplicados ultra-sons (Silva & Stojanovic, 2007) ou vácuo (Fito & Pastor, 1994) ou força centrífuga (Azura *et al.*, 1996) ao alimento.

A PA e o GS representam adequadamente o processo de desidratação osmótica. A PA é a quantidade de água que se difunde do alimento para a solução devido à diferença de pressão osmótica entre o alimento e a solução. O GS indica a quantidade destes que se difundem da solução para o alimento menos os da fruta que migram para a solução (Emam-Jomeh *et al.*, 2006; Karathanos *et al.*, 1999).



O cálculo da PA, GS e RM do alimento após um período de tempo t do tratamento osmótico é definido pelas equações seguintes (Alzamora *et al.*, 2004):

$$PA(\%) = \frac{m_{i_{\text{água}}} - m_{t_{\text{água}}}}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$GS(\%) = \frac{m_{t_{\text{sólidos}}} - m_{i_{\text{sólidos}}}}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$RM(\%) = \frac{m_i - m_t}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$m_{i_{\text{água}}}$  – massa inicial de água na amostra (g)

$m_{t_{\text{água}}}$  – massa da água no tempo t (g)

$m_i$  – massa inicial da amostra (g)

$m_{t_{\text{sólidos}}}$  – massa dos sólidos da amostra no tempo t (g)

$m_{i_{\text{sólidos}}}$  – massa inicial de sólidos na amostra (g)

$m_t$  – massa da amostra no tempo t

### 2.6.2. Agentes Desidratantes

A eficácia da desidratação osmótica é altamente dependente dos agentes desidratantes utilizados (Magee & McMinn, 1999). O custo de soluto, compatibilidade com características organolépticas do produto final e a ação conservativa do soluto, são fatores considerados na escolha dos agentes osmóticos (Tortoe, 2010). O processo osmótico é afetado pelas propriedades físicas e químicas dos solutos utilizados, que diferem principalmente na massa molecular, no estado iônico e na solubilidade em água (Rahman, 2007).

O agente osmótico mais utilizado para a fruta é a sacarose, no entanto existem outros agentes osmóticos bastante utilizados, que incluem a glucose, frutose, lactose, maltose, maltodextrina, sorbitol, cloreto de sódio e combinações destes agentes osmóticos (António *et al.*, 2008; Rahman, 2007).

### **2.6.2.1. Sacarose**

Na Europa, a sacarose é isolada da beterraba (*Beta vulgaris*) e é responsável por cerca de 40 % da produção total no Mundo, os restantes 60 % são obtidos a partir da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Estruturalmente e funcionalmente, a sacarose é uma molécula orgânica única e é a mais abundante entre os açúcares (Khan, 1995). A sacarose, comumente conhecida como açúcar de mesa, é um dissacarídeo composto pelos monossacarídeos glucose e frutose, tem uma cor branca, é inodora e foi adotada como padrão de doçura relativa (poder edulcorante igual a 1) (Jamieson, 2012).

A sacarose é o agente desidratante mais utilizado na desidratação de fruta por resultar em produtos com boa aceitação no sabor, textura e cor. Também tem a vantagem de ter alta disponibilidade, aquisição a baixo custo e ser eficaz na remoção de água durante a desidratação osmótica. Esta última deve-se à inferior difusividade da sacarose em relação à água que permite desidratar eficazmente o alimento com pouca absorção no alimento (LeMaguer *et al.*, 1998; Lenart & Lewicki, 2006; Moura, 2004).

Segundo Lenart (1996) a sacarose é considerada a melhor substância osmótica, especialmente quando a desidratação osmótica é usada como um tratamento preliminar antes da secagem. A presença de sacarose na superfície da amostra desidratada é um obstáculo para o contacto com oxigénio o que resulta numa redução do escurecimento enzimático. A sacarose tem ainda influência positiva em manter as substâncias odoríferas e é bem aceite do ponto de vista do paladar.

### **2.6.2.2. Sorbitol**

O sorbitol é um hidrato de carbono de fácil digestão, classificado como um açúcar álcool ou como um poliol. Pode ser obtido pela redução da glucose, alterando o grupo aldeído para um grupo hidroxilo ou pode ser obtido a partir de amido. Além disso, é também encontrado na natureza em frutas como maçãs, peras e pêssegos (Jamieson, 2012; Kanayama *et al.*, 2008).

O sorbitol é frequentemente utilizado como substituto da sacarose em alimentos *light*, não só pelo baixo valor calórico, mas também porque é absorvido de forma muito lenta e é bastante tolerante para pessoas com diabetes (Deis & Kearsley, 2006). O valor calórico do

sorbitol é de 2,6 kcal/g, segundo o órgão governamental dos EUA *Food and Drug Administration*, por sua vez a União Europeia atribuiu um valor calórico de 2,4 kcal/g para todos os polióis (excepto o eritról). Apesar de ser aprovado na União Europeia, o sorbitol não deve ter uma ingestão superior a 50 g/dia, pois o consumo excessivo pode ter um efeito laxativo (Jamieson, 2012).

O sorbitol possui cerca de 60 % da doçura da sacarose e não é carcinogénico. Outra vantagem importante do sorbitol enquanto agente desidratante na desidratação osmótica é que ao contrário dos outros açúcares, este não participa nas reações de *Maillard*. Este comportamento é desejável pois a reação dos açúcares com as proteínas e aminoácidos geram sabores e cores indesejáveis (Deis & Kearsley, 2006).

Os polióis de baixa massa molecular tendem a ganhar e perder água mais rapidamente. No entanto, o sorbitol proporciona um melhor controlo da humidade e consegue manter o equilíbrio no ambiente circundante. Esta velocidade mais lenta na mudança no conteúdo de humidade protege os produtos alimentares em que o sorbitol é usado, mantendo assim a qualidade do produto e aumentando a vida de prateleira (Jamieson, 2012).

## **2.7. Secagem Convectiva**

A secagem por convecção de ar é das técnicas mais simples de secagem, usada principalmente para produtos que são relativamente baixos em valor. Neste tipo de secagem, o calor necessário é fornecido por convecção com ar quente em contacto com o produto. Os secadores mais comuns para a desidratação de frutas são: câmara, túnel e tapete contínuo (Mujumdar & Ratti, 2005).

A câmara é um secador fechado e aquecido, onde o meio de secagem (ar quente) que circula horizontal ou verticalmente incide sobre o produto que é colocado em tabuleiros abertos (Perera & Rahman, 2007). Este secador opera de forma descontínua, mas existe um fluxo forçado de ar que permite que a secagem seja mais uniforme. Este aparelho é mais adequado para operações em pequena escala. No entanto, apesar do custo do equipamento ser baixo, o seu custo de funcionamento é elevado e a eficiência térmica é também baixa (Mujumdar & Ratti, 2005).

O secador de túnel é o equipamento mais utilizado para frutos secos. É semelhante ao secador de câmara, mas os tabuleiros são feitos para se moverem ao longo de um túnel, em que o ar quente flui em co ou contra-corrente. Este tipo de secador é eficiente e é mais apropriado para a aplicação industrial, porque eles podem lidar com taxas de produção maiores (Mujumdar & Ratti, 2005).

Relativamente ao secador de tapete contínuo, este é formado por um tapete (permeável e impermeável) sobre a qual o produto a ser seco é colocado e transportado através de um fluxo de ar quente em contra ou co-corrente. A principal vantagem deste secador é a facilidade de operação contínua e automática que minimiza o trabalho (Mujumdar & Ratti, 2005).

A secagem convectiva é uma operação que envolve simultaneamente a transferência de calor e massa (Magee & McMinn, 1999). O calor provoca a evaporação da água do produto, a qual migra de camadas cada vez mais internas e se desprendem da superfície do produto passando da fase líquida para vapor. A taxa de secagem do alimento pode ser descrita em três fases: (1) uma fase inicial de rápida evaporação de água, porque a fruta contém quantidades relativamente grandes de água não ligada, (2) depois segue-se uma fase de evaporação constante, e por último (3) existe um decréscimo na taxa de evaporação, sendo mais lenta para o fim, porque a água está fortemente ligada aos componentes da fruta e é difícil de extrair (Sinha, 2007).

Os parâmetros como a temperatura, a velocidade do ar, a geometria, a espessura e as características do produto afetam a taxa de secagem (Krokida & Philippopoulos, 2006). De acordo com os autores Ah-Hen *et al.* (2012), Doymaz (2004), Goyal *et al.* (2007) e Zen (2010) quanto maior for a temperatura e a velocidade do ar mais rápida é a taxa de secagem.

A taxa e a conclusão de secagem podem ser monitorizadas por medição das alterações da  $a_w$ . O limite para a  $a_w$  que permite manter a estabilidade dos frutos secos não deve ser superior a 0,65, acima deste valor pode haver crescimento microbiano, a não ser que sejam utilizados agentes antifúngicos (Sinha, 2007).

A desidratação de alimentos melhora a estabilidade do alimento, uma vez que diminui consideravelmente a  $a_w$  do material, reduz a atividade microbiológica e minimiza as alterações físico-químicas durante a sua armazenagem (Mayor & Sereno, 2004). No entanto apesar destes benefícios, a secagem convectiva provoca evidentes mudanças na microestrutura do tecido da fruta e tais mudanças podem tornar o produto inaceitável para os consumidores (Alzamora *et al.*, 2001). Estas alterações estão relacionadas com a perda de água a partir das partes internas do

alimento para a superfície, assim como o ar circundante, possivelmente causa a rigidez, a deterioração e a rutura das paredes celulares, ou mesmo um colapso dos tecidos celulares (Mayor & Sereno, 2004). O encolhimento do alimento durante a secagem por ar quente tem um efeito negativo sobre a qualidade do produto, este fenómeno é particularmente importante para a fruta porque não só afeta a taxa de secagem, mas também as propriedades físicas e funcionais do material desidratado (Aguilera *et al.*, 1998; Magee *et al.*, 2004).

As alterações nas propriedades estruturais do produto irão depender do tipo de secagem e das variáveis operacionais (Aguilera *et al.*, 2003). As frutas devido ao seu elevado teor de água implicam longos tempos de secagem, o que conduz a mudanças acentuadas na cor e na estrutura (Maroulis *et al.*, 2000) e na inevitável perda de nutrientes (Aguilera *et al.*, 2003).

Um secador é um dos equipamentos que consome energia e quando aplicado a géneros alimentícios, torna-se ainda maior este consumo, devido à aplicação de condições de operação suaves, necessárias para se obter um produto final de qualidade aceitável. A secagem por ar quente é o método tradicionalmente usado, no entanto existem outros métodos como a secagem a vácuo e a secagem com o *Heat Pump Drying*. Como pode ser observado pela tabela 7, estes dois últimos apresentam vantagens sobre o primeiro, como uso de temperaturas mais baixas ou eficiência energética, contudo também apresentam alguns inconvenientes com um elevado investimento, ou custos de operação (Mujumdar & Ratti, 2005)

Tabela 7- Comparação de alguns parâmetros para os métodos de secagem por ar quente, por vácuo e por bombas de calor (Perera & Rahman, 2007)

Parâmetro	Secagem por ar quente	Secagem por Vácuo	Secagem por bomba de calor
*TEEH (kg de água/kWh)	0,12 - 1,28	0,72 - 1,2	1,0 - 4,0
Eficiência de secagem (%)	35 - 40	≤ 70	95
Temperatura de operação (°C)	40 - 90	30 - 60	10 - 65
Custo de capital	Baixo	Alto	Moderado
Custo de Funcionamento	Alto	Muito alto	Baixo

\*TEEH – Taxa específica de extração de humidade

## 2.8. Secagem Osmo-Convectiva

A secagem osmo-convectiva consiste na combinação da secagem convectiva com o pré-tratamento osmótico. A influência da desidratação osmótica antes da secagem convectiva no transporte de água, tem sido alvo de investigação por vários autores (Flink & Islam, 1982; Mazza, 1983; Alzamora *et al.*, 1998).

A secagem por convecção normalmente reduz a qualidade do produto ao alterar as suas características originais relacionadas com a aparência, consistência e sabor. No entanto, a combinação dos processos de pré-desidratação por imersão e secagem convectiva permite a obtenção de produtos com características superiores (Berbert *et al.*, 2009). O pré-tratamento osmótico pode ser responsável pela melhoria da qualidade do produto, aumenta a estabilidade dos pigmentos durante o subsequente processo de secagem por ar devido à incorporação de solutos e às baixas temperaturas do processo (Aguilera *et al.*, 1998; Torreggiani, 1993); reduz o encolhimento (Anagnostaras *et al.*, 1998; Campolongo, 2004; Lewicki e Lukaszuk, 2000), reduz o escurecimento enzimático (Castaigne *et al.*, 1983; Chavan, 2012), melhora a textura e retém o sabor (Cunha *et al.*, 1997). Estes atributos satisfazem os consumidores que procuram produtos minimamente processados.

No processo de secagem osmo-convectivo, pode-se economizar cerca de 75 % do consumo de energia, em comparação com a secagem por convecção, pois a desidratação osmótica reduz a quantidade de água que deve ser removida termicamente. Assim, uma secagem convectiva de maçãs até ao teor de humidade 20 % que requer 5 MJ/kg de água evaporada pode ser substituída eficazmente por um processo osmo-convectivo que teria um consumo energético na ordem dos 1,25 MJ/kg de água evaporada (Mujumdar & Ratti, 2005).

Durante a secagem osmo-convectiva foi observado por vários autores (Azoubel *et al.*, 2003; Flink & Islam, 1982; Lenart, 1998; Nsonzi & Ramaswamy, 1998) uma diminuição na taxa de secagem em relação às amostras sem este pré-tratamento, isto deve-se ao ganho de solutos que ocorre na desidratação osmótica e que conseqüentemente proporciona uma maior resistência ao movimento de água.

## 2.9. Cinética de Secagem

A secagem é um processo que envolve em simultâneo a transferência de calor e massa. Um número significativo de mecanismos para o transporte de água tem vindo a ser proposto de forma a entender o fenómeno de desidratação (difusão molecular, difusão de superfície, fluxo de Knudsen). Contudo, supõe-se que durante o decréscimo da taxa de desidratação a água é transferida principalmente por difusão molecular. A análise do fenómeno de transferência de massa deve ser realizado sob a suposição que o coeficiente de difusão efetiva da água irá envolver todos os parâmetros que possam influenciar a taxa de secagem: temperatura, conteúdo de humidade e estrutura do sólido (Berna *et al.*, 1992; Maroulis & Zogzas, 1996).

Para estimar o coeficiente de difusão dos processos de desidratação osmótica e secagem convectiva utilizou-se o modelo baseado na Segunda Lei de Fick (equação 5) tal como os autores Alzamora *et al.* (2001), Ayanwuyi *et al.* (2007), Castaigne *et al.* (1996), Chirife *et al.* (1974), Knor *et al.* (2002).

$$RH = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \times \exp\left(- (2n-1)^2 \frac{tD_{ef}\pi^2}{4L^2}\right) \quad \text{Equação 5}$$

Segundo os autores Abano & Sam-Amoah (2011), Alzamora *et al.* (2001), Castaigne *et al.* (1996), Goyal *et al.* (2007), assumindo que existe uma distribuição uniforme da humidade na amostra e a resistência externa à transferência de massa é nula, pode-se reorganizar a equação 5 na forma apresentada na equação 6.

$$RH = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \times \exp\left(\frac{-D_{ef}t\pi^2}{4L^2}\right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

RH – rácio da humidade (adimensional)

$X_t$  – humidade ao tempo t (g água/ 100 g m.i.)

$X_e$  – humidade de equilíbrio (g água/ 100 g m.i.)

$X_o$  – humidade inicial (g água/ 100 g m.i.)

L – espessura da amostra

t- tempo (s)

$D_{ef}$  – coeficiente de difusão efetiva da água ( $m^2/s$ )

## 2.10. Reações de Escurecimento

As reações de escurecimento provocam a alteração da cor, diminuem o valor nutricional, podem criar *off-flavors* e induzem mudanças na textura. Estas reações podem ser classificadas como enzimáticas ou não enzimáticas, esta última é a mais importante no que respeita ao processo de secagem (Perera *et al.*, 2007). O escurecimento enzimático requer componentes diferentes como o oxigénio, uma enzima e um substrato (Ahvenainen & Laurila, 2000). Quando uma maçã é descascada ocorre o escurecimento enzimático devido à exposição da fruta ao oxigénio, sendo tal processo associado à presença da enzima polifenoloxidase (PPO) e da peroxidase (POD). Os fenóis encontrados na maçã são oxidados pelas enzimas, dando origem a quinonas que se polimerizam e formam compostos de coloração escura denominados de melaninas (Fontes *et al.*, 2009; Melo & Vilas Boas, 2006). A fim de evitar o escurecimento por partes desta enzima pode-se (Ahvenainen & Laurila, 2000):

- Inativar a reação enzimática por ação do calor;
- Remover o oxigénio ou os fenóis;
- Baixar o pH para  $\leq 2$ ;
- Adicionar compostos que inibam as enzimas.

Os dois tipos principais de reações de escurecimento não enzimático são a caramelização e o escurecimento de *Maillard*. O nível de humidade, a temperatura, o pH e a composição são os parâmetros que afetam a taxa de escurecimento não-enzimático (Perera *et al.*, 2007).

O escurecimento de *Maillard* resulta da reação química entre um grupo carbonilo livre de um açúcar redutor com um grupo amino livre de uma proteína e quando aquecido o resultado é uma cor castanha. A reação é altamente complexa e tem um efeito significativo no sabor e na cor dos alimentos. É conhecido como escurecimento não enzimático, dado que a reação não é catalisada por uma enzima (Christian & Vaclavik, 2008). O escurecimento não enzimático é bastante frequente durante o processo de secagem (Ayanwuyi *et al.*, 2007; Forni *et al.*, 1997).

A reação de *Maillard* é favorecida por (Christian & Vaclavik, 2008):

- Elevado teor de açúcar;
- Elevada concentração de proteína;
- Altas temperaturas;
- Elevado pH;
- Baixo teor de água.



## **2.10.1. Inibição do Escurecimento**

### **2.10.1.1. Branqueamento**

O branqueamento é realizado principalmente com o intuito de inativar as enzimas endógenas durante o processamento, uma vez que estas são responsáveis pelo escurecimento, pela deterioração da qualidade nutricional e da textura dos alimentos. Além disso, este é ainda vantajoso em remover o ar do espaço intercelular, reduzir a carga microbiana inicial e limpar a matéria-prima (Acar *et al.*, 2005; Perera *et al.*, 2007). O branqueamento é um processo térmico e pode ser realizado por diferentes métodos, mas a técnica de branqueamento em água é a mais utilizada para este propósito (Acar *et al.*, 2005).

O branqueamento a altas temperaturas e num curto espaço de tempo é capaz de inativar as enzimas PPO, POD e pectina metilesterase (PME) (Lewicki, 2006). A inativação das enzimas PPO e POD é fundamental devido ao escurecimento, além disso a POD também contribui para a desestruturação das membranas celulares diminuindo a sua permeabilidade, assim como pode alterar as características sensoriais do produto devido à formação de radicais livres, pelo que é fundamental a sua inativação (Melo & Vilas Boas, 2006). Por sua vez a PME também têm um efeito adverso no alimento já que aumenta a solubilização da pectina e conseqüentemente conduz ao amolecimento do tecido (Martins *et al.*, 2011).

O branqueamento do tecido vegetal é realizado principalmente como um pré-tratamento normalmente para evitar a formação de sabores e mudanças de cor resultantes de reações enzimáticas (Aguerre *et al.*, 1995). Alguns autores (Borges *et al.*, 2010; Lebert *et al.*, 1993; Mazza, 1983) também repararam que o branqueamento realizado antes da secagem aumentava a taxa de secagem.

Além das vantagens referidas, o branqueamento uma vez que é um tratamento de térmico, apresenta o inconveniente da perda de sólidos do alimento, assim como a destruição da semi-permeabilidade das membranas celulares (Acar *et al.*, 2005; Lewicki, 2006).

### **2.10.1.2. Ácido Ascórbico**

Na indústria alimentar o escurecimento enzimático pode ser evitado por processos térmicos como o branqueamento ou pelo uso de antioxidantes (Tortoe, 2010). Para evitar a oxidação enzimática é necessário inativar a enzima ou eliminar o oxigénio, como eliminar a enzima é por vezes prejudicial e eliminar o oxigénio é difícil, o recurso possível é o uso de antioxidantes (Fontes *et al.*, 2009).

Os ácidos são amplamente utilizados para evitar o escurecimento enzimático e ainda são abrangidos pelo grupo de ácidos naturalmente presentes em tecidos vegetais, tais como o ácido cítrico, ácido málico, ácido fosfórico, ácido tartárico e ácido ascórbico. Em geral, o efeito de inibição é devido à redução do pH (Almeida & Nogueira, 1994).

Tradicionalmente, os sulfitos tinham sido o agente oxidante mais utilizado devido à sua eficácia contra o escurecimento. No entanto, o uso de sulfitos tem algumas desvantagens, em particular efeitos secundários perigosos para pessoas com problemas asmáticos. Por esta razão, em muitos países o seu uso foi restrito (Ahvenainen & Laurila, 2000; Gorinstein *et al.*, 2001).

A alternativa mais estudada tem sido o ácido ascórbico. Este composto é um inibidor muito eficaz do escurecimento enzimático, principalmente por causa da sua capacidade para reduzir as quinonas de volta a compostos fenólicos, antes destas se poderem submeter a uma posterior reação para formar os pigmentos (Ahvenainen & Laurila, 2000). Além disso, o uso do ácido ascórbico como antioxidante, além de ser seguro para o consumo humano, barato e bem aceite pelos consumidores, pode aumentar o teor de vitamina C (Fontes *et al.*, 2009).



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. Matéria-Prima**

A matéria-prima utilizada nesta pesquisa foi a maçã da variedade *Golden Delicious* adquirida no período de maio a julho de 2013, numa frutaria localizada na cidade de Oliveira do Hospital. As frutas que possuíam um calibre de 75/85 foram selecionadas de forma a apresentarem um grau de maturação semelhante (medido pelo °Brix), porque de maio para julho notou-se um aumento na maturação, sendo que no final de julho, as maçãs adquiridas tinham novamente menos açúcar. Estas diferenças devem-se ao facto de as maçãs no início deste estudo serem maçãs armazenadas em estruturas de frio e/ou em atmosferas controladas, de modo que se conservaram desde a colheita até Julho e em agosto serem provenientes de uma nova colheita. Apesar destas diferenças, tentou-se uniformizar as amostras utilizando um °Brix nunca inferior a 12 nem superior a 15.

A maçã *in natura* foi caracterizada ao nível da acidez titulável (AT), pH e sólidos solúveis totais (SST), com o objetivo de se obter padrões de comparação com o produto após o tratamento.

#### **3.2. Soluções Desidratantes**

As soluções desidratantes utilizadas no pré-tratamento osmótico foram preparadas com água destilada. O soluto usado para preparar as concentrações 35, 55 e 65 % (m/m) foi a sacarose comercial (marca RAR), adquirida no comércio local. Foi ainda usado outro agente desidratante, nomeadamente o sorbitol (marca Panreac) para preparar apenas a solução a 65 % (m/m).

Segundo Amarowicz & Chavan (2012), a gama de concentração ótima para as soluções de desidratação osmótica situa-se entre 60 e 70 °Brix, no entanto não foram usadas soluções

com concentrações superiores a 65 °Brix, porque nesta concentração começava a ser difícil dissolver os solutos, precisando inclusive de aquecimento (30 °C).

### **3.3. Pré-tratamento Osmótico**

Após a higienização das maçãs com água corrente, estas foram descascadas e cortadas manualmente em palitos, com as dimensões médias de 4 x 1,2 x 1,3 cm<sup>3</sup> (comprimento, largura e altura).

Após a medição da massa e devida identificação, os palitos de maçã foram imersos nas soluções de sacarose ou sorbitol, contidas em sacos de polietileno, previamente aquecidas num banho termostático a 30 °C. Segundo os autores Martinez & Sereno (2001) e Torreggiani (1993), ao fim de 2 h o processo osmótico tende a entrar em equilíbrio químico, assim estabeleceu-se um período de 4 h (Aguilera *et al.*, 1998) de desidratação osmótica de forma a presenciar com maior evidência este fenómeno.

Um parâmetro importante com uma influência decisiva sobre o melhor tempo de secagem é a temperatura do processo (Lenart, 1996). A transferência de massa aumenta com a temperatura, mas acima de 45 °C, o escurecimento enzimático e a deterioração do sabor começam a ter lugar. Isto é, temperaturas superiores a 60 °C modificam as características do tecido, favorecendo o ganho de sólidos (Torreggiani, 1993). Neste processo estabeleceu-se uma temperatura ótima de 30 °C tendo em conta que o uso de altas temperaturas e longos tempos de secagem podem causar sérios danos no valor nutritivo e sensorial, prejudicando principalmente o sabor, a cor e os nutrientes dos produtos secos (Anagnostaras *et al.*, 2005). Vários autores, nomeadamente El-Aquar & Murr (2003), Lewicki & Porzecka-Pawlak (2005), Gianotti *et al.* (2001), recorreram a esta temperatura para a desidratação osmótica.

As amostras foram colocadas no banho a 30 °C, durante 4 h com uma agitação de 170 rpm. A resistência à transferência de massa na superfície da maçã e a distribuição uniforme da solução osmótica são dificuldades correntes neste tipo de processo, mas que podem ser ultrapassadas com a presença de agitação (Khan *et al.*, 2011). De acordo com Khan *et al.* (2011), a agitação para ser eficaz deve variar entre 100 - 200 rpm, assim o estabelecimento da velocidade de agitação foi feito com base nesta gama e foi fixado em 170 rpm.

No decorrer da desidratação, a solução osmótica torna-se cada vez mais diluída e a força motriz necessária para desidratar a amostra vai diminuindo. É portanto, necessário ter-se um rácio entre a amostra e a solução cerca de 1:20 (m/m), a fim de assegurar uma força uniforme (Azulara *et al.*, 1998; Derossi *et al.*, 2008, Barrera *et al.*, 2004, Knorr *et al.*, 2002, Raghavarao & Rastogi, 1997).

Após o pré-tratamento, as amostras de maçã foram imersas em água destilada para remover o excesso de solução desidratante e seguidamente colocadas sobre papel absorvente, para remover o excesso de água.

Ao longo das 4 h do processo, as amostras foram retiradas da solução osmótica em intervalos de tempo que variaram de 15 em 15 min na primeira hora do processo, 30 em 30 min até às 2 h e de 60 em 60 min das 2 h até ao fim da desidratação osmótica. Nestes intervalos foi medida a massa das amostras, em sistema contínuo para a determinação da RM e PA e em sistema descontínuo para a determinação do GS. No método contínuo, mede-se a massa da amostra e devolve-se a mesma à solução osmótica para continuar o processo de secagem. Alternativamente a este método usou-se o método descontínuo, onde 9 amostras com as mesmas dimensões e geometria, não retornavam para a solução osmótica após a medida da sua massa. Isto foi necessário porque para determinar o GS, teve que se secar as amostras a 105 °C até massa constante, de forma a quantificar os sólidos que estas tinham num determinado período de tempo.

Os cálculos da PA, GS e RM no processo osmótico foram obtidos pelas equações 2, 3, 4. Os valores medidos para a RM, PA e GS foram expressos em percentagem (%), que equivale a:

- Redução de massa em g de água por 100 g de matéria inicial (g/100 g m.i.);
- Perda de água em g de água por 100 g de matéria inicial (g/100 g m.i.);
- Ganho de sólidos em g por g de matéria seca por 100 g de matéria inicial (g m.s./100 g m.i.).

Por sua vez, a taxa de secagem foi expressa em g de água removida por g de massa inicial por h (g água/g m.i. h).

### **3.4. Branqueamento**

O branqueamento do tecido da fruta é usado como um pré-tratamento da secagem e é normalmente realizado para evitar perda de sabores e mudanças de cor devido a reações enzimáticas e para diminuir a carga inicial de microrganismos (Alzamora *et al.*, 1998). O branqueamento pode ser realizado a uma temperatura elevada num curto tempo ou a baixa temperatura e tempo mais demorado (Lewicki, 2006). Neste trabalho optou-se pelo branqueamento realizado a altas temperaturas, a fim de evitar maiores perdas de nutrientes solúveis da maçã (Dias & Guiné, 2007). As amostras de maçã foram imersas num banho de água a 98 °C durante 3 min (Nogueira, 1973). Após o branqueamento os palitos de maçã foram imediatamente arrefecidos em água corrente.

### **3.5. Imersão em Ácido Ascórbico**

O ácido ascórbico é um antioxidante muito usado antes da desidratação osmótica e da secagem por ar (Benedito *et al.*, 1998; Cunha *et al.*, 1997; Forni *et al.*, 1997) e é utilizado com a finalidade de minimizar o escurecimento enzimático, assim como baixar ligeiramente o pH (Nogueira, 1973). Nesta experiência as amostras foram imersas numa solução de 2 g/L de ácido ascórbico durante 10 min, segundo a metodologia de Azuara *et al.* (1998).

### **3.6. Secagem Convectiva**

A secagem dos palitos de maçã foi realizada numa estufa de convecção forçada (OF-12G marca LabCompanion). O período de secagem foi de 16 h, de acordo com Abano & Sam-Amoah (2011). A temperatura de operação (60 °C) foi escolhida com base na faixa de temperaturas usualmente utilizadas para produtos alimentares, nomeadamente 50 - 70 °C (Abano & Sam-Amoah, 2011; Arola *et al.*, 2008; Campolongo *et al.*, 2005; Lewicji & Luckaszuk, 2000).

A variação da massa das amostras foi medida em intervalos de 30 em 30 min até às 10 h de secagem e as últimas 6 h foi de 3 em 3 h. As medidas foram utilizadas para calcular a humidade (%) da amostra ao longo do tempo, assim como a taxa de secagem (g água/ g m.i.h)

### 3.7. Cálculo do Coeficiente de Difusão Efetiva

Procedeu-se primeiramente ao cálculo de RH a partir da equação 6. De seguida obteve-se o  $D_{ef}$  a partir do declive da representação gráfica de  $\ln(RH)$  em função do tempo (Abano & Sam-Amoah, 2011; Ayanwuyi *et al.*, 2007).

Linearizando a equação 6:

$$\ln(RH) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2}{4} \times \frac{D_{ef}t}{L^2} \quad \text{Equação 7}$$

Assim:

$$\text{ordenada na origem} = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) \quad \text{declive} = -\frac{\pi^2}{4} \times \frac{D_{ef}}{L^2}$$

$$D_{ef} = \text{declive} \times \frac{-4L^2}{\pi^2} \quad \text{Equação 8}$$

### 3.8. Métodos Analíticos

#### 3.8.1. Determinação do pH

As amostras *in natura* e desidratadas (3 g) foram trituradas e diluídas em 10 mL de água destilada, de acordo com a metodologia de Sousa (2007). A determinação do pH foi efetuada com recurso a um potenciómetro da marca *Jenway* (3510 pH Meter) corretamente calibrado com duas soluções padrões de pH 4,01 e 7, a 25 °C.

#### 3.8.2. Determinação da Humidade

A determinação da humidade das amostras foi feita por gravimetria utilizando a estufa de convecção natural a 105 °C. O processo de secagem terminou quando as amostras apresentaram massa constante, nomeadamente quando a diferença de massa de três medidas consecutivas fosse inferior a 0,001 g (Corrêa *et al.*, 2003; Fliyou *et al.*, 2003). Após este período, a amostra foi colocada num exsiccador até atingir a temperatura ambiente e depois



registada a sua massa. O cálculo da humidade foi obtido pela equação 9, que traduz a diferença entre a massa inicial ( $m_i$ ) e a massa seca ( $m_s$ ). Se o objetivo for calcular a humidade quando a amostra foi sujeita a um pré-tratamento como a desidratação osmótica, então o cálculo é procedido pela equação 10, ou seja pela diferença da massa da amostra no tempo  $t$  ( $m_t$ ) com a massa seca após o tratamento ( $m_{sf}$ ). A humidade pode ser expressa em % ou em g água por 100 g massa inicial (g/100 g de m.i.).

$$\text{Humidade (\%)} = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

$$\text{Humidade (\%)} = \frac{m_t - m_{sf}}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

### 3.8.3. Determinação da Acidez Titulável

A AT foi determinada por titulação ácido-base segundo a metodologia de Sousa (2007) e de Murphy & Sadler (2010), onde 5 g de amostra foi triturada em 25 mL de água destilada e submetida à titulação com uma solução de NaOH (0,1 N). Recorreu-se a um medidor de pH (Jenway 3510) para detetar o fim da titulação, até o valor de pH atingir 8,2. O cálculo da AT foi realizado segundo a equação 11 e expressa-se em g/100 g de ácido málico.

$$\text{AT} = \frac{N \times V \times f}{m} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

N – normalidade do titulante (mEq/mL)

V - volume do titulante (mL)

f - fator de correção para o ácido málico: 0,067g/mEq

m - massa da amostra (g)

### 3.8.4. Determinação da Massa da Amostra

A massa foi determinada numa balança analítica (marca *RADWAG* da série AS).

### 3.8.5. Determinação dos Sólidos Solúveis Totais

A análise dos SST presentes nas amostras de maçã foi realizada através da leitura direta num refratômetro portátil da Atago (ATC-1E) com uma escala Brix de 0 a 32 °. Após a calibração do aparelho com água destilada, colocou-se uma amostra triturada e diluída sobre o leitor do refratômetro e fez-se a leitura à temperatura ambiente. Os resultados expressaram-se em °Brix.

### 3.8.6. Determinação da Cor

A cor foi avaliada através do sistema de leitura de três parâmetros do CIELab proposto pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1971. Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram fornecidos pelo colorímetro portátil (Konica Minolta CR-400), devidamente calibrado numa placa branca padrão. A coordenada  $L^*$  define a luminosidade ( $L^*=0$  preto e  $L^*=100$  branco) e  $a^*$  e  $b^*$  são responsáveis pela tonalidade ( $+a^*$  vermelho e  $-a^*$  verde;  $+b^*$  amarelo e  $-b^*$  azul). A partir das coordenadas cromáticas Lab procedeu-se ao cálculo da diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) que corresponde à diferença entre a cor de uma amostra com uma amostra de referência (equação 12) (Attia *et al.*, 2012; Silva & Stojanovic, 2007; Ayanwuyi *et al.*, 2007).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad \text{Equação 12}$$

### 3.8.7. Determinação da Redução do Volume

A redução de volume ( $\Delta V$ ) das amostras foi calculada a partir da equação 13, para os processos de desidratação osmótica, osmo-secagem e secagem das amostras *in natura* e com outros pré-tratamentos (branqueamento, ácido ascórbico). Na fórmula que se segue,  $V_0$  é o volume inicial da amostra ( $m^3$ ) e  $V_t$  é o volume da amostra no tempo  $t$  ( $m^3$ ) (Alzamora *et al.*, 2004).

$$\Delta V (\%) = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100 \quad \text{Equação 13}$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. Caracterização da Matéria-Prima

A variedade de maçãs utilizadas neste estudo é a segunda com maior tendência de cultivo a nível mundial, de acordo com as projeções de O'Rourke (2003) e das variedades mais produzidas em Portugal (Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2007). Apesar desta variedade ter a sua origem na América do norte, cada país e região tem o seu próprio cultivo, sendo que a qualidade não é só afetada por fatores genéticos, mas extremamente influenciada pelas práticas de produção e pelo clima (Brown *et al.*, 1996). Assim, foram determinados alguns parâmetros, tais como humidade, AT, pH e SST para a maçã usada neste estudo, de forma a obter uma informação mais precisa da sua composição. Os resultados médios da caracterização química da maçã *in natura* encontram-se na tabela 8.

Tabela 8 - Valores de humidade, acidez titulável (AT), pH e sólidos solúveis totais (SST) para a maçã *in natura*

Parâmetro	Maçã <i>in natura</i>
Humidade (g água/100 g de m.i.)	89,38 ± 0,49
AT (g/100 g de ácido málico)	0,25 ± 0,07
pH (a 25 °C)	3,72 ± 0,06
SST (°Brix)	14,47 ± 2
Relação SST/AT	57,88 ± 2

Observando a tabela 8 verifica-se que a maçã *Golden Delicious* apresenta um valor de humidade bastante elevado. Neste tipo de fruto, esperava-se um valor entre 83,16 - 86,69 segundo Bhatti *et al.* (2010), assim o valor obtido foi superior a esta gama e superior a outros valores encontrados na literatura: 87; 87,3; 83,25 g/100 g m.i. (Mayor *et al.*, 2007; Tung & Ramaswamy, 1981; Antunes *et al.*, 2010).

Analisando o valor obtido para a acidez titulável repara-se que o valor é inferior aos valores de 0,33 e 0,39 obtidos por Fontoura & Freitas (1993) e Sinha (2006), respetivamente. Estas diferenças provavelmente devessem-se ao diferente método usado na determinação da acidez ou às características de cultivo. No caso do estudo de Fontoura & Freitas, as maçãs foram

produzidas no Brasil, ou seja o meio de cultivo e o clima influenciaram as propriedades do fruto e a determinação da acidez foi realizada com um método diferente do desta investigação, a acidez foi avaliada diretamente no sumo de maçã. Contudo o valor obtido neste estudo é bastante próximo dos valores encontrados pela Associação dos Produtores de Maçã de Alcobaça (2007) e Fontoura *et al.* (1999), 0,23 e 0,26, respetivamente.

Na determinação do pH verifica-se que se obtiveram valores para a maçã inferiores ao da Associação dos Produtores de Maçã de Alcobaça que auferiu 3,99 e superiores a 3,44, reportado por Bernardi *et al.* (2005), no entanto aproxima-se do valor de 3,79 obtido por Chen *et al.* (2007). A origem das diferenças entre o valor obtido e os valores mencionados pode estar na diferença de maturação da maçã ou como já foi referido nas diferentes zonas de cultivo (Portugal, Brasil e China).

No que diz respeito aos SST, o valor obtido ficou acima dos valores obtidos nomeadamente 12,4; 12,9; 12,2 e 13,4 pela Associação dos Produtores de Maçã de Alcobaça (2007), Bernardi *et al.* (2005); Sinha (2006) e Chen *et al.* (2007), respetivamente, não estando o valor obtido muito distante deste último e bastante próximo de 15,1 reportado por Fontoura & Freitas (1993).

A perceção sensorial das maçãs é influenciada de forma significativa pela relação entre o teor de açúcares (teor em SST) e o teor em ácidos orgânicos (AT). Esta relação é um importante indicativo do sabor uma vez que durante o período de maturação esta relação tende a aumentar devido ao aumento dos açúcares e diminuição dos ácidos (Aldrigue *et al.*, 2002). Fontoura & Freitas (1993) indicam que a maçã deve ter 12 ou mais de SST, o que se verifica neste estudo, mas o facto da maçã *Golden Delicious* apresentar baixa acidez pode ser um problema, pois o ideal era uma relação SST/AT de 30. A relação SST/AT que se obteve (57,88) neste estudo parece ser bastante elevada comparativamente a este valor. Posto isto, talvez fosse ideal utilizar a maçã *Golden Delicious* com menor grau de maturação ou mesmo recorrer a outra variedade.

Neste ensaio, usou-se a maçã na forma de palitos porque o objetivo era criar um produto que se assemelhasse aos palitos de batata frita. Sendo assim, as dimensões médias consideradas foram 4 x 1,2 x 1,3 cm<sup>3</sup> (comprimento, largura e altura). A espessura da amostra foi pouco superior à recomendada por Lenart & Lewicki (2006), que demonstraram que a espessura do material não deve exceder 1 cm. Embora esta forma não seja a que mais favorece a transferência de massa, pois segundo Castaigne *et al.* (1996) e Elicin & Sacilik (2006), a diminuição da espessura da amostra provoca uma diminuição no tempo e um aumento na taxa

de secagem. E de acordo com Bartolucci *et al.* (1985) até um certo valor da razão da área da superfície (A) com espessura (L), maiores áreas superficiais (como círculos) originaram maior PA e GS comparativamente com as áreas superficiais inferiores (como palitos). Contudo após exceder um certo limite da razão A/L, as áreas superficiais maiores favoreceram o GS à custa da menor PA ou seja, perdem menos massa. A baixa PA para razões muito elevadas de A/L é resultado da baixa difusão da água devido à acumulação excessiva de solutos.

É interessante observar que, nas mesmas condições osmóticas, o diferente tamanho da amostra *in natura* pode resultar em produtos finais com características muito diferentes.

## 4.2. Pré-Tratamento Osmótico

### 4.2.1. Cinéticas de Desidratação Osmótica

Durante a desidratação osmótica, as cinéticas de ganho de sólidos, de perda de água e redução de massa são fortemente afetadas pelo tipo de agente osmótico e pela sua concentração (Moreira & Sereno, 2003). Assim, no presente estudo pretende-se avaliar o efeito que os solutos sacarose e sorbitol e as concentrações 35, 55 e 65 % (m/m) têm nestes parâmetros.

Na desidratação osmótica existem três tipos de transferência de massa em contracorrente: uma importante saída de água a partir do produto para a solução; uma transferência de soluto a partir da solução para o produto (Raoult-Wack, 1994) e uma retirada de sólidos do alimento para o meio osmótico. Nesta última, os solutos são quantitativamente negligenciáveis em comparação com os dois primeiros tipos de transferência, mas de grande importância na perda de qualidade do produto, pois existe uma lixiviação de solutos próprios do produto (açúcares, ácidos orgânicos, vitaminas, sais minerais) que são essenciais na composição do produto final (Aguirre *et al.*, 2011; Raoult-Wack, 1994).

Na figura 5 apresenta-se o GS para as amostras tratadas osmoticamente durante 4h a 30 °C, utilizando soluções de sacarose a 35, 55 e 65 % (m/m).

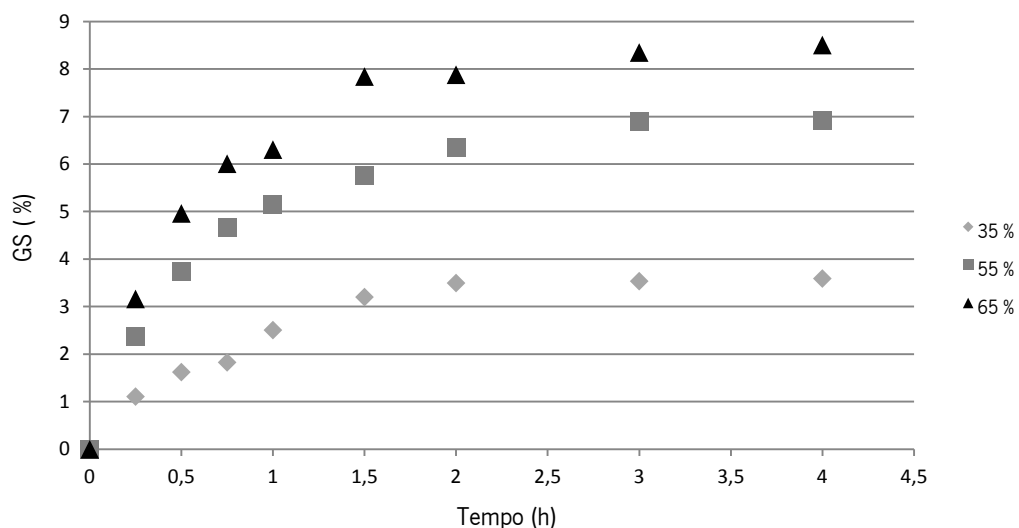


Figura 5 - GS (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.

Pela análise da figura 5, pode-se reparar que existe uma intensa incorporação de sólidos nas primeiras 2 h para todas as concentrações de sacarose. Observa-se que a partir deste período, a solução com 35 % sacarose tende a estabilizar por completo, ao contrário das soluções com concentrações 55 e 65 % que mostraram um ligeiro aumento ao longo do tempo. Este aumento foi pouco expressivo, sendo que entre as 3 h e 4 h do processo osmótico os valores começaram a ficar constantes. Este comportamento era esperado, já que o processo de desidratação osmótica acontece de forma a alcançar o equilíbrio do potencial químico entre em solução osmótica e a seiva celular do fruto (Kowalska & Lenart, 2001).

Os dados da figura 5 evidenciam que o GS aumenta com o aumento da concentração da solução osmótica, assim as amostras com 35, 55, e 65 % de sacarose adquiriram 3,59; 6,91 e 8,51 % de sólidos, respetivamente.

No estudo de Martinez & Sereno (2001) também se observa um aumento no GS com o aumento da concentração das soluções osmóticas. Este aumento só foi representado durante as primeiras 1,5 - 2 h, pois os autores consideraram que a primeira fase do processo terminava neste período e após esta etapa, esperava-se atingir o equilíbrio. Os resultados da figura 5 vão ao encontro deste pressuposto.

O aumento de sólidos é maior no início da desidratação osmótica uma vez que a força motriz (gradiente de concentração) para a transferência de sólidos diminui ao longo do tempo, à medida que os sólidos passam da solução para a amostra. Além disso, a maior absorção resulta na formação de uma camada de sólidos à superfície da amostra, que atua como uma barreira contra a absorção do soluto osmótico (Khan *et al.*, 2011).

Amami *et al.* (2006) elegeram a maçã (var. *Golden*) como objeto de estudo e selecionaram a sacarose como agente desidratante. Após 4 h de imersão, verificaram que o GS aumentou de 0,54 até 0,6 g/g m.s. para as soluções osmóticas com concentrações de 55 e 65 °Brix, respetivamente. Convertendo os valores experimentais para g/g m.s. o GS aumentou de 0,58 até 0,61 g/g m.s. para as soluções osmóticas com concentrações de 55 e 65 °Brix. Confrontando os valores, nota-se que os valores obtidos são bastante próximos aos do estudo Amami *et al.* (2006), certamente devido a alguns parâmetros de operação que têm em comum. O facto dos valores obtidos serem um pouco superiores aos de Amami *et al.* (2006) talvez se deva ao uso de uma maior proporção na razão solução/maçã.

Segundo os dados obtidos por Kaymak-Ertekin & Sultanoğlu (2000) que também experimentaram condições bastante concordantes com as deste estudo, o GS para as soluções



osmóticas com 40, 50 e 66 % de sacarose foram de 8,06; 8,67 e 10,45 %. Comparando com os valores obtidos (3,59; 6,91 e 8,51 %) nas soluções de 35, 55 e 65 %, repara-se que o GS neste ensaio foi inferior. Igualmente acontece, comparando os dados deste estudo com os obtidos por Figueiredo *et al.* (2005), que ao desidratar osmoticamente a manga com 55 e 65 °Brix obteve um GS entre 10-12 % e por Karathanos *et al.* (1998) que ao desidratar maçãs (20°C) com 40 e 50 % (m/m) sacarose obteve 10 e 11 % de GS. As diferentes condições de processamento, como o rácio da amostra com a solução, a velocidade de agitação, a concentração do soluto, o tipo de soluto, a temperatura e a geometria da maçã, estão certamente na origem destas desigualdades. Mas observa-se que os valores não estão muito discrepantes dos valores mencionados pelos autores Amami *et al.* (2006), Figueiredo *et al.* (2005), Kaymak-Ertekin & Sultanoglu (2000) e Kowalska & Lenart (2001).

A figura 6 expõe o efeito do tipo de soluto utilizado na desidratação osmótica sobre o GS, nomeadamente a sacarose e o sorbitol a 65 % (m/m), durante 4 h do processo osmótico a 30 °C.

O tipo de agente osmótico utilizado afeta fortemente as cinéticas de remoção de água e de GS. O aumento da massa molar dos solutos provoca uma redução no GS e um aumento da perda de água (Torreggiani, 1993). De acordo com este autor os sacarídeos de baixa massa molecular (glucose, frutose, sorbitol) favorecem a absorção, devido à elevada velocidade de impregnação das moléculas de açúcar, permitindo um enriquecimento de sólidos.

Segundo o estudo de Anagnostaras *et al.* (2005), os solutos de massa molar inferior também favoreceram a absorção de sólidos, no entanto, não partilha da mesma opinião que o autor acima mencionado, no que diz respeito à PA. Na investigação de Anagnostaras *et al.* (2005) as amostras de maçã foram imersas em soluções de glucose e de sacarose com 30 % e 45 % (m/m). O GS e a PA foram calculados para um tempo de imersão de 12 h, a 40 °C. Os dados revelaram que os GS nas soluções de glucose foram maiores em ambas as concentrações de sacarose (30 e 45 %), assim como houve uma maior PA.

Segundo Bolin *et al.* (1983), após 3 h de desidratação osmótica, as maçãs que foram colocadas numa solução de frutose (70 % m/m) tinham absorvido 50 % mais de sólidos do que aquelas que foram colocadas numa solução de sacarose. Após 5 h de desidratação o GS obtido foi de 8,2 % para a sacarose e 12,3 % para a frutose.

Pela análise da figura 6, pode-se visualizar um aumento no GS ao longo do tempo para as duas amostras, assim como se denota uma estabilização desse ganho a partir das 2 h. Isto era expectável, pelas razões já mencionadas. Pode-se ainda observar, que para a mesma concentração de soluto (65 % m/m), a amostra imersa na solução de sorbitol apresentou um maior GS (10,99 %) em relação à que foi imersa na solução de sacarose (8,51 %).

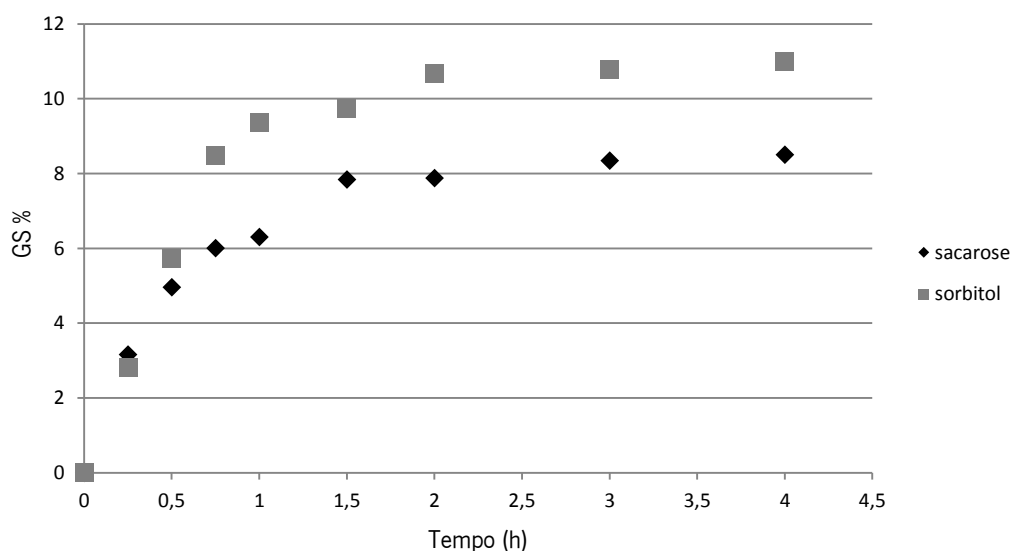


Figura 6 - GS (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).

Ventura (2004), ao desidratar osmoticamente a goiaba vermelha utilizando como agentes osmóticos a sacarose e o sorbitol (53 - 73 °Brix) durante 60 a 180 min, obteve valores superiores no que diz respeito ao GS empregando o sorbitol como agente osmótico. Nomeadamente 6,6 a 8,8 % de sólidos incorporados, contrariamente ao uso da sacarose, que reporta os 4,6 a 6,4 %.

Analisando os dados obtidos na figura 6 observa-se que o valor de GS na desidratação osmótica com sorbitol (10,99 %) está compreendido nos valores relatados na literatura de desidratação osmótica de outras frutas, utilizando o agente desidratante sorbitol. Conforme Raoult-Wack (1994), a desidratação osmótica normalmente envolve uma limitada incorporação de soluto 5 - 25 % e uma remoção de água significativa entre 40 - 70 %. Isto é conseguido principalmente pela utilização de soluções altamente concentradas 50 - 75 %.

A transferência de água a partir do fruto e de substâncias do meio osmótico para dentro do mesmo são acompanhadas por um fluxo de solutos naturais que saem do fruto, para a solução hipertônica. A parede celular da maçã é uma estrutura complexa que atua como uma

membrana semipermeável e não seletiva (Kowalska & Lenart, 2001). O ideal era que não houvesse a perda destes solutos naturais, nem a incorporação de sólidos da solução osmótica que alterasse as características organoléticas do produto (Bolin *et al.*, 1983). Contudo, este fenómeno pode ser encarado como um inconveniente ou como uma oportunidade de melhorar a qualidade sensorial do produto. Os solutos transferidos do meio para o fruto, permitem introduzir a quantidade desejada de um princípio ativo, de um agente conservante ou qualquer soluto de interesse nutricional (Raoult-Wack, 1994). Estas alterações na composição podem ser exploradas de modo a criar propriedades modificadas no produto final. (Schubert & Ulrich, 2000).

O sorbitol é frequentemente usado em produtos de baixo valor calórico, por apresentar um valor energético de 2,6 kcal/g, bastante inferior ao da sacarose (4 kcal/g), além disso como tem a particularidade de ser metabolizado de forma muito lenta é usado em produtos para diabéticos (Aagenaes *et al.*, 1980). Ponderando os benefícios do uso de sorbitol, o maior GS pode não ser o fator que descarte o uso deste soluto na desidratação osmótica, porque além do mais, o sorbitol tem um poder adoçante inferior ao da sacarose, cerca de 60 % da doçura da sacarose, o que permite a sua incorporação em maior quantidade no fruto, sem tornar o alimento excessivamente doce (Jamieson, 2012).

Na figura 7 apresenta-se a PA para as amostras desidratadas osmoticamente durante 4h a 30 °C, utilizando soluções de sacarose a 35, 55 e 65 % (m/m).

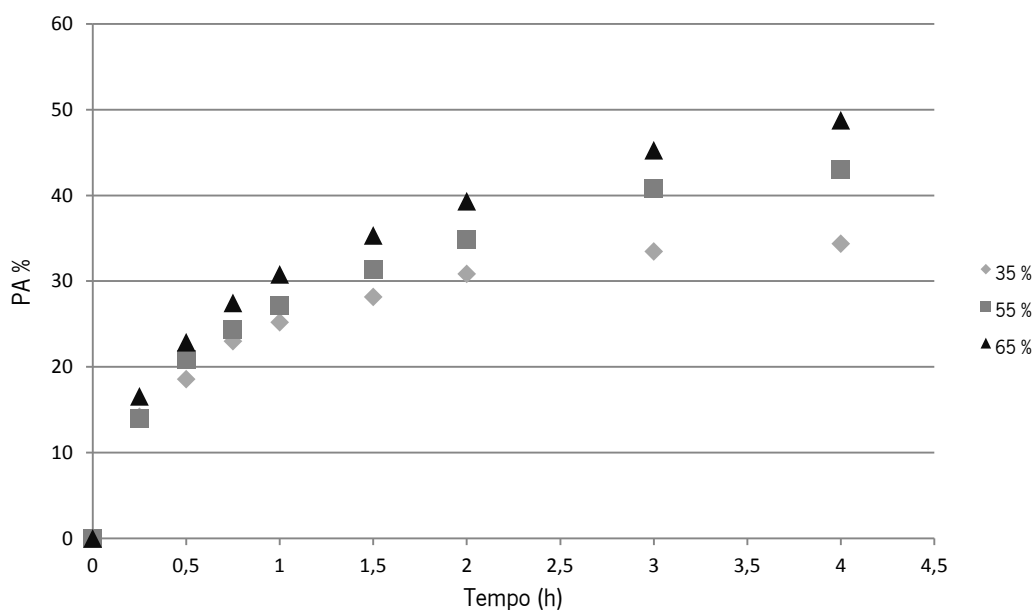


Figura 7 - PA (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.

Pela análise da figura 7, pode-se observar que o aumento da concentração de sacarose na solução osmótica promoveu um aumento na PA durante o processo. De acordo com o que foi relatado por Figueiredo *et al.* (2005), İspir & Toğrul (2007), Karathanos *et al.* (1998), Karathanos *et al.* (2000), este facto deve-se ao aumento da pressão osmótica. Pode ainda observar-se que as amostras apresentam um comportamento bastante semelhante no início da desidratação e às 2 h do processo osmótico já tinham perdido pelo menos 30 % de água; após este período a amostra a 35 % de sacarose mostrou tendência para estabilizar a PA e as restantes amostras perderam os últimos cerca de 8 % da água nas 2 h seguintes. Este período de maior percentagem de remoção de água vai de encontro ao que relatou Torreggiani (1993).

Resultados similares aos apresentados na figura 7 foram obtidos na investigação de Ayanwuyi *et al.* (2007) e Flink & Islam (1982) que ao variarem as concentrações de sacarose também obtiveram maiores PA com o aumento da concentração do soluto.

A figura 8 evidencia o efeito do tipo de soluto utilizado na desidratação osmótica sobre a PA, nomeadamente a sacarose e o sorbitol a 65 % (m/m), durante 4 h do processo osmótico a 30 °C.

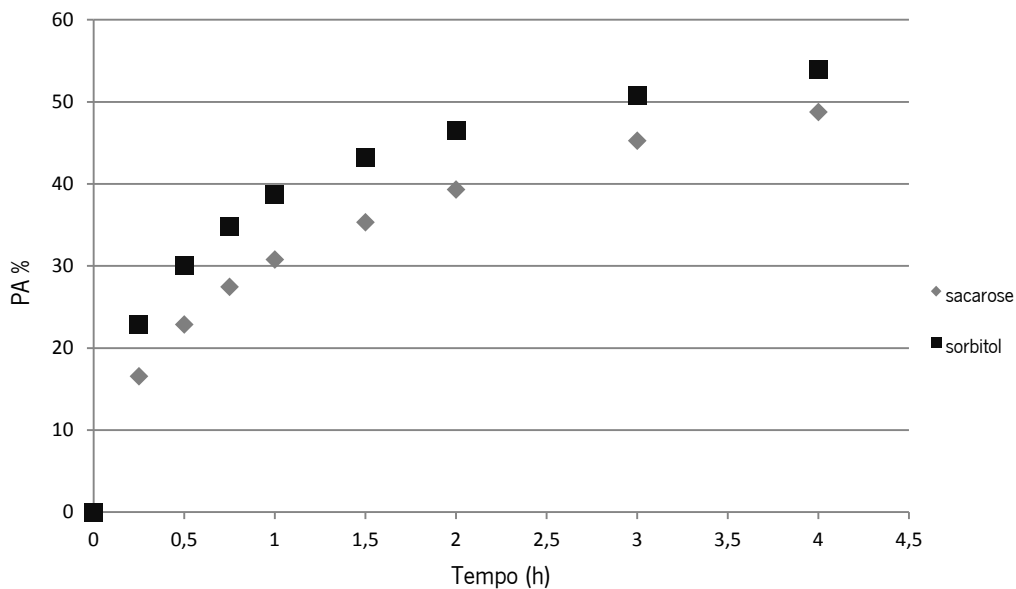


Figura 8- PA (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).

Apesar das duas soluções usadas terem a mesma massa de açúcar (65 g por 35 g de H<sub>2</sub>O), o sorbitol tem cerca de metade da massa molar da sacarose, daí que a solução de sorbitol tenha quase duas vezes mais a concentração de moléculas dissolvidas de soluto. A transferência de massa é favorecida pelo uso de soluções altamente concentradas (Flink & Hawkes, 1978; Azuara *et al.*, 1990) e pela redução do tamanho das partículas (Bartolucci *et al.*, 1985). Isto significa que a solução de sorbitol a 65 % tem quase o dobro da força osmótica da solução de sacarose também a 65 %.

Assim, como se pode observar na figura 8 existe uma maior percentagem de PA com o uso de sorbitol em relação à sacarose. Esta diferença é mais notável nas primeiras 2 h do processo, sendo que a partir desse tempo, a PA das duas amostras aproxima-se, contudo não deixando o sorbitol de ter a maior PA no final das 4 h do processo.

Ventura (2004) conseguiu maior PA com a solução de sorbitol (53 - 73 °Brix) em relação à de sacarose, ao desidratar osmoticamente a goiaba vermelha. Este obteve 34 a 43 % de PA utilizando o sorbitol e 20 a 34 % com a sacarose, nas melhores condições do processo. Também Forni *et al.* (1997), obtiveram valores superiores de PA (42,62 %) na desidratação osmótica de damascos com sorbitol 65 % (m/m) do que na solução de sacarose (39,27 %) à mesma concentração.

No estudo de Bartolucci *et al.* (1985), foram utilizados vários agentes osmóticos, entre os quais uma solução de sacarose (59 °Brix), uma solução de frutose (60 °Brix) e uma solução de glucose (51°Brix), a fim de entenderem o efeito que estes solutos têm nos parâmetros PA, GS e RM. Os resultados obtidos mostraram que para os solutos glucose e frutose obtiveram uma PA (56,1 e 58,1 %) superior ao soluto sacarose (48,4 %).

Bolin *et al.* (1983) ao desidratar a maçã com soluções de 70 % (m/m) também verificaram que o montante final de PA foi superior com a solução de frutose (65 %) em relação ao uso da desidratação com sacarose (61 %). Também na experiência de Karathanos *et al.* (2000), a glucose resultou em maiores valores de PA do que a sacarose, sob as mesmas condições do processo (concentração da solução e a duração do tratamento osmótico).

Os valores relatados pelos autores acima descritos mostram ser superiores para os solutos (sorbitol, glucose, frutose) com massas molares inferiores à da sacarose, no aumento de PA. O mesmo pode ser observado na figura 8, com a amostra que foi imersa em sorbitol atingir uma PA superior (53,92 %) à amostra da solução de sacarose (48,78 %). Pode-se ainda reparar

que estes valores de PA foram superiores, mas não muito divergentes dos valores obtidos pelos autores Ventura (2004) e Forni *et al.* (1997).

A figura 9 apresenta a RM das amostras ao longo de 4 h de desidratação osmótica, com a variação da concentração do soluto sacarose.

No início do processo, a taxa de desidratação osmótica é mais elevada devido a uma grande diferença de pressão osmótica entre a solução e a seiva celular do fruto e a resistência de transferência de massa é mínima (Kowalska & Lenart, 2001). Segundo Torreggiani (1993) não é habitual prolongar a desidratação osmótica, quando se atinge a RM em 50 %, porque a partir desse instante a taxa de osmose começa a diminuir. Como é observável na figura 9, o processo de desidratação terminou sem que a amostra com maior percentagem de RM (48,27 %) alcançasse esse valor.

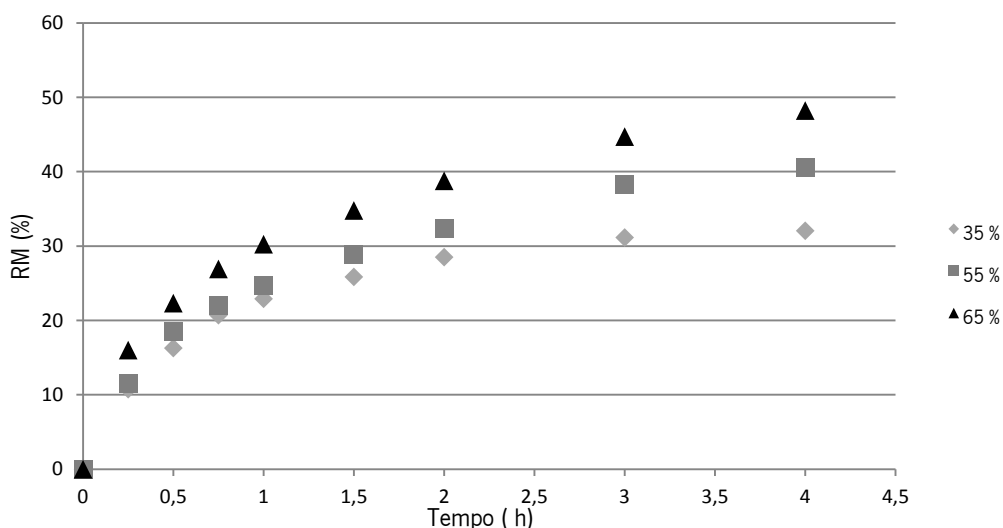


Figura 9 - RM (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas com as concentrações de 35, 55 e 65 % (m/m) de sacarose.

Através da figura 9 pode-se visualizar que a RM atingiu maiores valores quando a concentração de sacarose foi superior. Além disso, constatou-se que o valor de RM aumenta à medida que aumenta o tempo de desidratação. Resultados semelhantes foram observados por Berbert *et al.* (2008), Castaigne *et al.* (1983), Emam-Jomeh *et al.* (2006), Moura (2004) e Nieuwenhuijzen *et al.* (2001). De acordo com Azoubel *et al.* (2006), o aumento da concentração da solução osmótica não só aumenta a RM, como é considerado o parâmetro com maior efeito na PA e GS, seguido pelo tempo de imersão.

Pela análise da figura 9, nota-se mais uma vez que a desidratação osmótica é mais intensa até às 2 h do processo, neste momento as amostras já perderam pelo menos 30 % de massa, sendo a que a partir desse instante a amostra imersa na solução de 35 % de sacarose não tende a perder muito mais massa, e as restantes amostras (55 e 65 %) perdem pouco mais de 8,22 e 9,45 %, respetivamente. Pode-se constatar que a PA (Figura 7) foi sempre superior ao GS (Figura 5), permitindo que a RM aumentasse ao longo do tempo. O facto de o GS ter tido uma estabilização mais pronunciada do que a PA a partir das 2 h, explica o contínuo aumento da RM, ainda que mais moroso porque o sistema provavelmente está perto de atingir o equilíbrio. Para o presente estudo, o caso de a PA ser superior ao GS é extremamente importante, uma vez que se deseja preservar ao máximo as características da fruta *in natura*, incorporando-se menos sólidos. De acordo com Lenart (1996), o processo de desidratação deve ser realizado num curto período de tempo, a fim de alcançar um elevado grau de desidratação com um GS relativamente pequeno.

O valor de 40,75 % para RM foi obtido para a concentração de 56 % de sacarose, por Azoubel *et al.* (2006), na desidratação de papaia (34 °C durante 3,5 h). Tendo em conta que os parâmetros do processo são semelhantes aos desta experiência, pode-se comparar com mais rigor o valor obtido. Para a concentração de 55 % de sacarose o valor obtido (40,61 %) foi bastante próximo do valor para 56 % de sacarose.

A RM descreve uma relação entre os fluxos envolvidos em todo o processo osmótico (principalmente entre PA e GS). Sendo que a taxa de perda de água é mais elevada do que a taxa de ganho de sólidos no material desidratado (Kowalska & Lenart, 2001; Raghavarao & Rastogi, 1997), a PA é o fator chave na redução de massa. Como já foi descrito, os autores Bartolucci *et al.* (1985), Bolin *et al.* (1983), Karathanos *et al.* (2000) e Ventura (2004) obtiveram PA superiores quando usaram solutos com massas moleculares inferiores. Posto isto, tudo aponta para uma maior RM com o uso destes solutos.

Pode-se observar pela figura 10 que a solução osmótica com sorbitol apresenta inicialmente uma maior RM do que a solução com sacarose. Esta superioridade mantém-se até aproximadamente 2 h do processo, a partir daí os valores tendem a aproximar-se, não deixando porém da solução osmótica com sorbitol de possuir uma RM superior à de sacarose.

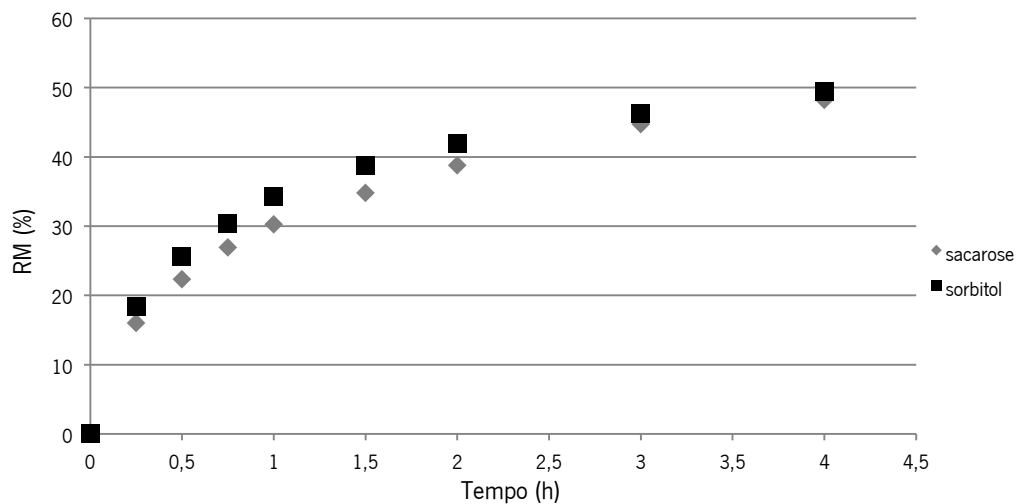


Figura 10 - RM (%) das amostras de maçã submetidas a soluções osmóticas de sacarose e sorbitol com a mesma concentração 65 % (m/m).

No sentido de compreender a influência que a diferença de solutos tem nos parâmetros PA, GS e RM, Bartolucci *et al.* (1985), recorreram às soluções de sacarose (59 °Brix); frutose (60 °Brix) e de glucose (51 °Brix). Os dados obtidos neste ensaio mostraram que a RM foi superior para os solutos glucose e frutose (43,7 e 39,2 %, respetivamente) em relação à sacarose (29,2 %). Com base nestes resultados, pode-se deduzir que as diferenças nas massas moleculares dos solutos estão na origem da alteração da RM e como tal, estabelecendo uma comparação com os dados obtidos (Figura 10), era expectável que a solução de sorbitol apresentasse maior RM que a de sacarose, no entanto a diferença entre os solutos não foi tão acrescida como no estudo de Bartolucci *et al.* (1985).

Na investigação de Bolin *et al.* (1983), após 5 h de desidratação osmótica as maçãs que foram colocadas nas soluções de frutose e sacarose (70 % m/m), apresentaram RM bastante semelhantes. As maçãs imersas em frutose tinham perdido 44 % de massa e as que foram colocadas na solução de sacarose 45 %. Confrontando os valores obtidos (Figura 10) com os deste estudo, nota-se que a diferença entre a RM da solução de sorbitol com a de sacarose é pouco mais de 1 %, tal como acontece neste estudo. Ainda comparando o valor obtido para 65 % de sacarose com o de 70 % deste estudo, verifica-se que foi perdida maior percentagem de massa (48,23 %) do que neste estudo (45 %).



Na figura 11, apresentam-se as taxas de secagem dos tratamentos osmóticos com sacarose e sorbitol, expressas em g de água perdida por g de matéria inicial, por h de secagem. Aqui representaram-se todas as amostras na mesma figura de forma a sintetizar a informação.

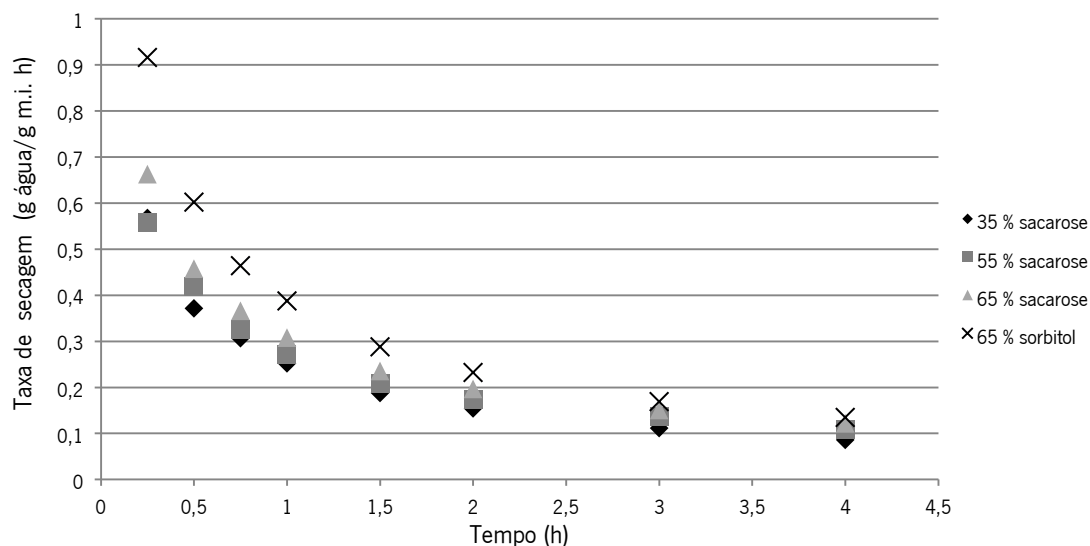


Figura 11 - Variação da taxa de secagem da desidratação osmótica com os solutos sacarose e sorbitol, ao longo de 4 h.

Pela análise da figura 11 pode-se reparar que a taxa de desidratação osmótica diminuiu ao longo do tempo para todas as amostras. As amostras imersas em sacarose demonstraram um comportamento bastante semelhante, como tal, a diferença entre as taxas de desidratação é pouco perceptível. Repara-se que a amostra que apresenta maior taxa de desidratação osmótica é a amostra imersa em 65 % de sorbitol, contudo ao longo do tempo tende a aproximar-se das restantes taxas de secagem.

De acordo com os dados reportados por Bolin *et al.* (1983) nas primeiras 3 h de desidratação osmótica de maçãs com soluções de sacarose e frutose, as taxas de migração de água para o exterior foram essencialmente as mesmas para os dois solutos. No entanto, com o aumento do tempo de contacto entre a solução osmótica e a amostra, a maçã começou a absorver mais frutose do que a sacarose, daí que após este período as diferenças tornaram-se mais pronunciadas. A taxa de água perdida foi mais rápida para a solução com frutose. Apesar das amostras imersas em sacarose deterem taxas de secagem muito semelhantes, repara-se através da figura 12, que ao final das 4 h de desidratação osmótica as amostras imersas em concentrações superiores alcançaram valores inferiores de humidade (%).

A amostra osmoticamente tratada com sorbitol alcançou no mesmo tempo de secagem o menor valor de humidade (%), facto este que já era previsível devido ao distanciamento da taxa de secagem apresentado na figura 11, em relação às restantes amostras.

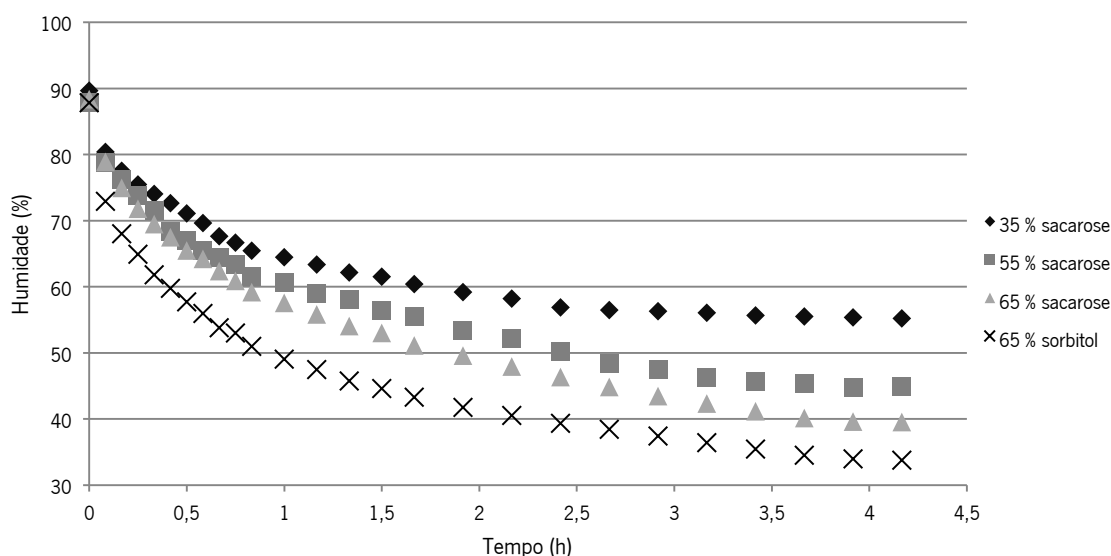


Figura 12 - Variação da humidade (%) das amostras sujeitas a desidratação osmótica com os solutos sacarose e sorbitol, ao longo de 4 h.

A desidratação osmótica é um processo que remove parcialmente a água do alimento (Khan, 2012; Karathanos *et al.*, 2000; Knor *et al.*, 2002). As amostras no final de 4 h do processo atingiram valores ainda elevados de humidade (%) que correspondem a uma  $a_w$  entre 0,82 para a amostra imersa em 65 % de sorbitol e 0,94 para a amostra imersa em 35 % de sacarose. Estes valores de  $a_w$  foram estimados pelo anexo 11 que diz respeito à isotérmica de dessorção da água para a maçã (Bourne, 1986). O maior grupo de bactérias patogénicas transmitidas por alimentos tem  $a_w$  mínima para o crescimento no intervalo de 0,94 a 0,95, mas existem bactérias que conseguem crescer a níveis de  $a_w$  de 0,86. Por sua vez as leveduras e os fungos são encontrados em meios mais secos que as bactérias (Christian, 2000). Assim, verifica-se a importância de aplicar um método de secagem posterior à desidratação osmótica, de modo a tornar o alimento estável, no que diz respeito ao desenvolvimento microbiano.

Na tabela 9 apresentam-se as equações do ajuste linear aplicado à representação de  $\ln(RH)$  em função de  $t$ , assim como os seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os resultados obtidos no cálculo dos coeficientes de difusão efetiva.

Pode-se observar pela tabela 9 que o coeficiente de difusão efetiva para as amostras desidratadas por osmose mantem-se igual, independentemente do aumento da concentração do soluto e da diferença de solutos utilizados.

Tabela 9 - Equações do ajuste linear, valores de  $R^2$  e  $D_{ef}$  para a desidratação osmótica

		Equação do ajuste linear	$R^2$	$D_{ef}$ ( $m^2/s$ )
Sacarose	35%	$Y = - 0,0003x - 0,159$	0,988	$1,751 \times 10^{-8}$
	55%	$Y = - 0,0003x - 0,002$	0,940	$1,751 \times 10^{-8}$
	65%	$Y = - 0,0003x - 0,074$	0,940	$1,751 \times 10^{-8}$
Sorbitol	65%	$Y = - 0,0003x - 0,305$	0,969	$1,751 \times 10^{-8}$

Quanto maior é o coeficiente de difusão mais rápido é o transporte de água do meio poroso para o exterior, assim a proximidade dos  $D_{ef}$  era previsível depois da análise da figura 11, porque as amostras apresentaram uma taxa de secagem muito semelhante. No entanto, esperava-se que os coeficientes de difusão ditassem com maior exatidão as diferenças entre as taxas de secagem de forma a apontar qual foi a concentração que teve maior e menor efeito, porque nota-se que as amostras atingem valores de humidade diferentes no final da secagem. Tal não foi possível, talvez porque as diferenças entre as taxas de secagem são pequenas demais para que a linearização das retas traçadas apresentassem declives diferentes. Assim, mesmo que as retas do ajuste linear sejam diferentes, elas apresentam um comportamento paralelo, ou seja o mesmo declive, o que conduziu ao mesmo coeficiente de difusão.

Segundo Raghavarao & Rastogi (1997) os coeficientes de difusão efetiva aumentam com o aumento da concentração do meio osmótico devido à elevação da pressão osmótica. Como o gradiente de pressão é a força motriz para a transferência de massa, um aumento nesta conduz a coeficientes de difusão mais elevados.

Khin *et al.* (2007) ao desidratarem osmoticamente maçãs com 45, 55 e 65 % (m/m) de sacarose a 25 °C, obtiveram um aumento dos coeficientes de difusão com o aumento da concentração, nomeadamente de  $1,379 \times 10^{-10}$  para  $1,656 \times 10^{-10} m^2/s$ . Igualmente, Ayanwuyi *et al.* (2007) observaram um aumento do  $D_{ef}$  com o aumento da concentração osmótica, ao desidratarem melão com soluções de 40, 50 e 60 °Brix a 30 °C. Os valores obtidos foram de  $1,040 \times 10^{-8}$  a  $3,363 \times 10^{-8} m^2/s$ . Também Gekas & Mavroudis (1997) aumentando a concentração

de sacarose (entre 45 e 65 % m/m) obtiveram maiores valores de  $D_{ef}$  para as maiores concentrações. Os valores de  $D_{ef}$  ficaram compreendidos entre  $2,27 \times 10^{-10}$  e  $2,97 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Apesar de no presente estudo não ter sido possível encontrar uma tendência para o  $D_{ef}$ , nota-se que os valores se encontram na mesma ordem de grandeza que Ayanwuyi *et al.* (2007) e são superiores aos do estudo de Gekas & Mavroudis (1997) e Khin *et al.* (2007). Na perspectiva de Azoubel & Murr (2004) a comparação dos  $D_{ef}$  obtidos com os que são reportados na literatura não é muito viável, devido ao uso de métodos diferentes para estimar o  $D_{ef}$  e à diferença da composição e estrutura física da amostra. Contudo, pode-se dizer que os valores obtidos enquadram-se na gama típica dos  $D_{ef}$  ( $10^{-8}$  a  $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ) para a secagem de alimentos (Magee & McMinn, 1999).

#### 4.2.2. Caracterização das Amostras Osmo-Desidratadas

No sentido de analisar as propriedades finais das amostras de maçãs osmoticamente desidratadas, ao fim de 4 h a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  nas soluções de sacarose e sorbitol, analisou-se a AT, pH e SST (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores de acidez titulável, pH, sólidos solúveis totais e razão entre os sólidos solúveis totais com a acidez titulável, para a maçã *in natura* e para as amostras pré-tratadas por desidratação osmótica

Parâmetro	<i>in natura</i>	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
		35	55	65	65
AT (g/100 g de ácido málico)	$0,25 \pm 0,07$	$0,22 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,05$	$0,10 \pm 0,04$
pH (a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$3,72 \pm 0,06$	$3,76 \pm 0,01$	$3,84 \pm 0,03$	$3,91 \pm 0,06$	$3,97 \pm 0,02$
SST ( $^\circ\text{Brix}$ )	$14,47 \pm 0,80$	$28,27 \pm 0,79$	$44,20 \pm 0,63$	$47,20 \pm 2$	$50,4 \pm 0,63$
Relação SST/AT	$57,88 \pm 2$	$128,50 \pm 0,80$	$276,25 \pm 0,63$	$429,09 \pm 2$	$504 \pm 0,63$

Através da análise da tabela 10 pode-se reparar que a AT diminui à medida que se aumenta a concentração do soluto da solução osmótica. Verifica-se também que o valor de AT do soluto sorbitol foi inferior ao da sacarose, na mesma concentração, ainda que a diferença seja mínima. Silva & Stojanovic (2007) repararam que a AT reduziu significativamente ao desidratarem osmoticamente mirtilos com uma solução de  $55 \text{ }^\circ\text{Brix}$  de sacarose. Este comportamento foi também presenciado por Dixon & Jen (1977), que ao desidratarem maçãs

com uma solução osmótica de 70 % (m/m) sacarose, verificaram que os ácidos orgânicos diminuíram ligeiramente, contribuindo para um melhor sabor, uma vez que houve um aumento da proporção SST/AT do produto final. Durante a operação de desidratação osmótica ocorre a eluição de substâncias de baixa massa molecular (sacarídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, sais minerais). Esta eluição, embora quantitativamente insignificante na troca de massa, pode ter uma influência significativa sobre os valores nutritivos finais e nas propriedades sensoriais dos alimentos (Lenart, 1996). O facto da lixiviação de nutrientes, como os ácidos orgânicos, ser maior para as maiores concentrações de soluto, deve-se à maior PA, porque maior quantidade de nutrientes solúveis da amostra são arrastados para o meio osmótico.

O valor do pH, indicado na tabela 10, mostrou ser superior para as amostras desidratadas osmoticamente em relação à amostra *in natura*, assim como houve um aumento do pH com a concentração das mesmas. Este facto deve-se ao facto já mencionado anteriormente, em que a imersão do alimento em meio osmótico provoca uma redução da acidez da fruta (Khan, 2012).

Os SST dizem respeito aos compostos totais dissolvidos na amostra, no entanto a medição dos SST pode ser utilizada como uma medida indireta do teor de açúcares presentes na amostra. Repara-se que os valores de SST encontrados aumentam com a concentração da sacarose e são mais elevados para a amostra que foi imersa em sorbitol. Isto está de acordo com o GS por parte das amostras, que ocorreu por esta mesma ordem. Os valores de SST/AT foram elevadíssimos, isto atribuído aos altos valores de SST em relação aos valores de acidez titulável.

#### **4.2.3. Relação de Desempenho**

A relação de desempenho (RD) definida como a relação entre a PA e o GS foi proposta por Camirand *et al.* (1992). Este parâmetro é utilizado para avaliar a qualidade de um produto alimentar que foi submetido a desidratação osmótica. Portanto, um máximo de desidratação combinado com a mínima modificação sensorial pode ser obtido através da maximização do RD.

Analisando a tabela 11 pode-se observar que o rácio PA/GS aumenta das 2 h para as 4 h do processo, devido ao facto, já mencionado, que a PA continua a aumentar mesmo que ligeiramente, enquanto o GS tem uma estabilização mais pronunciada a partir das 2 h.

Tabela 11 - Valores do rácio PA/GS após 2 e 4 h do processo de desidratação osmótica, com soluções de sacarose e de sorbitol

	Concentração (% m/m)	Tempo (h)	
		2 h	4 h
Sacarose	35	8,82	9,57
	55	5,50	6,23
	65	4,99	5,73
Sorbitol	65	4,36	4,91

No estudo de Martinez & Sereno (2001), verificou-se que o RD aumentou com o aumento da concentração das soluções, após 2 h do processo de desidratação, contrariamente ao estudo de Katsanidis *et al.* (1995), que apuraram que o aumento da concentração pareceu favorecer a absorção de açúcar, conduzindo à diminuição da relação PA/GS.

Segundo Flink *et al.* (1978), há absorção maciça de açúcar, no caso de concentrações mais elevadas de sacarose, que permite o desenvolvimento de uma camada superficial de sólidos que perturba o gradiente osmótico através da interface amostra-solução e diminui a força motriz para o fluxo de água.

Os resultados da tabela 11 estão de acordo com o estudo de Katsanidis *et al.* (1995), pois a PA e o GS embora tenham aumentado com o aumento da concentração e a PA ter sido sempre superior ao GS, a proporção de PA diminui em relação ao GS.

Com base nos resultados da tabela 11, pode-se reparar que as amostras imersas na solução de 35 % sacarose foram as que tiveram o RD mais elevado, indicando uma alta eficiência de remoção de água com captação mínima de açúcar. Por sua vez, os menores valores correspondem à solução de sorbitol, apesar destas amostras apresentarem a maior PA, também apresentaram o maior GS, e este último não foi suficientemente baixo para que a proporção entre eles fosse mais elevada, o que indica que a amostra teve o conteúdo de sólidos mais elevado em relação à redução de água.

Geralmente, quanto maior é o rácio entre PA/GS, melhor desidratado é o produto. No entanto, importa salientar que o melhor processo de desidratação não é decidido por este único parâmetro. A escolha das condições ótimas é influenciada por fatores como a solubilidade do soluto, a permeabilidade da membrana celular, o custo e a qualidade das propriedades organoléticas, como o sabor, a textura e a cor do produto final (LeMaguer *et al.*, 1998).

#### 4.2.4. Redução do Volume

Neste trabalho, as mudanças de volume nos palitos de maçã foram analisadas no início e fim do processo osmótico, à pressão atmosférica, utilizando soluções de concentrações diferentes e diferentes solutos.

Através da tabela 12 pode-se observar que o aumento da concentração de sacarose conduziu a um acréscimo na redução do volume das amostras. Analisando ainda os diferentes solutos, que se encontram à mesma concentração mássica, repara-se que as amostras imersas na solução de sorbitol detiveram valores superiores em relação à solução de sacarose.

Tabela 12 - Redução do volume (%) das amostras depois de 4 h do processo de desidratação osmótica, com soluções de sacarose e de sorbitol

	Concentração (% m/m)	Redução de volume (%)
Sacarose	35	33,27
	55	41,74
	65	47,54
Sorbitol	65	52,96

Alzamora *et al.* (2004) ao desidratarem maçãs com soluções a 25 % (m/m) de glucose e a 34,6 % (m/m) de sacarose, a 30°C, repararam que para ambos os tratamentos osmóticos o volume das amostras diminuiu. Durante as primeiras 1,5 - 2,5 h a redução do volume seguiu um padrão paralelo à PA. Após esse período, a diminuição do volume foi ligeiramente inferior à PA, chegando a uma redução final de 27 %, enquanto a gama de PA estava compreendida entre 28 e 30 %. Este comportamento foi igualmente observado por Lazarides & Mavroudis (1996), na desidratação osmótica de batata, a 50 °C, onde os resultados obtidos revelaram que a diminuição do volume das amostras teve um comportamento paralelo com a PA. Nos primeiros momentos a diminuição do volume era idêntica à diminuição de água, após esse momento a diminuição do volume foi diminuindo ligeiramente até ser superada pela PA.

Nota-se que os valores da tabela 12 estão muito próximos dos obtidos na remoção de água (Figuras 7 e 8). Isto alude a uma forte correlação entre a diminuição do volume com a diminuição da água ao longo do processo osmótico, estando assim de acordo com o postulado pelos autores acima mencionados.

Devido à conduta que as amostras demonstraram na PA e GS, era previsto que tanto as amostras submetidas a 65 % de sacarose como a 65 % de sorbitol, fossem as que tivessem

maior redução de volume, já que também detiveram maior percentagem de PA. O tecido da maçã quando sujeito ao tratamento osmótico sofre uma plasmólise e os espaços de ar são parcialmente preenchidos com a solução hipertónica (Fito & Pastor, 1994). O GS contrapõe esta redução, mas não é suficiente para impedir a expressiva redução de volume provocada pela saída de água.

Flink & Lenart (1984) reportam que o encolhimento durante a desidratação osmótica de fatias de batata numa solução de 60 % de sacarose está associado com os mecanismos que regulam a transferência de massa.

As alterações no tamanho e na forma celular do tecido vegetal foram observadas por Mayor *et al.* (2008), durante a desidratação osmótica da abóbora. Os principais fenómenos notados foram a plasmólise, o encolhimento das células e a dobramento das paredes celulares. Estas mudanças não foram homogeneamente distribuídas no material, pois foram dependentes da localização das células nas amostras e do tempo de processo.

No tecido da maçã, as células diferem na resposta à tensão osmótica: as células que estão em contato com os espaços intercelulares são mais afetadas do que as células cercadas por outras células. Desde o início do procedimento, que o tecido sofre alterações estruturais, as células alteram a sua forma com o enrugamento e a dobra das paredes celulares. Contudo, em nenhum momento da osmose Lewicki & Porzecka-Pawlak (2005), observaram a quebra das paredes celulares, apenas foi observado nos estágios finais da osmose alguma separação das células e suspensão das mesmas no espaço intercelular.



### 4.3. Secagem convectiva

#### 4.3.1. Cinéticas de Secagem Convectiva com o Pré-Tratamento de Desidratação Osmótica

A secagem final dos palitos de maçã, anteriormente desidratados numa solução osmótica, foi realizada numa estufa de convecção forçada. O período de secagem foi de 16 h. A temperatura de operação (60 °C) foi escolhida com base na faixa de temperaturas usualmente empregadas para produtos alimentícios, nomeadamente 50 - 70 °C (Arola *et al.*, 2008; Campolongo *et al.*, 2005; Lewicji & Luckaszuk, 2000).

Apresentam-se na figura 13, as curvas de variação da taxa de secagem por convecção, a 60 °C, em função do tempo, para as amostras de maçã *in natura* e pré-desidratadas por osmose, em soluções de sacarose e sorbitol.

Pela observação da figura 13 verifica-se que as taxas de secagem diminuem ao longo do tempo para todas as amostras. Além disso, pode-se reparar que as taxas de secagem apresentam uma conduta bastante similar, sendo que a amostra pré-tratada com sorbitol apresentou inicialmente uma maior taxa de secagem entre as amostras pré-tratadas, tendendo ao longo do tempo a acompanhar as restantes taxas. Porém, as diferenças são tao ténues que se torna precipitado afirmar qual das amostras apresenta maior taxa de secagem.

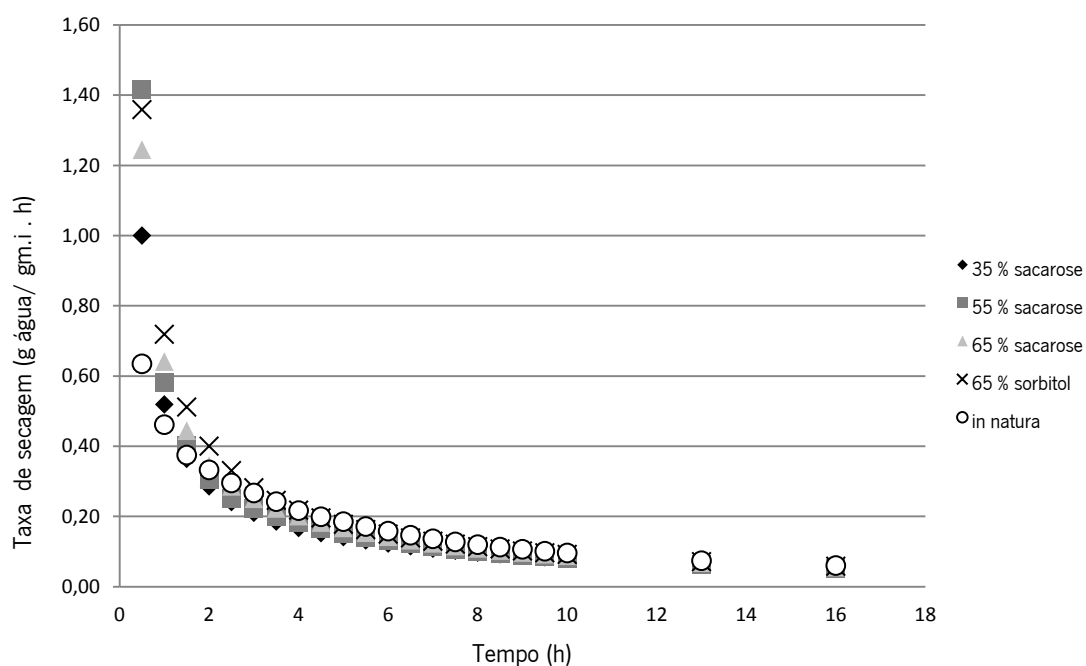


Figura 13 - Taxa de secagem das amostras *in natura* e pré-tratadas com as soluções de sacarose e sorbitol após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.

Segundo a literatura, na secagem convectiva o conteúdo de água diminuiu rapidamente e apresenta taxas de secagem superiores para as amostras pré-tratadas em soluções osmóticas menos concentradas (Berbert *et al.*, 2009; Jain *et al.*, 2011). Mazza (1983) desidratou osmoticamente cenouras com uma solução de sacarose a 5, 20 e 60 % (m/m) de concentração. Após este pré-tratamento seguiu-se uma secagem por ar a 50 °C. Os dados reportados pelo autor mostram um decréscimo substancial da taxa de secagem com o aumento da concentração de sacarose.

O decréscimo das taxas de secagem com o aumento da concentração, observado na secagem por ar das amostras pré-tratadas osmoticamente, pode ser explicado pelo facto da sacarose cristalizar durante a secagem por ar (Anagnostaras *et al.*, 2005; Mazza, 1983; Raoult-Wack, 1994), dificultando assim a difusão do vapor de água e impedindo a transferência de calor no interior do produto (Mazza, 1983). O decréscimo nas taxas de secagem foi notado como efeito da elevação da concentração dos solutos osmóticos, mas também teve especial evidência nos açúcares com maior massa molar que apresentaram menores perdas de humidade (Anagnostaras *et al.*, 2005).

Denota-se pela observação da figura 13, que as amostras parecem não demonstrar o comportamento presenciado pelos autores acima referidos. No entanto, o facto da taxa de secagem da maçã *in natura* ser maioritariamente, ao longo do processo, superior à taxa das amostras pré-tratadas, está de acordo com o que foi reportado por vários autores. Nsonzi & Ramaswamy (1998) analisaram a cinética da secagem por convecção (50 °C) de mirtilos *in natura* e pré-desidratados osmoticamente por imersão em soluções de sacarose e observaram que a taxa de secagem foi inferior para as amostras com o pré-tratamento osmótico. Azoubel *et al.* (2003), ao aplicarem a secagem convectiva a 40 e 60 °C a amostras de papaia com e sem pré-tratamento, verificaram taxas de secagem mais elevadas para a papaia *in natura* em comparação com a papaia pré-tratada com uma solução osmótica de sacarose a 70 °Brix. Também Falade & Oyedele (2010), ao estudarem o efeito do pré-tratamento osmótico (soluções de sacarose a 40, 50 e 60 °Brix) na taxa de secagem convectiva de pimentos, observaram uma taxa de secagem superior para os pimentos *in natura*.

Apesar de não existir uma grande diferença nas taxas de secagem entre as amostras pré-tratadas osmoticamente, o facto das amostras partirem de humidades mais baixas permitiu que conseguissem alcançar valores finais de humidade inferiores (Figura 14).

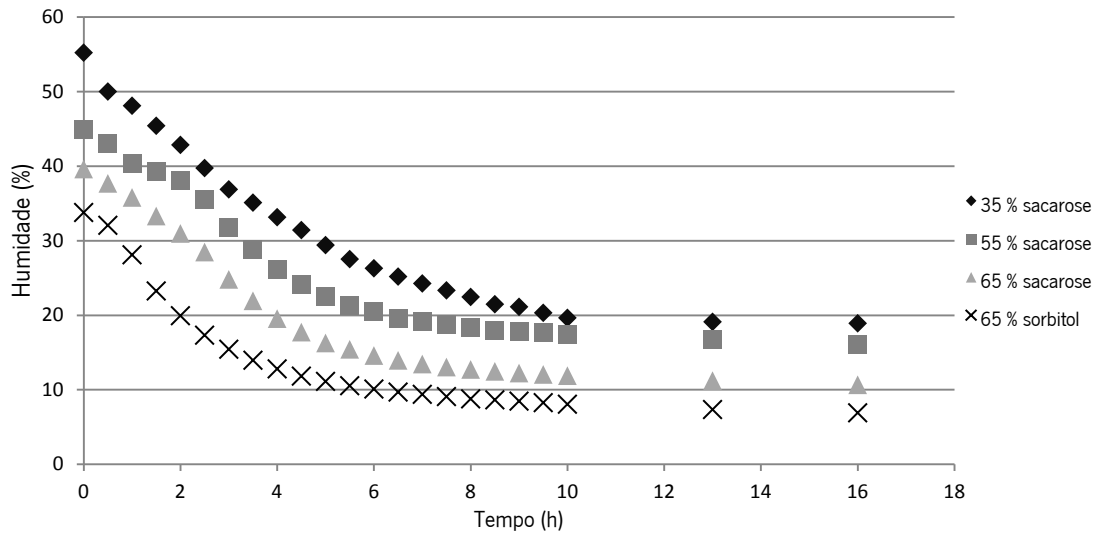


Figura 14 - Variação da humidade (%) das amostras pré-tratadas com as soluções de sacarose e sorbitol após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.

Estabelecendo a diferença entre a humidade (%) no início e no final da secagem pode-se reparar que a amostra que perdeu maior percentagem de humidade na secagem convectiva foi a amostra de 35 % de sacarose que sofreu uma redução de 36,30 % de água, seguindo-se as amostras 55 % e 65 % com valores muito próximos, 28,86 e 28,94 %, respetivamente. Por último a amostra imersa em 65 % de sorbitol foi a que perdeu menos água, uma redução de 26,87 %. Este decréscimo na redução de água com o aumento da concentração osmótica já foi mencionado em cima pelos autores Anagnostaras *et al.* (2005), Mazza (1983) e Raoult-Wack (1994), no que se refere à cristalização de açúcares que dificulta a transferência de calor no interior da maçã e ao facto de se formar uma camada superficial de sólidos que atua como uma barreira contra a remoção de água (Flink & Hawkes, 1978).

Os alimentos são considerados estáveis em relação ao crescimento microbiano a uma *aw* abaixo de 0,6 (Cunha, 2008), que corresponde a humidades inferiores a cerca de 15 % (anexo 11). Observando a figura 14 verifica-se que apenas as amostras imersas em 65 % de sacarose e sorbitol conseguiram valores inferiores. No caso da amostra imersa em 65 % de sacarose o tempo de secagem poderia ser encurtado para aproximadamente 6 h e a amostra imersa em sorbitol para 3,5 h. Para as restantes amostras era necessário aumentar o tempo de secagem.

Na desidratação osmótica a presença de açúcar nas camadas superficiais afeta a cinética de secagem. Normalmente, o material pré-tratado por osmose desidrata de forma mais lenta do que o que não foi tratado. A presença de açúcares na superfície dificulta a remoção de

humidade, por conseguinte, à mesma temperatura, a desidratação do produto final contém mais água do que um não tratado (Lewicki, 1998). A impregnação de solutos, em conjunto com a perda de água que ocorre na osmose proporciona uma maior resistência ao movimento de humidade interna (Flink & Islam, 1982).

A fim de avaliar esta ocorrência estabeleceu-se uma comparação entre a amostra que obteve valores finais mais baixos de % humidade, após o processo de secagem osmo-convectiva e uma amostra sem qualquer tipo de pré-tratamento que foi sujeita apenas à secagem convectiva (Figura 15).

Na figura 15 observa-se que a amostra sem qualquer tipo de pré-tratamento atinge um valor inferior de humidade (3,80 %), após as 16 h de secagem, relativamente à amostra tratada com uma solução de 65 % de sorbitol (6,91 %). Este comportamento era expectável de acordo com Lenart (1996) e Lewicki (1998). De acordo com Flink & Islam (1982), as amostras osmo-desidratadas têm uma taxa de remoção de água inferior em comparação com as amostras que são diretamente secas por convecção. Observando a figura 15 pode-se constatar que tal acontece, já que a amostra sem qualquer tratamento, após 4 h de secagem ultrapassa a amostra pré-tratada osmoticamente, a qual no início da secagem apresentava valores inferiores de humidade.

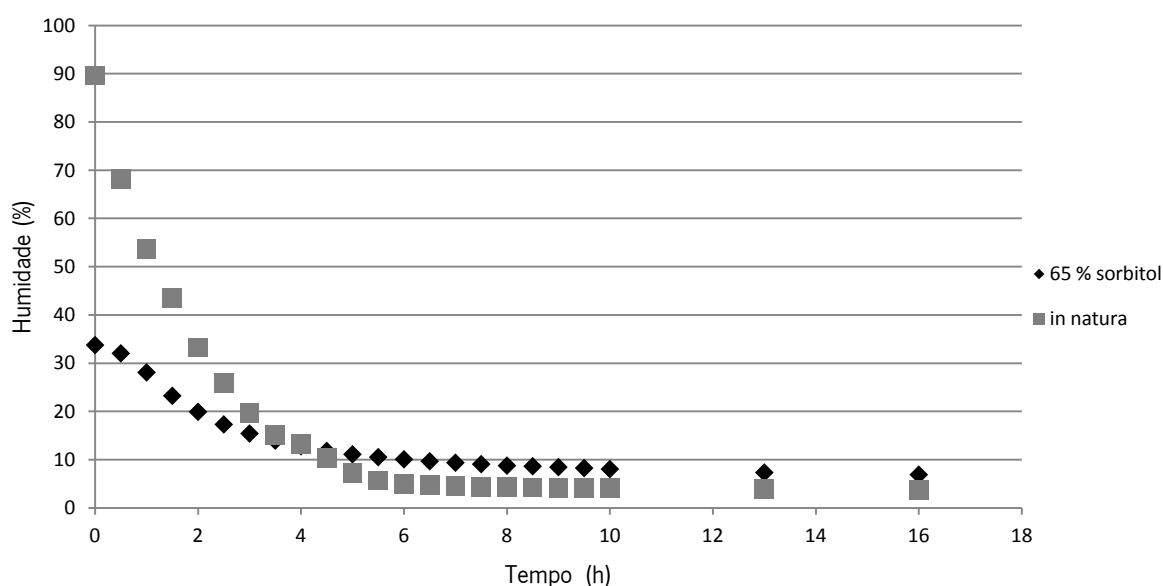


Figura 15 - Variação da humidade (%) da amostra pré-tratada com a solução de sorbitol e da amostra *in natura* após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.

Embora as amostras osmo-desidratadas tenham uma taxa de remoção de água inferior em comparação com as amostras que são diretamente secas por convecção, para as amostras

inicialmente osmo-desidratadas, no caso da secagem ter como objetivo um conteúdo final de água entre 10 – 15 % ( $a_w = 0,4 - 0,6$ ) o tempo de secagem é encurtado em alguns minutos. Mas se o objetivo for a obtenção de alimentos com um teor médio de água entre 15 - 45 % ( $a_w = 0,6 - 0,9$ ), aí o tempo é reduzido de forma mais expressiva (Flink & Islam, 1982).

Na tabela 13 apresentam-se as equações do ajuste linear aplicado à representação de  $\ln(RH)$  em função de  $t$ , assim como os seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os resultados obtidos no cálculo dos coeficientes de difusão efetiva para as amostras sujeitas à secagem convectiva após o pré-tratamento osmótico.

Tabela 13 - Equações do ajuste linear, valores de  $R^2$  e  $D_{ef}$  para a secagem da amostra *in natura* e das amostras pré-tratadas por desidratação osmótica

		Equação do ajuste linear	$R^2$	$D_{ef}$ ( $m^2/s$ )
Sacarose	35%	$Y = -0,0001x + 0,478$	0,952	$5,836 \times 10^{-9}$
	55%	$Y = -0,00009x + 0,215$	0,985	$5,252 \times 10^{-9}$
	65%	$Y = -0,00009x + 0,178$	0,989	$5,252 \times 10^{-9}$
Sorbitol	65%	$Y = -0,00009x - 0,143$	0,987	$5,252 \times 10^{-9}$
<i>in natura</i>		$Y = -0,0002x - 0,104$	0,966	$1,167 \times 10^{-9}$

Pela análise da tabela 13, observa-se que a amostra *in natura* foi a que obteve maior  $D_{ef}$ , seguida pela amostra pré-tratada com 35 % de sacarose. Segundo Flink & Islam (1982) as diferenças nos  $D_{ef}$  da secagem convectiva podem ser atribuídas à mudança composicional ocorrida durante a desidratação osmótica. O GS aliado à PA aumentam a resistência interna ao movimento de água durante a secagem por ar. Assim, os  $D_{ef}$  irão ser inferiores para as amostras pré-tratadas em relação às amostras *in natura*.

Castaigne *et al.* (1996) verificaram que à medida que o conteúdo de água decrescia, o  $D_{ef}$  também diminuía. Este comportamento era esperado porque a migração da água é dificultada pela estrutura da amostra que se torna mais densa durante a secagem convectiva. Adicionalmente, o açúcar incorporado na amostra durante o pré-tratamento osmótico também provocou a diminuição do  $D_{ef}$ . Castaigne *et al.* (1996) obtiveram um valor de difusividade inferior para a amostra de banana que foi pré-tratada com 39 °Brix de sacarose, em relação à amostra que foi apenas desidratada por secagem a 60 °C. Além disso, ainda verificaram uma diminuição

do  $D_{ef}$  durante a secagem convectiva para as amostras que tinham sido pré-tratadas com concentrações osmóticas mais elevadas.

Lamb & Rahman (1991) ao secarem por ar as amostras de ananás pré-tratadas por osmose, também obtiveram menores valores de  $D_{ef}$  para as que tinham incorporado maior quantidade de sacarose durante o pré-tratamento osmótico. De facto os valores obtidos no presente estudo foram superiores aos obtidos por Lamb & Rahman (1991), assim como aos de Castaigne *et al.* (1996) e Flink & Islam (1982), o que é normal dadas as limitações no cálculo do  $D_{ef}$ , uma vez que este depende dos parâmetros operacionais e das propriedades geométricas e estruturais da amostra (Bin *et al.*, 2002). No entanto, os valores estão compreendidos no intervalo de  $10^8$  a  $10^{12}$  m<sup>2</sup>/s, que é considerada a gama geral para a secagem de materiais alimentares (Magee & McMinn, 1999).

A partir da tabela 13 pode-se comprovar o comportamento observado pelos autores acima referidos acerca da diminuição do  $D_{ef}$  com o aumento da concentração osmótica, para a amostra pré-tratada em 35 % de sacarose em relação à amostra imersa em 55 % de sacarose. Contudo, não foi possível observar uma diminuição da amostra imersa em 55 % de sacarose para a de 65 % porque os valores dos  $D_{ef}$  foram iguais.

Nota-se que os  $D_{ef}$  vão de encontro com o que tinha sido obtido nas figuras 13 e 14, ou seja, a diferença nas taxas de secagem tinha sido quase impercetível e no entanto, ainda se observava uma superioridade na taxa de secagem da amostra *in natura*, que neste caso obteve maior  $D_{ef}$ . Por sua vez na figura 14, os valores de perda de humidade tinham sido superiores para a amostra imersa em 35 % de sacarose em relação às restantes amostras, o que também se verifica no maior  $D_{ef}$  em relação às restantes amostras. Relativamente às amostras imersas em 55 % e 65 % de sacarose, que tinham apresentado perdas de água na mesma ordem de grandeza, era esperado que não houvesse distinção no  $D_{ef}$ .

Quanto à amostra pré-tratada em sorbitol, o  $D_{ef}$  obtido foi igual ao das amostras de 55 e 65 % de sacarose. No entanto, esperava-se uma distinção entre os coeficientes pelo que foi observado na figura 14, onde a amostra imersa em sorbitol foi a que obteve menor perda de água. O facto de não ter havido uma distinção entre os coeficientes de difusão efetiva talvez se devesse à pouca diferença da perda de água entre as amostras.

### 4.3.2. Redução do Volume

A secagem provoca numerosas alterações no material, que surgem principalmente da temperatura elevada e do contacto com o oxigénio. Estas mudanças são macroscopicamente pronunciadas através da distorção do tamanho e da forma, da alteração da cor e da modificação das propriedades mecânicas (Lewicki & Pawlak, 2003).

Determinou-se o volume das amostras antes e após a secagem convectiva, a fim de demonstrar a importância das condições do tratamento osmótico nas propriedades do produto final (Tabela 14).

Tabela 14 - Redução do volume (%) das amostras pré-tratadas osmoticamente e sem tratamento, após de 16 h de secagem convectiva

Processo	Amostra	Concentração (% m/m)	Redução de volume (%)
Secagem convectiva	Sacarose	35	45,22
		55	20,96
		65	19,10
	Sorbitol	65	16,43
Desidratação osmótica +	Sacarose	35	63,43
		55	53,96
		65	57,57
	Secagem convectiva	Sorbitol	65
Secagem convectiva	<i>in natura</i>	-	80,17

O tratamento osmótico antes da secagem por convecção faz com que a maçã seja menos suscetível a deformações do que aquela que foi apenas desidratada por convecção, para o mesmo teor de água (Lewicki & Lukaszuk, 2000). Esta antevisão pode ser comprovada através dos dados da tabela 14, pois todas as amostras que foram pré-tratadas com a desidratação osmótica mostraram uma menor redução no volume na ordem dos 16 - 26 % em relação à amostra que foi desidratada sem qualquer pré-tratamento. Esta gama de redução de volume é inferior aos dados reportados por Aguilera *et al.* (1998), uma vez que a amostra sem tratamento apresentou uma redução de 20 - 65 % no volume quando comparado com o volume das amostras de maçã tratadas com soluções de sacarose e maltose a 50 % (m/m).

Observa-se na tabela 14 que os açúcares adicionados durante a desidratação osmótica ajudaram a diminuir o colapso estrutural durante a subsequente secagem ao ar. A amostra que

tinha incorporado menos sólidos, nomeadamente a amostra imersa em 35 % de sacarose, apresentou uma redução de volume superior às restantes amostras. Além disso a redução do volume (45,22 %) foi superior à percentagem de humidade perdida (36,30 %) durante a secagem convectiva, o que sugere que a desorganização ou rutura celular tenham contribuído fortemente para o encolhimento e não apenas a perda de água. Por sua vez, as amostras pré-tratadas osmoticamente com a concentração de 55 e 65 % apresentaram uma resistência estrutural e mecânica suficiente para suportar o choque de ar quente (Das Gupta *et al.*, 1990), pelo que se presencia uma redução do volume inferior à perda de humidade. Verifica-se que a amostra que reduziu menos o seu volume foi a pré-tratada osmoticamente com 65 % de sorbitol, mais uma vez porque o aumento de GS aumentou a resistência ao encolhimento do tecido (Emam-Jomeh *et al.*, 2006) e também pelo facto de ter perdido menos água durante a secagem convectiva.

Repara-se ainda, que não existe uma diferença significativa na redução de volume entre as amostras tratadas com as soluções 55 e 65 % de sacarose, porque a PA durante a secagem foi muito próxima (28,86 e 28,94 %, respetivamente) e o GS é bastante elevado nas duas amostras, suficiente para impedir o maior encolhimento do tecido.

A quantidade de água evaporada é refletida pela deformação e mudança no volume, desta forma a combinação desidratação com secagem convectiva resultou numa menor redução para a amostra desidratada em 55 % de sacarose. Apesar desta amostra não ter sido a que teve menor redução de volume na desidratação osmótica (Tabela 12), nem menor volume na secagem convectiva, foi a que conseguiu uma melhor combinação entre os dois processos. Observa-se que a amostra desidratada a 35 % de sacarose foi a que obteve maior redução de volume no processo osmo-convectivo, porque o encolhimento na secagem por ar foi muito elevado e nem mesmo o facto da amostra ter tido a menor redução de volume na desidratação osmótica (Tabela 12) impediu que no final do processo a redução tenha superado as restantes amostras.



## 4.4. Outros Pré-Tratamentos

### 4.4.1. Avaliação da Cor

Os processos de secagem são maioritariamente precedidos por um tratamento específico da matéria-prima. Isto geralmente inclui o branqueamento, desidratação osmótica, sulfitação e imersão em cloreto de cálcio, ácido ascórbico ou ácido cítrico. O tratamento de pré-secagem é destinado à melhoria tanto da qualidade do produto final ou à melhoria das cinéticas de secagem (Lewicki, 1998).

Neste trabalho testou-se o efeito do branqueamento, do ácido ascórbico e da combinação entre os dois, na inibição do escurecimento antes e durante a secagem convectiva. Avaliou-se ainda o efeito que esses pré-tratamentos tiveram sobre o volume das amostras.

As amostras foram imersas numa solução de 2 g/L de ácido ascórbico (Azuara *et al.*, 1998) e o branqueamento foi realizado a 98 °C durante 3 min (Nogueira, 1973).

O branqueamento precedente da secagem é um tratamento muito frequente e tem efeitos benéficos dependendo da forma como o processo for feito. Durante o branqueamento alguns solutos são libertados para o banho, alterando desta forma a composição química do material (Lewicki, 2006). No caso do branqueamento feito a altas temperaturas durante poucos minutos, como é o caso, pode-se sumariar algumas vantagens, nomeadamente a inativação de enzimas (PPO, peroxidase (POD), pectina metilesterase (PME)); amaciamento do tecido (Lewicki, 2006) e retenção da cor (Akpapunam *et al.*, 1995). O método mais comum consiste em realizar o branqueamento com a exposição das amostras em água quente, mas também se pode aliar o branqueamento com soluções contendo ácidos ou sais (Baiano *et al.*, 2003). O ácido ascórbico tem a vantagem não só de baixar ligeiramente o pH, mas também de ser um excelente antioxidante, evitando desta maneira que o escurecimento enzimático ocorra (Nogueira, 1973).

Para a avaliação da cor foi usado o sistema de medição de cor estabelecido pela Comissão Internacional d'Eclairage (CIE). As cores são medidas em termos L\* (luminosidade), a\* e b\* (tonalidade), além disso o espaço de cor CIELab tem a vantagem de proporcionar a medição de uma função importante, nomeadamente a diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) (Aharoni *et al.* 1992). Neste caso o  $\Delta E^*$  é a diferença média de cor entre a fruta com pré-tratamento e a fruta *in natura*, que se pode observar na tabela 15.

Tabela 15 - Valores de  $\Delta E^*$  para as amostras *in natura* e pré-tratadas durante a secagem convectiva

Amostra	$\Delta E^*$					
	0 min	15 min	1 h	4 h	10 h	16 h
Maçã <i>in natura</i>	-	3,562	5,029	12,302	14,648	14,988
Maçã sujeita ao branqueamento com ácido ascórbico	13,301	13,870	14,340	20,384	25,514	25,230
Maçã imersa em ácido ascórbico	4,983	6,107	5,987	12,894	17,926	17,455
Maçã sujeita ao branqueamento	8,823	8,981	5,999	16,495	15,890	15,165

Analisando a tabela 15 pode-se reparar que antes de se proceder à secagem convectiva, o pré-tratamento que demonstrou maior diferença de cor foi o branqueamento com 2 g/L de ácido ascórbico e o que registou menor diferença foi a amostra tratada apenas com a solução de ácido ascórbico. O branqueamento é um tratamento mais severo que o tratamento químico com ácido ascórbico, porque recorre a temperaturas elevadas e é capaz da inativação enzimática, contrariamente ao ácido ascórbico, que consegue apenas inibir a PPO ou evitar a formação de melanina (Baiano *et al.*, 2003) e também pode provocar a lixiviação de nutrientes. O branqueamento devido à destruição térmica da integridade da membrana e da deterioração parcial de polímeros da parede celular, degrada os cromóforos tais como a clorofila, resultando na alteração de cor (Acar *et al.*, 2005). Os dois pré-tratamentos são igualmente importantes na prevenção do escurecimento enzimático, mas era expectável que o branqueamento fosse mais agressivo na diferença de cor por ser um tratamento térmico, o que se verifica. Provavelmente a combinação dos dois processos aliou as vantagens de cada método e provocou esta diferença de cor superior aos restantes pré-tratamentos.

Ao longo da secagem convectiva todas as amostras aumentaram na diferença de cor em relação à maçã *in natura*, com uma pequena exceção da amostra que foi branqueada que apresenta uns valores que se aproximam, à 1 h de secagem, mais da matéria fresca e às 4h sofre uma mudança de cor mais extensa. Contudo, com o passar do tempo tende a estabilizar no valor final e a sua tendência também foi o aumento da diferença de cor no decorrer da secagem.

No final das 16 h de secagem convectiva, a amostra com maior diferença de cor continuou a ser o branqueamento com ácido ascórbico e a que registou menor diferença foi a

amostra de controlo, sem qualquer pré-tratamento. A amostra imersa em ácido ascórbico que detinha antes da secagem menor diferença de cor, no final da secagem foi a segunda com mais diferença de cor em relação à maçã *in natura*. O  $\Delta E^*$  representa a magnitude da diferença de cor, mas não indica a direção da diferença de cor, ou seja, não aponta se a amostra ficou mais vermelha ou verde, mais amarela ou azul, nem se sabe se aumentou ou diminuiu a luminosidade. Para complementar as diferenças de cor procedeu-se à avaliação visual da figura 16.

Pela análise da figura 16, pode-se reparar que a menor  $\Delta E^*$  obtida pela secagem convectiva à da maçã *in natura*, podia ter parecido favorável já que a amostra se afastava menos da cor original da maçã, no entanto avaliando visualmente verifica-se que existiu um escurecimento global na maçã, mais acentuado na zona central. O escurecimento enzimático da fruta é maioritariamente devido à oxidação natural dos compostos fenólicos a quinonas, que por sua vez são polimerizadas a pigmentos castanhos, vermelhos ou pretos (Dias, 2011). O conteúdo de compostos fenólicos distribui-se de forma diferente na casca, polpa e núcleo da maçã. A polpa comparativamente com o núcleo e a casca da maçã é bastante pobre em ácidos fenólicos e flavonoides. Como se procedeu ao descasque da maçã, o escurecimento focou-se no centro da amostra. A razão da predominância destes compostos no centro deve-se às sementes da maçã, que são uma fonte de compostos fenólicos (Carle *et al.*, 2003).

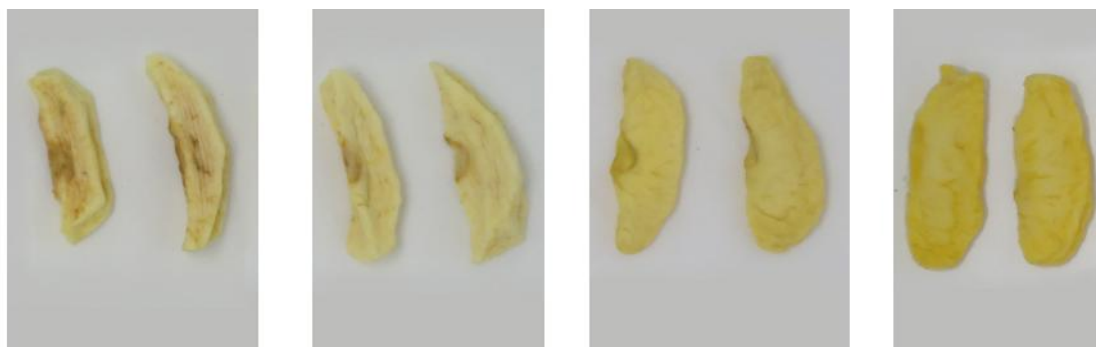


Figura 16 - Amostras desidratadas por secagem convectiva após 16 h de secagem, *in natura*, com imersão em solução de ácido ascórbico, com branqueamento e com branqueamento mais ácido ascórbico, da esquerda para a direita respetivamente.

A maior  $\Delta E^*$  correspondente ao branqueamento com ácido ascórbico, deveu-se essencialmente à coloração amarela intensa que a amostra adquiriu. O facto da  $\Delta E^*$  ser maior pode ser motivo para descartar este pré-tratamento porque se afasta mais da imagem original da

maçã, no entanto o produto com esta nova tonalidade pode ser considerado mais apelativo e verifica-se que o pré-tratamento foi bastante eficaz contra o escurecimento enzimático.

É visível na figura 16 que o pré-tratamento de imersão em ácido ascórbico, ainda que melhor que a amostra sem tratamento, não foi suficiente para evitar o escurecimento. A maçã que foi apenas sujeita ao branqueamento foi a que mostrou menor  $\Delta E^*$  dos três pré-tratamentos em vigor, após a secagem. Verifica-se que a amostra adquiriu um tom mais amarelo do que *in natura*, mas menos intenso que o branqueamento com ácido ascórbico. Além disso, apresentou apenas um ligeiro escurecimento na zona central, pelo que este pré-tratamento revelou um equilíbrio entre o  $\Delta E^*$  e a aparência visual da maçã.

Neste trabalho não foi realizada nenhuma avaliação da cor às amostras pré-tratadas por desidratação osmótica, devido à indisponibilidade do material na altura da experiência, daí que não seja possível comparar este parâmetro com os pré-tratamentos acima descritos. No entanto, de acordo com a literatura sabe-se que as amostras de maçã que são continuamente imersas na solução osmótica, não são expostas ao oxigénio e assim não existe necessidade da utilização de antioxidantes para proteger contra descoloração enzimática e oxidativa (Ancos *et al.*, 2006; Khan, 2012). Através da camada de açúcar que envolve o produto é possível minimizar os danos causados à cor e ao sabor, além de impedir a descoloração da fruta (Torreggiani, 1993). Segundo os dados reportados por Campolongo *et al.* (2005), após a desidratação osmótica as amostras mostraram uma ligeira alteração nos parâmetros de cor. As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  mantiveram os seus valores originais (sem escurecimento), enquanto os valores  $L^*$  diminuíram um pouco. Também Krokida *et al.* (2001) obtiveram uma estabilidade nos parâmetros de cor  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$ , especialmente em comparação com as amostras sem tratamento, que apresentaram um extenso escurecimento. O tratamento osmótico inibe a deterioração da cor durante a secagem, resultando num produto de cor superior, quando comparado com outros produtos.

#### **4.4.2. Redução do Volume**

A secagem por ar é um processo que provoca o encolhimento do tecido da amostra. Segundo Lewicki & Pawlak (2003), o encolhimento ocorre primeiro na superfície, movendo-se gradualmente para o interior da amostra, com o aumento do tempo de secagem. De acordo com a observação dos autores, as células à superfície foram danificadas após 1 h de secagem a 40

°C, enquanto a estrutura interna, aparentemente permanecia intacta. Com o prolongamento da secagem, foi notado o aparecimento de fissuras internas e o encolhimento do tecido.

A redução de volume é um parâmetro importante a ter em conta na escolha do pré-tratamento. Deste modo avaliou-se a redução de volume após a secagem convectiva (Tabela 16).

Tabela 16 - Redução do volume (%) das amostras pré-tratadas e sem tratamento, após de 16 h de secagem convectiva

Processo	Redução de volume (%)
Maçã <i>in natura</i>	80,17
Maçã imersa em ácido ascórbico	80,69
Maçã sujeita ao branqueamento	85,17
Maçã sujeita ao branqueamento com ácido ascórbico	84,69

Pela análise da tabela 16 nota-se que as amostras que envolveram o branqueamento como tratamento, único ou combinado, obtiveram maiores reduções de volume do que as restantes amostras. Entre a amostra tratada apenas por branqueamento e a combinada com ácido não parece haver grande diferença entre elas, os valores estão muito próximos. Repara-se ainda que o tratamento com ácido ascórbico também não resultou em grandes variações de volume em relação à secagem da amostra *in natura*, contudo perdeu menos volume que as amostras sujeitas ao branqueamento.

O branqueamento a altas temperaturas tem efeitos adversos nas propriedades do material. As mudanças estruturais causadas pelo branqueamento incluem inchaço das paredes das células e o aumento da separação das células, reduzindo a coesão da matriz celular (Gerschenson *et al.*, 2001; Derksen *et al.*, 1997).

Segundo Biekman *et al.* (1996), quando o branqueamento é realizado a elevadas temperaturas, na faixa 95 – 100 °C, a quantidade de solutos perdida é determinada principalmente pelo encolhimento, que pressiona os fluidos para fora das células conduzindo a uma perda simultânea de solutos.

#### 4.5. Secagem Convectiva

Na figura 17 apresentam-se as curvas de variação da taxa de secagem por convecção, a 60 °C para as amostras *in natura* e pré-tratadas com ácido ascórbico, branqueamento e branqueamento combinado com ácido ascórbico. Nesta figura pode-se reparar que as taxas de secagem são pouco divergentes. No entanto, apesar da semelhança entre elas observa-se que as amostras pré-tratadas com branqueamento (combinado ou não com ácido ascórbico) são as que parecem predominar com maiores valores. No início da secagem é visível que estas duas amostras apresentam valores superiores, contudo estas taxas não demonstram uma superioridade ao longo do processo e tendem a sobrepôr-se às restantes taxas de secagem.

De acordo com a literatura o branqueamento aumenta a difusão de água devido à eliminação da resistência das membranas e das paredes celulares (Borges *et al.*, 2010; Lebert *et al.*, 1993). Também Alzamora *et al.* (2001) repararam que, ao testarem o efeito do branqueamento no transporte de água durante a taxa de secagem por ar a 60 °C na manga, o branqueamento provocou um aumento na taxa de secagem devido à baixa resistência ao fluxo de água provocado pela rutura das membranas e/ou à redução da coesão das paredes celulares.

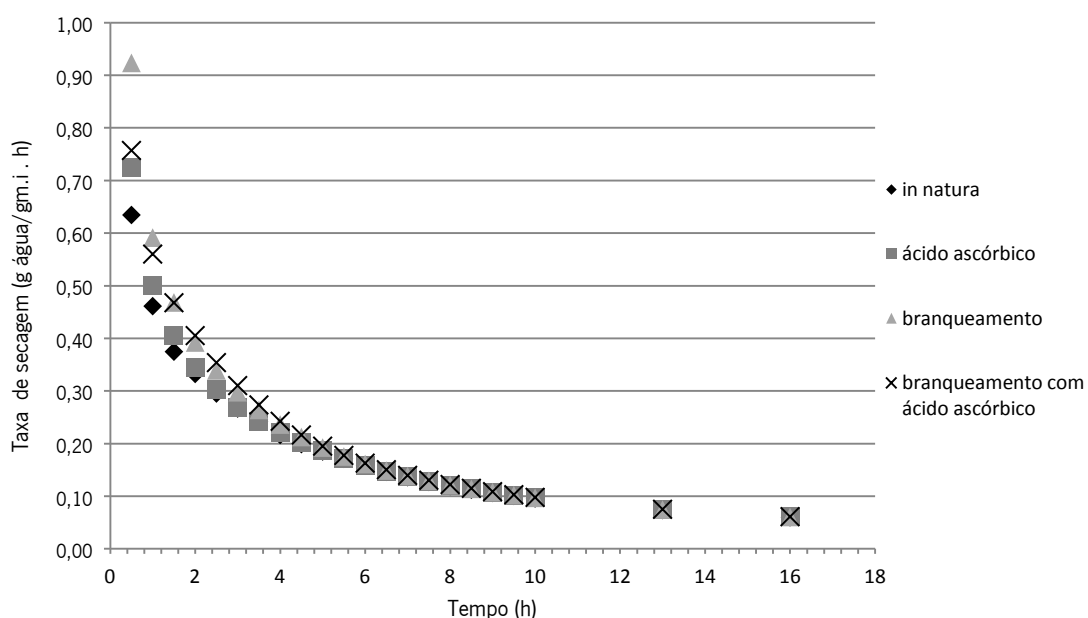


Figura 17 - Taxa de secagem das amostras *in natura* e pré-tratadas, após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.

As amostras iniciam a secagem com um conteúdo médio de 89,38 % de humidade, assim, através da figura 18, pode-se aferir que a amostra que atingiu menores valores de humidade foi também a que perdeu maior quantidade de água.

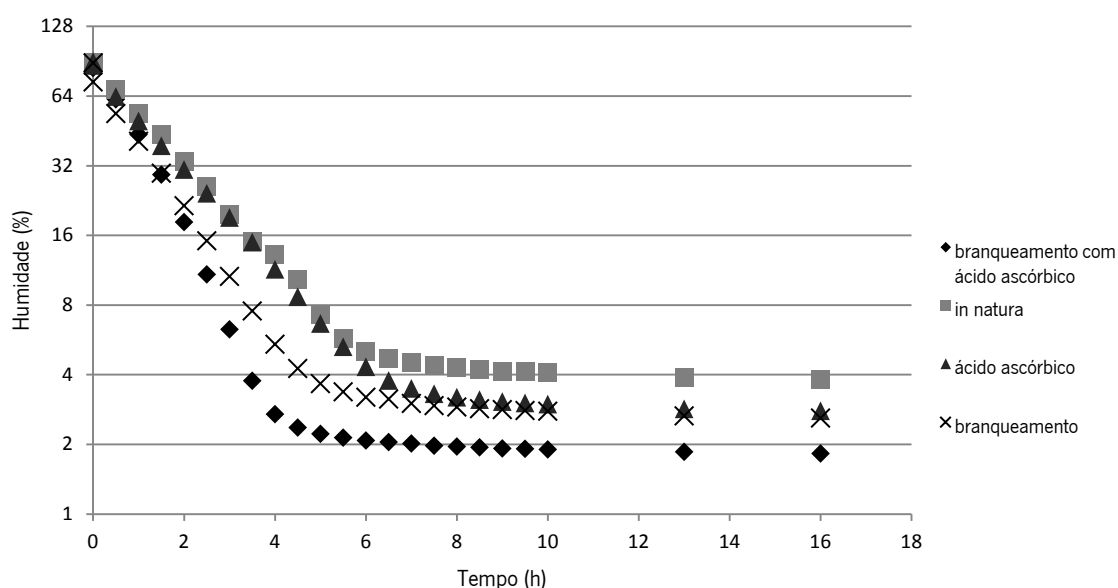


Figura 18 - Variação da humidade (%) das amostras pré-tratadas e *in natura* após a secagem convectiva, ao longo de 16 h.

Observando a figura 18 nota-se que a amostra *in natura* e a amostra pré-tratada com ácido ascórbico apresentam um comportamento semelhante, distanciando-se às 6 h de secagem, com a amostra com pré-tratamento a atingir valores inferiores de humidade. Por sua vez, a amostra pré-tratada com branqueamento apresenta um abaixamento de humidade inicial superior a estas duas amostras, mas tende a estabilizar de forma que no final da secagem o seu valor foi muito próximo da amostra pré-tratada com o ácido ascórbico. As amostras de maçã que obtiveram valores inferiores de humidade (%) foram as pré-tratadas com o branqueamento com ácido ascórbico.

Pode-se reparar também na figura 18 que a amostra pré-tratada com branqueamento e ácido ascórbico apresentava uma humidade de 10,85 %, ao final de 2,5 h de secagem, e como já foi mencionado anteriormente uma gama entre 10 - 15 % de humidade corresponde a cerca de 0,4-0,6 de  $a_w$  (Bourne, 1986; Flink & Islam, 1982). As restantes amostras, tratadas com branqueamento, ácido ascórbico e *in natura* demoraram 3, 4 e 4,5 h, respetivamente, para alcançarem valores de humidade considerados seguros em relação à inibição do crescimento microbiano. Assim o tempo de secagem com o pré-tratamento que surtiu mais efeito na taxa de secagem permitiria encurtar o tempo de secagem em 2 h, em relação à amostra *in natura*.

No estudo de Goyal *et al.* (2007), as amostras de pêssego foram desidratadas por ar a 55 e 65 °C, com o pré-tratamento branqueamento (50 ° C durante 2 min) com 1 % de ácido ascórbico. Para ambas as temperaturas, as amostras de pêssego pré-tratadas apresentaram um tempo de secagem mais curto, nomeadamente menos 30 min, do que as amostras não tratadas.

O facto da amostra pré-tratada simultaneamente com branqueamento e ácido ascórbico ter originado valores de humidade inferiores em menor tempo do processo, vai ao encontro do que outros autores relataram acerca da maior taxa de secagem para o branqueamento (Alzamora *et al.*, 2001; Borges *et al.*, 2010; Lebert *et al.*, 1993; Mazza, 1983). Em relação à amostra pré-tratada com ácido ascórbico, talvez o banho na solução de ácido tenha amaciado os tecidos da maçã, daí que no final da secagem os valores sejam inferiores à amostra *in natura*.

Neste trabalho, devido à falta de tempo não foi feita a combinação dos pré-tratamentos ácido ascórbico ou branqueamento antes da desidratação osmótica, de modo a avaliar os parâmetros de taxas de secagem, GS, PA, RM, cor, redução de volume. No entanto segundo a literatura, os fenómenos que modificam a permeabilidade dos tecidos como pré-tratamentos com produtos químicos, branqueamento ou congelamento, favorecem o GS em comparação com a PA, porque apesar de aumentarem a permeabilidade diminuem a seletividade (Lenart, A., & Lewicki, P., 2006; Torreggiani, 1993). Também Aguerre *et al.* (1995) verificaram que o branqueamento combinado com osmose aumentou a difusão de água, comparativamente com a amostra apenas desidratada a 55 °C.





## CAPÍTULO V

### CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos na caracterização da matéria-prima da maçã *Golden Delicious*, verificou-se que os valores dos parâmetros AT, pH e SST estavam próximos dos valores encontrados na literatura, à exceção da humidade que foi bastante elevada ( $89,38 \pm 0,49$  %), concluindo-se assim que a matéria-prima estava adequada para o processamento.

No estudo da cinética de desidratação osmótica o soluto que proporcionou maior PA (53,92%) foi o sorbitol, assim como apresentou maior GS (10,99 %) e maior RM (49,44 %). A sacarose também demonstrou ser um bom agente desidratante na medida em que a PA é próxima da do sorbitol (48,78 %). Verificou-se que o aumento da concentração da sacarose na solução osmótica resultou num aumento na PA, GS e RM. Na desidratação osmótica a amostra que atingiu valores inferiores para a humidade (33,78 %) foi a amostra imersa na solução de sorbitol e a amostra desidratada com 35 % de sacarose foi a que apresentou maior conteúdo de humidade (55,21 %).

Ainda no pré-tratamento de desidratação osmótica avaliou-se a redução de volume, que tendeu a aumentar com o aumento da concentração da solução osmótica. A amostra que apresentou maior encolhimento foi a tratada na solução de sorbitol, com uma redução no volume de 52,96 % e a amostra que teve menor redução de volume (33,27 %) foi a amostra imersa em 35 % de sacarose. Observou-se que os valores da redução de volume estão bastante próximos dos valores obtidos na PA.

No processo de secagem convectiva combinado com o pré tratamento de desidratação osmótica verificou-se que a taxa de secagem para a amostra *in natura* foi superior à das amostras que tinham sido pré tratadas por osmose. O cálculo dos coeficientes de difusão efetiva mostrou uma diminuição do  $D_{ef}$  com o aumento da concentração osmótica, para a amostra pré-tratada em 35 % de sacarose ( $5,836 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s) em relação à amostra imersa em 55 % de sacarose ( $5,252 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s). A amostra *in natura* foi a que obteve o maior  $D_{ef}$  ( $1,167 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s), o que indica que o açúcar incorporado na amostra durante o pré-tratamento osmótico dificulta a difusão de água na amostra durante a secagem convectiva. Conclui-se ainda que as

amostras pré-tratadas por osmose têm uma taxa de remoção de água inferior em comparação com as amostras que são diretamente secas por convecção, uma vez que, a amostra *in natura* obteve no final do processo o menor valor de humidade (3,80 %), mesmo iniciando o processo de secagem com o maior teor de humidade. Para o processo de osmo-secagem foi também contabilizado a redução do volume das amostras durante a desidratação osmótica, assim na combinação destes dois processos a amostra com maior encolhimento continuou a ser a amostra pré-tratada em 35 % de sacarose (63,43 %), no entanto a que apresentou menor redução de volume foi a amostra pré-tratada a 55 % de sacarose (53,96 %). Quanto à amostra *in natura*, que foi apenas seca por convecção apresentou a maior redução de volume, nomeadamente 80,17 %.

Posto isto, pode-se concluir que o processo de osmo-secagem mostrou ser um tratamento eficaz e favorável na desidratação da maçã *Golden Delicious*, porque mesmo que a secagem das amostras pré-tratadas por desidratação osmótica tenha sido mais lenta em relação às amostras sem pré-tratamento, existiu a vantagem da incorporação de sólidos que conduziu à redução da permeabilidade dos tecidos da maçã e à redução da difusidade da água, que por sua vez atuam como fatores benéficos na manutenção da estabilidade da fruta desidratada durante o armazenamento. Segundo a literatura a combinação destes dois processos melhora as propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do produto, além do menor gasto de energia se comparado com a secagem feita integralmente por convecção. Estes benefícios não foram comprovados neste estudo, foi apenas observado que a incorporação de sólidos favoreceu a integridade estrutural da maçã durante a secagem porque teve menor encolhimento, do que as amostras não sujeitas a este pré-tratamento.

A avaliação do efeito dos pré-tratamentos: imersão em ácido ascórbico, branqueamento e branqueamento com ácido ascórbico, na variação da cor das amostras durante a secagem convectiva mostrou que a amostra *in natura* obteve menores valores de  $\Delta E^*$  e a amostra pré-tratada com o branqueamento mais ácido ascórbico foi a que obteve maiores diferenças de cor. Visualmente verificou-se um escurecimento global na maçã *in natura* após a secagem convectiva, contrariamente às amostras tratadas com o branqueamento (único e combinado). A amostra tratada com ácido ascórbico também apresentou um escurecimento na zona central da maçã. Assim, a amostra que obteve um maior equilíbrio entre a  $\Delta E^*$  e a aparência visual da maçã foi a amostra pré-tratada só com branqueamento, uma vez que a amostra tratada com branqueamento mais ácido ascórbico adquiriu um tom mais amarelo. Os resultados obtidos para

a redução de volume provocada por estes pré-tratamentos mostraram que todos provocaram um maior encolhimento em relação à amostra *in natura*. Relativamente às taxas de secagem apesar da semelhança entre elas observa-se que as amostras pré-tratadas com branqueamento (combinado ou não com ácido ascórbico) são as que parecem predominar com maiores valores.

O objetivo principal deste trabalho era encontrar as condições ótimas da desidratação da maçã *Golden Delicious*. Entre as várias concentrações de soluto e os diferentes solutos utilizados não é simples a escolha do melhor, porque eles não mantiveram a superioridade em todos os parâmetros testados. No soluto sacarose, considera-se melhor a utilização da concentração a 55 % (m/m). Apesar da amostra a 65 % de sacarose ter apresentado maior PA durante a desidratação osmótica, os valores entre esta e a de 55 % não são muito distantes, assim como apresentaram valores na mesma ordem de grandeza na remoção de água por convecção, ou seja a difusão de água nas amostras foi muito próxima, pelo que se obtiveram valores de  $D_{ef}$  iguais. A amostra de 55 % de sacarose teve ainda melhor RD que a de 65 % e foi a amostra que entre todas as amostras pré-tratadas obteve menor encolhimento durante o processo de osmo-secagem. Assim, o facto da amostra a 65 % de sacarose ter perdido mais água durante a desidratação osmótica e mesmo que por pouca diferença maior remoção de água durante a secagem osmo-convectiva, pode-se considerar que as diferenças são mínimas e o custo que uma solução mais concentrada é um fator importante a considerar. Por sua vez, a amostra imersa em sorbitol foi a que obteve maiores reduções de água na desidratação osmótica e a que atingiu menor percentagem de humidade na osmo-secagem, apresenta desvantagens como o maior GS, menor RD e foi a segunda amostra com maior encolhimento na osmo-secagem. No entanto, sabe-se que o GS pode não ter o efeito que tem nas amostras imersas em sacarose, porque o sorbitol apresenta menor teor edulcorante que a sacarose. Assim pode-se considerar que a preferência entre a amostra a 55 % de sacarose e a 65 % de sorbitol a escolha só poderia ser feita com base num teste sensorial e de preferência.



## **CAPÍTULO VI**

### **SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES**

Tendo em conta os resultados obtidos, as limitações e as conclusões expostas neste trabalho, sugere-se para dar continuidade ao estudo o seguinte:

- Atendendo ao facto que a maçã Bravo de Esmolfe seria a matéria-prima alvo desta investigação e só não o foi devido à ausência da variedade no mercado, no espaço temporal da realização desta dissertação, sugere-se a aplicação desta mesma metodologia na maçã, uma vez que as suas características individuais irão certamente afetar os parâmetros determinados neste estudo;
- Dado que não foram analisadas as características da maçã após o processo osmo-convectivo, seria pertinente realizar essa avaliação, de forma a obter uma caracterização do produto final;
- Era importante a execução de uma avaliação sensorial e testes de preferência;
- Considerando que apenas foram testados dois tipos de solutos na desidratação osmótica, sugere-se a aplicação de outros agentes desidratantes (frutose, glucose) e possíveis combinações entre eles;
- Além do que foi referido anteriormente, era interessante averiguar a variação de outros parâmetros como a temperatura, geometria das amostras e o tempo, na desidratação osmótica na secagem convectiva;
- Sugere-se a aplicação de outros pré-tratamentos como pulsos elétricos, imersão em soluções ácidas, congelamento e outros métodos de secagem como a desidratação a vácuo e secagem por micro-ondas;
- Era ainda interessante analisar estruturalmente as amostras antes e após a desidratação por microscopia eletrónica de varrimento e relevante a avaliação microbiológica das amostras desidratadas ao longo do tempo, de modo a confirmar a sua estabilização.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagenaes, O., Hanssen, K., & Vaaler, S. (1980). Sucrose and Sorbitol as Sweeteners in Diet of Insulin-Dependent Diabetics. *Acta Medica Scandinavica*, 207, 371-373.
- Abano, E., & Sam-Amoah, K. (2011). Effects of different pretreatments on drying characteristics of banana slices. *Asian Research Publishing Network*, 6, 121-129.
- Acar, J., Bahçeci, K., Gökmen, V., Serpen, A. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66, 187-192.
- Acree, T., Decker, E., Penner, M., Reid, D., Schwartz, S., Shoemaker, C., Smith, D., Sporns, P., Wrolstad, R. (2005). Water. In Acree, T., Decker, E., Penner, M., Reid, D., Schwartz, S., Shoemaker, C., Smith, D., Sporns, P., Wrolstad, R. (Eds.). *Handbook of Food Analytical Chemistry* (pp.51-60). EUA: John Wiley & Sons.
- Ade-Omowaye, B., Angerbach, A., Knor, D., Taiwo, K. (2001). Use of pulsed electric field pretreatment to improve dehydration characteristics of plant based foods. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 285-295.
- Aguerre, R., Alvarez, C., Alzamora, S., Gerschenson, L., Gómez, R., Vidales, S. (1995). Air Dehydration of Strawberries: Effects of Blanching and Osmotic Pretreatments on the Kinetics of Moisture Transport. *Journal of Food Engineering*, 25, 167-178.
- Aguilera, J., Cuadros, T., & Valle, J.(1998). Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. *Food Research International*, 31, 191-201.
- Aguilera, J., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 432-437.
- Aguirre, J., Anjos, B., Berbari, S., Germer, S., Queiroz, M. (2011). Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 161-169.
- Ah-Hen, K., Chacaba, M., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., Martínez-Monzó, J., Scala, K., Veja-Gálvez, A., Vergara, J. (2012). Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. *Food Chemistry*, 132, 51-5.



- Aharoni, N., Gloter, P., Meir, S., Philosoph-Hadas, S. (1992). Nondestructive assessment of chlorophyll content in watercress leaves by a tristimulus reflectance colorimeter. *Postharvest Biology and Technology*, 2, 117-124.
- Ahrné, L., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., Sjöholm, I., Prothon, F. (2001). Effects of Combined Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 34, 95-101.
- Ahvenainen, R. & Laurila, E. (2000). Minimal processing of fresh fruits and vegetables. In Jongen, W. (Ed.). *Fruit and Vegetable Processing: Improving Quality* (pp.296-298). EUA: Woodhead Publishing Ltd.
- Akpanunam, M., Badifu, G., & Mgbemere, V. (1995). The fate of beta-carotene in processed leaves of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook. f.): A popular vegetable in Nigerian diet. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 141-147.
- Aldrigue, M., Gondim, P., Lima, C, Lima, E. (2002). Caracterização física e química dos frutos da Umbu-Cajazeira (*Spondias spp*) em cinco estágios de maturação da polpa congelada e néctar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24, 338-343.
- Almeida, M., & Nogueira, J. (1995). The control of polyphenol oxidase activity in fruits and vegetables: A study of the interactions between the chemical compounds used and heat treatment. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47, 245-256.
- Alzamora, S., Castro, M., & Nieto, A. (2001). Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 50, 175-185.
- Alzamora, S., Castro, M., Nieto, A., Salvatori, D. (1998). Air Drying Behaviour of Apples as Affected by Blanching and Glucose Impregnation. *Journal of Food Engineering*, 36, 63-79.
- Alzamora, S., Castro, M., Nieto, A., Salvatori, D. (2004). Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61, 269-278.
- Amami, E., Kechaou, N., Vorobiev, E. (2006). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 39, 1014-1021.
- Amarowicz, R., & Chavan, U. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1, 202- 209.

- Anagnostaras, E., Mandala, I., & Oikonomou, C. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics *Journal of Food Engineering*, 69, 307-316.
- Ancos, B., Cano, M., Moreno, C., Pascual, S. (2006). Freezing Preservation of Fruits. In Barta, J., Cano, M., Sidhui, J., Sinha, N., Wu, J. (Eds.). *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (103-121). EUA: Blackwell Publishing.
- Andrade, R., Lemus, R., & Pérez, C. (2011). Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. *VITAE*, 18, 325-334.
- Andrés, A., Chiralt, A., Fito, P., Salvatori, D. (1999). Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*, 42, 125-132.
- António, G., Azoubel, P., El-Aouar, Â., Kurozawa, L., Murr, F., Park, K., Tonon, R. (2009). Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 980-986.
- Antunes, C., Bronze, M., Carvalho, A., Duarte, C., Feliciano, R., Figueira, M., Ramos, A., Serra, A. (2010). Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1– Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods*, 2, 35-45.
- Arola, F., Batista, M., Corrêa, J., Filho, E., Fioreze, R. (2008). Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 10, 35-42.
- Associação dos Produtores de Maçã de Alcobaça. (2007). Caracterização nutritiva e funcional de variedades de maçã de Alcobaça. Consultado em <http://www.maca.pt/custompages/showpage.aspx?pageid=51a0faf8-07ed-4927-97f7-e242b1570805&m=b52> a 12 de outubro de 2013.
- Attia, H., Bchir, B., Besbes, S., Blecker, C., Karoui, R. (2012). Effect of Air-Drying Conditions on Physico-chemical Properties of Osmotically Pre-treated Pomegranate Seeds. *Food Bioprocess Technology*, 5, 1840-1852.
- Ayanwuyi, F., Falade, K., & Igbeka, J. (2007). Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80, 979-985.
- Azoubel, P., Barbosa Jr., J., El-Aouar, Â., Murr, F. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.

- Azoubel, P., El-Aouar, Â., & Murr, F. (2003). Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 59, 85–91.
- Azoubel, P., & Murr, F. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61, 291-295.
- Azuara, E., Beristain, C., Cortés, R., Garcia, H. (1990). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 576-582.
- Azuara, E. Beristain, C., & Garcia, H. (1996). Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, 29, 195-199.
- Azuara, E., Beristain, C., & Gutiérrez, G. (1998). A Method for Continuous Kinetic Evaluation of Osmotic Dehydration. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 31, 317-321.
- Baiano, A., Derossi, A., Pilli, T., Romaniello, R., Severini, C. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 36, 657–665.
- Barbosa-Cánovas, G., Cavalieri, R., & Monsalve-González, A. (1993). Mass Transfer and Textural Changes during Processing of Apples by Combined Methods. *Journal of Food Science*, 58, 1118-1124.
- Barrera, C., Netoret, N., Fito, P. (2004). Ca<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. *Granny Smith*). *Journal of Food Engineering*, 65, 9-14.
- Bartolucci, L., Lericci, C., Pinnavaia, G., Rosa, M. (1985). Osmotic dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*, 50, 127.
- Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2009). Water. In Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (Eds.). *Food Chemistry* (pp. 1-7). Germany, Springer.
- Benedito, J., Rosseló, C., Sánchez, E., Simal, S. (1998). Use of Ultrasound to increase Mass Transport Rates During Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36, 323-336.
- Berbert, P., Carlesso, V., Dionello, R., Molina, M., Pereira, R., Viana, A. (2009). Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 232-240.
- Berbert, P., Molina, M., Queiroz, L., Queiroz, V. (2008). Desidratação de fatias de carambola por Imersão-Impregnação. In Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, 21 (pp. 1-3). Brasil. Consultado em

<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35959/1/Desidracao-fatias.pdf>  
a 24 de setembro de 2013.

- Berna, A., Cañellas, J., Rosselló, C., Simal, S. (1992). Simple Mathematical Model to Predict the Drying Rates of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 2374-2378.
- Bernardi, J., Miele, A., Rizzon, L. (2005). Características analíticas dos sucos de maçã *Golden Delicious* e *Fuji*. *Food Science and Technology*, 25, 750-756
- Bertolo, G., & Torreggiani, D. (2004). Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration from unit operation to innovative combined process: an overview. *Advances in Food and Nutrition Research*, 48, 173-238.
- Bezerra T. (2009). *Comportamento Higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (Mangifera indica L.)*. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Federal do Ceará, Brasil. Consultado em <http://www.ppgcta.ufc.br/sulamytha.pdf> a 5 de fevereiro de 2013.
- Bhatty, N., Gilani, A., & Mukhtar, A. (2010). Some nutritional and microbiological aspects of apples of common varieties available for household consumption. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 20, 253-257.
- Biekman, E., Kroese-Hoedeman, H., & Schijvens, E. (1996). Loss of Solutes During Blanching of Mushrooms (*Agaricus bisporus*) as a Result of Shrinkage and Extraction. *Journal of Food Engineering*, 28, 139- 152.
- Bolin, H., Huxsoll, C. Jackson, R., NG, K. (1983). Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. *Journal of Food Science*, 48, 202-205.
- Bin, A., Brod, F., & Park, K. (2002). Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56, 97-103.
- Bolin, H. (1980). Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. *Journal of Food Science*, 45, 1190-1192.
- Bourne, M. (1986). Effect of water activity on texture profile parameters of apple flesh. *Journal of Texture Studies*, 17, 331-340.
- Borges, S., Corrêa, J., Leite, J., Mancini, M. (2010). Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. *Food Science and Technology*, 30, 605-612.
- Boyer, J., & Lui, R. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3, 1-15.

- Brennan, G., & Wang, N. (1995). Changes in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 24, 61-76.
- Brown S. (2012). Apples. In Badenes, M., & Byrne, D. (Eds.). *Fruit Breeding* (pp.329-369). EUA: Springer+Science Business Media LLC.
- Brown, S., Cummins, J., Hemmat, M., & Janick, J. (1996). Apples. In Janick, J., & Moore, J. (Eds.). *Fruit Breed* (pp.1-64). EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Camirand, W., Cole, M., Krochta, J., Pavlath, A., Wong, D. (1992). Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers*, 17, 39-49.
- Campolongo, S., Leva, A., Maestrelli, A., Riva, M., Torreggiani, D. (2005). Structure–property relationships in osmo-air-dehydrated. *Food Research International*, 38, 533–542.
- Carle, R., Endreß, H., Hilt, P., Rentschler, C., Schieber, A. (2003). A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 99–107.
- Castaigne, F., Conway, J., Picard, G., Vovan, X. (1983). Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, 16, 25-29.
- Castaigne, F., Maharaj, R., & Sankat, C. (1996). The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 31, 123-135.
- Cenic, A., Jakobsen, M., Rovira, J., Santos, E. (2006). Biological hazards. In Devlieghere, F., Luning, ., Verhé, R. (Eds.). *Safety in the agri-food chain* (pp.67-136). Holanda: Wageningen Academic Publishers.
- Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Mandić, A., Savatović, S., Tumbas, V. (2008). Assessment of polyphenolic content and in vitro antiradical characteristics of apple pomace. *Food Chemistry*, 109, 340–347.
- Chavan, U. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1, 202-209.
- Chen, F., Gao, H., Hu, X., Liao, X., Wang, Z., Wu, J., Zhao, L. (2007). Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, 103, 88-93.
- Chirife, J., Lombardi, J., & Vaccarezza, L. (1974). Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. *Journal of Food Technology*, 9, 317-327.

- Christian, J. (2000). Drying and Reduction of Water Activity. In Baird-Parker, T., Lund, B., Gould, G. *The Microbiological Safety and Quality of Food* (pp. 146-168). EUA: Aspen Publishers, Inc.
- Christian, E., & Vaclavik, V. (2008). Proteins in Food. In Christian, E., & Vaclavik, V. (Eds.). *Essentials of Food Science* (pp.154). EUA: Springer Science+Business, LLC.
- Clary, C., Curry, E., Fellman, J., Mitsuhashi-Gonzalez, K., Pitts, M. (2010). Bruising profile of fresh apples associated with tissue type and structure. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 26, 509-517.
- Corrêa, P., Júnior, P., Ribeiro, D., Silva, F. (2003). Atividade de água, crescimento microbológico e perda de matéria seca dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) em diferentes condições de armazenamento. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 5, 17-24.
- Cortada, G., & Frutuoso, M. (2010). Apple. In Hui, Y. (Ed.). *Handbook of Fruit and Vegetables Flavors* (pp.247-259). EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Cunha, P. (2008). *Efeito de tratamentos de alta pressão na ligação da água e nas isotérmicas de sorção de amido de milho*. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade de Aveiro, Portugal. Consultado em <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/3047/1/2009000415.pdf> a 5 de fevereiro de 2013.
- Cunha, L., Robbers, M., & Singh, P. (1997). Osmotic-Convective Dehydrofreezing Process for Drying Kiwi fruit. *Journal of Food Science*, 62, 1039-1094.
- Das Gupta, D., Jayaraman, K., Rao, N. (1990). Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 47-60.
- Deis, R., & Kearsley, M. (2006). Sorbitol and Mannitol. In Mitchel, H. (Ed.). *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (pp. 249-261). EUA: Blackwell Publishing.
- Derksen, J., Dijk, C., Donkers, J., Sassen, M., Stolle-Smits, T. (1997). An Electron Microscopy Study on the Texture of Fresh, Blanched and Sterilized Green Bean Pods. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 31, 237-244.
- Derossi, A., McCarthy, M., Pilli, T., Severini, C. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86, 519-528.
- Dias, R. (2011). *Sumos de Frutas Naturais: Características físico-químicas e sensoriais*. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Dias, M., & Guiné, R. (2007). Dried Tomato. In Hui, Y. H. *Handbook of Food Products Manufacturing* (p. 1110). EUA: John Wiley & Sons.
- Ditchfield, C. (2000). *Estudo dos métodos para a medida da atividade da água*. Dissertação de Mestrado não publicada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil. Consultado em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-06112001-090117/pt-br.php>.
- Dixon, G., & Jen, J. (1977). A research note – Changes of sugars and acids of osmovac-dried apple slices. *Journal of Food Science*, 42, 1126-1127.
- Doymaz, İ. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359–364.
- El-Aquar, A. & Murr, F. (2003). Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão Formosa (*Carica papaya* L.). *Food Science and Technology*, 23, 69-75.
- Elicin, A., & Sacilik, K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 281-289.
- Emam-Jomeh, Z., Sahari, Md., & Souti, M. (2006). Improving the Dehydration of Dried Peach by Osmotic Method. *Journal of Food Technology* 4, 189-193.
- Falade, K., & Oyedele, O. (2010). Effect of osmotic pretreatment on air drying characteristics and colour of pepper (*Capsicum spp*) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 488-495.
- Featherstone, S., & Tucker, G. (2011). Microbiology of Heat Preserved Foods. In Featherstone, S., & Tucker, G. (Eds.). *Essentials of Thermal Processing* (pp.1-27). EUA: Wiley-Blackwell.
- Fernandes, F., Law, C., Mujumdar, A., Rodrigues, S. (2011). Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review, *Food Bioprocess Technology*, 4, 163–185
- Figueiredo, R., Filho, M., Lima, A., Lima J., Maia, G., Neto, M. (2005). Desidratação Osmótica de manga seguida de Secagem Convencional: Avaliação das variáveis de processo. *Ciência e Agrotecnologia*, 29, 1021-1028.
- Fito, P., & Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21, 513-519.
- Flink, J., & Hawkes, J. (1978). Osmotic concentration of Fruits Slices prior to Freeze Dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265-284.
- Flink, J., & Islam, M. (1982). Dehydration of potato II . Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Journal of Food Technology*, 17, 387-403.

- Flink, J., & Lenart, A. (1984). Osmotic concentration of potato II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology*, 19, 65-89.
- Fliyou, M., Lahsasni, S., Mahrouz, M., Kouhila, M. (2003). Moisture adsorption–desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficusindica*) at different temperatures. *Energy Conversion and Management*, 44, 923–936.
- Fontes, L., Queiroz, F., Ramos, K., Sivi, T. (2009). Efeito de antioxidantes na prevenção de escurecimento enzimático de batata-doce (*Ipomoea Batatas*) e inhame (*Dioscorea spp.*). *Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, 15, 167-174.
- Fontoura, P., & Freitas, R. (1993). Contribuição na seleção de variedades de maçã para a produção de suco. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 11, 27-32.
- Fontoura, P., Freitas, R., Protzek, E., Waszczyński, N. (1999). Avaliação sensorial de suco de maçã produzido a partir de rejeitos de produção. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 17, 59-70.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2011). *FAOSTAT home page*. Consultado a 19 de dezembro de 2012 em <http://faostat.fao.org>.
- Forni, E., Scalise, S., Sormani, A., Torreggiani, D. (1997). The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30, 87-94.
- Gekas, V., Mavroudis, N., & Sjöholm, I. (1998). Osmotic Dehydration of Apples - Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. *Journal of Food Engineering*, 35, 191-209.
- Gerschenson, L., Marangoni, A., & Rojas, A. (2001). Effects of processing on kiwi fruit dynamic rheological behaviour and tissue structure. *Food Research International*, 34, 1-6.
- Gianotti, A., Rosa, M., & Sacchetti, G. (2001). Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, 49, 163-173.
- Glabeke, S., Roldan-Ruiz, I. & Schlumbaum, A. (2012). Towards the onset of fruit tree growing north of the Alps: Ancient DNA from waterlogged apple (*Malus sp.*) seed fragments. *Annals of Anatomy*, 194, 157–162.



- Gorinstein, S., Grigelmo-Miguel, N., Martín-Belloso, O., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny R. (2001). Browning Evaluation of Ready-to-Eat Apples as Affected by Modified Atmosphere Packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3685-3690.
- Goyal, R., Ilyas, S., Kingsly, R., Manikantam, M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 65–69.
- Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Estatísticas Agrícolas 2011*. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I.P. Consultado a 27 de dezembro de 2012 em [www.ine.pt/](http://www.ine.pt/).
- İspir, A., & Toğrul, İ. (2007). Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. *Energy Conversion and Management*, 48, 2611–2621
- Jackson, J. (2003a). The growing of apples and pears. In Jackson, J. (Eds.). *Biology of Apples and Pears* (pp.4-13). EUA: Cambridge University Press.
- Jackson, J. (2003b). Eating quality and its retention. In Jackson, J. (Eds.). *Biology of Apples and Pears* (pp. 341-371). EUA: Cambridge University Press.
- Jain, N., Jain, P., & Pisalkar, P. (2011). Osmo-air drying of aloe vera gel cubes. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 183-189.
- Jamieson, P. (2012). Sorbitol and Mannitol. In Nabors, K. (Ed.). *Alternative Sweeteners* (pp. 333-347). EUA: CRC Press.
- Kahle, K., Kraus, M., & Richling, E. (2005). Polyphenol profiles of apple juices. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, 797–806.
- Kanayama, Y., Kato, K., Moriguchi, R., Yamada, Y. (2008). Biochemical and Molecular Aspects of Sorbitol Metabolism in Rosaceae Fruit Trees and Other Plants. In Matsumoto, T. (Ed.). *Phytochemistry Research Progress* (pp. 75-86). Japão: Nova Science Publishers.
- Karathanos, V., Maroulis, Z., & Panagiotou, N. (1998). Mass transfer modeling of the osmotic dehydration of some fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
- Karathanos, V., Maroulis, Z., & Panagiotou, N. (2000). Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying technology*, 17, 175-189.
- Katsanidis, E., Lazarides H., & Nickolaidis, A. (1995). Mass Transfer Kinetics during Osmotic Preconcentration Aiming at Minimal Solid Uptake. *Journal of Food Engineering*, 25, 151-166.

- Kaymak-Ertekin, F., & Sultanoğlu, M. (2000). Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 46, 243-250.
- Kellerhals, M. (2009). Introduction to Apple (*Malus domestica*). In Folta, K., & Gardiner, S. (Eds.). *Genetics and Genomics of Rosaceae* (pp.73-81). EUA: Springer Science+Business Media LLC.
- Khan, R. (1995). Sucrose: Its potential as a raw material for food ingredients and for chemicals. In Mathlouthi, M., & Reiser, P. *Sucrose Properties and Applications* (pp. 264-276). Escócia: Blackie Academic Professional.
- Khan, M. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22, 71-85.
- Khan, M., Shukla, R., & Zaidi, S. (2011). Mass Transfer during Osmotic dehydration of Apple using Sucrose, Fructose and Maltodextrin Solution. In *Proceeding of 11<sup>th</sup> International Congress on Engineering and Food* (pp. 967-968), Grécia. Consultado em <http://www.icef11.org/content/papers/fms/FMS779.pdf> a 10 de setembro.
- Khan, A., & Vincent, J. (1993). Anisotropy in the fracture properties of apple flesh as investigated by crack-opening tests. *Journal of Materials Science*, 28, 45 – 51.
- Khin, M., Yeo, S. Zhou, W. (2006). Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 514–522.
- Knorr, D., Niranjana, K., Raghavarao, K., Rastogi, N. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13, 48-59.
- Kowalska, H., & Lenart, A. (2001). Mass Exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49, 137-140.
- Krokida, M., Maroulis, Z., & Saravacos, G. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 53-59.
- Krokida, M., & Philippopoulos, C. (2006). Volatility of apples during air and freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 73, 135–141.
- Lamb, J. & Rahman, M. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14, 163-171.

- Lazarides, H., & Mavroudis, N. (1996). Kinetics of Osmotic Dehydration of a Highly Shrinking Vegetable Tissue in a Salt-free Medium. *Journal of Food Engineering*, 30, 61-74.
- Lebert, A., Marty-Audouin, C., & Rocha, T. (1993). Effect of Pretreatments and Drying Conditions on Drying Rate and Colour Retention of Basil (*Ocimum basilicum*). *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 26, 456-463.
- Lee, C., Lee, H., Lee, K., Kim, D., Kim, Y. (2003). Major Phenolics in Apple and Their Contribution to the Total Antioxidant Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6516-6520.
- LeMaguer, M., Qi, H., & Sharma, S. (1998). Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 75-88.
- Lenart, A. (1996). Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technology*, 14, 391-413.
- Lenart, A., & Lewicki, P. (2006). Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. In Mujumdar, A. (Ed.). *Handbook of Industrial Drying* (665-681). EUA: CRC Press.
- Lewicki, P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. *International Journal of Food Properties*, 1, 1-22.
- Lewicki, P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 153-163.
- Lewicki, P., & Lukaszuk, A. (2000). Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45, 119-126.
- Lewicki, P., & Pawlak, G. (2003). Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue. *Drying Technology*, 21, 657-683.
- Lewicki, P., & Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66, 43-50.
- London Economics (2008). *Avaliação das medidas da PAC relativas às denominações de origem protegida (DOP) e às indicações geográficas protegidas (IGP)*. Consultado em [http://ec.europa.eu/agriculture/eval/reports/pdopgi/short\\_sum\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/eval/reports/pdopgi/short_sum_pt.pdf) a 27 de dezembro de 2012
- Luby, J. (2003). Taxonomic Classification and Brief History. In Ferree, D., & Warrington, I. (Eds.). *Apples Botany, Production and Uses* (pp. 1-9). EUA: CAB International.

- Magee, T., & McMin, W. (1999). Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. *Chemical Engineering Research & design*, 77, 175-193.
- Magee, T., McMinn, W., & Khraisheh, M. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37, 497–503.
- Martinez, E., & Sereno, A. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47, 43-49.
- Maroulis, Z., & Zogzas, N. (1996). Effective moisture diffusivity estimation from drying data. A comparison between various methods of analysis. *Drying Technology*, 14, 1543-1573.
- Martins, M., Pinto, L., Resende, E., Thiébaut, J. (2011). Atividade da pectina metilesterase e da  $\beta$ -Galactosidase durante o amadurecimento do Mamão cv. *Golden*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 713-722.
- Mathouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409-417.
- Mayor, L., & Sereno, A. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373–386.
- Mayor, L., Sereno, A., & Silva, M. (2007). Determination of particle density and porosity in foods and porous materials with high moisture content. *International Journal of Food Properties*, 10, 455-469.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85, 326–339.
- Mazza, G. (1983). Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Food Technology*, 18, 113-123.
- Melo, S., Mendes, M., Nelson, D., Pessoa, F., Queiroz, E. (2007). Distillation and Drying. In Hui, Y. (Ed.). *Handbook of Food Products Manufacturing* (pp. 162-166). EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Melo, Â., & Vilas Boas, E. (2006). Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. *Food Science and Technology*, 26, 110-115.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2007). *Maçã*. Lisboa, Portugal: Gabinete de Planeamento e Políticas. Consultado em [www.gppaa.min-agricultura.pt](http://www.gppaa.min-agricultura.pt) a 27 de dezembro de 2012.

- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2005). *Produtos Tradicionais com nomes Protegidos*. Lisboa, Portugal: Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica. Consultado em <http://www.gpp.pt> a 27 de dezembro de 2012.
- Moura, C. (2004). Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Moreira, R., & Sereno, A. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, 57, 25-31.
- Mujumdar, A., & Ratti, C. (2005). Drying of Fruits. In Barrett, D., Ramaswamy, H., Somogyi, L. (Eds.). *Processing Fruits* (pp. 127-153). EUA: CRC PRESS.
- Murphy, P., & Sadler, G. (2010). Ph and Titratable Acidity. In Nielsen, S. (Ed.). *Food Analysis* (pp. 221-234). EUA: Springer.
- Narain, N., & Moreira, J. (2012). Effect of Fruit Processing on Product Aroma. In Rodrigues, S., Fernandes, F. (Eds.) *Advances in Fruit Processing Technologies* (pp. 388-389). EUA: CRC Press.
- Nieuwenhuijzen, N., Ramaswamy, H., & Zareifard, M. (2001). Osmotic Drying Kinetics of Cylindrical Apple Slices of Different Sizes. *Drying Technology*, 19, 525-545.
- Niranjan, K., Raghavarao, K., Rastogui, N. (1996). Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration. *Journal of food Engineering*, 31, 473-432.
- Nogueira, J. (1973). Influência de alguns métodos de controle do escurecimento enzimático nas propriedades organoléticas da maçã Ohio Beauty conservada por congelamento e liofilização. Consultado em <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v30/19.pdf> a 6 de Outubro de 2013.
- Nsonzi, F., & Ramaswamy, H. (1998). Convective-air drying kinetics of osmotically pre-treated blueberries. *Drying Technology*, 16, 743-759.
- O'Rourke, D. (2003). World Production, Trade, Consumption and Economic Outlook for Apples. In Ferree, D., & Warrington, I. (Eds.). *Apples Botany, Production and Uses* (pp.15-28). EUA: CAB International.

- Raghavarao, K., & Rastogi, N. (1997). Water and Solute Diffusion Coefficients of Carrot as a Function of Temperature and Concentration during Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 34, 429-440.
- Rahman, M. (2007). Osmotic Dehydration of Foods. In Rahman, M. (Ed.). *Handbook of Food Preservation* (pp. 433-442). EUA: CRC Press.
- Raoult-Wack, A. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5, 255-260.
- Niranjan, K., & Rastogi, N. (1998). Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science*, 63, 508–511.
- Niranjan, K., Raghavarao, K., & Rastogi, N. (1997). Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration. *Journal of Food Engineering*, 31, 423-432.
- Pátkai, G. (2006). Fruit as an Ingredient in a Fruit Product. In Hui, Y. (Eds.). *Handbook of fruits and fruit processing* (pp. 217-219). EUA: Blackwell Publishing.
- Perera, C., & Rahman, M. (2007). Drying and Food Preservation. In Rahman, M. (Ed.). *Handbook of Food Preservation* (pp. 404-426). EUA: CRC Press.
- Rahman, M. (2007). Osmotic Dehydration of Foods. In Rahman, M. (Ed.). *Handbook of Food Preservation* (pp. 433-442). EUA: CRC Press.
- Schubert, H., & Ulrich, E. (2000). Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*, 49, 193-199.
- Silva, J., & Stojanovic, J. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101, 898–906.
- Sinha, N. (2006). Apples. In Hui, Y. (Ed.). *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (pp. 265-279). EUA: Blackwell Publishing.
- Sinha, N. (2007). Apple: Production, Chemistry and Processing. In Hui, Y. (Ed.). *Handbook of Food Products Manufacturing* (pp.773-793). EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Sousa, T. (2007). Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): Aplicação de modelos matemáticos. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 43-61.

- Totoe, 2010. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4, 303-324.
- Tsao, R., Yang, R., Young, J., Zhu, H. (2003). Polyphenolic Profiles in Eight Apple Cultivars Using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6347-6353.
- Tung, A., Ramaswamy, H. (1981). Thermophysical Properties of Apples in Relation to Freezing. *Journal of Food Science*, 46, 724-728.
- Ventura, F. (2004). Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e yacon desidratados osmoticamente e acerola. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Kupferman, E., Watkin, C., & Rosenberger, D. (2004). Apple. In Gross, K., Saltveit, M., & Wang, C (Eds.). *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Crops. Agriculture Handbook*. Consultado em <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/027apple.pdf> a 25 de janeiro de 2013.
- Zen, F. (2010). Estudo da secagem convectiva do bagaço de mirtilo visando minimizar a perda de compostos antociânicos. Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

## **ANEXOS**





Anexo 1- Dados referentes à redução de massa, utilizados na cinética de desidratação osmótica para a maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (h)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35%	55%	65%	65%
0	0	0	0	0,00
0,25	10,75543	11,51332	16,01589	18,42698
0,5	16,28570	18,45608	22,33099	25,62946
0,75	20,70677	21,96796	26,92598	30,33736
1	22,91079	24,75756	30,25369	34,29059
1,5	25,85619	28,90042	34,79391	38,73474
2	28,51530	32,38985	38,77796	41,99449
3	31,15432	38,28176	44,72158	46,25125
4	32,06077	40,60581	48,22661	49,43595

Anexo 2- Dados referentes à perda de água, utilizados na cinética de desidratação osmótica para a maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (min)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35	55	65	65
0	0	0	0	0
0,25	14,19433	13,96950	16,57292	22,90550
0,5	18,57831	20,91258	22,88406	30,10795
0,75	23,00684	24,42458	27,46973	34,81727
1	25,21325	27,21833	30,80141	38,77046
1,5	28,16766	31,36817	35,34286	43,21589
2	30,85752	34,84822	39,33032	46,47647
3	33,47416	40,77871	45,27917	50,73345
4	34,38020	43,05442	48,77840	53,91852

Anexo 3- Dados referentes ao ganho de sólidos, utilizados na cinética de desidratação osmótica para a maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (min)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35%	55%	65%	65%
0	0	0	0	0
0,25	1,10943	2,37736	3,16375	2,82956
0,5	1,62453	3,73836	4,96375	5,73899
0,75	1,82893	4,66352	6,00938	8,47673
1	2,50818	5,15535	6,30625	9,36038
1,5	3,20314	5,76289	7,84375	9,75094
2	3,49811	6,34088	7,88188	10,66855
3	3,53774	6,89182	8,34875	10,79560
4	3,59308	6,91195	8,50688	10,98679

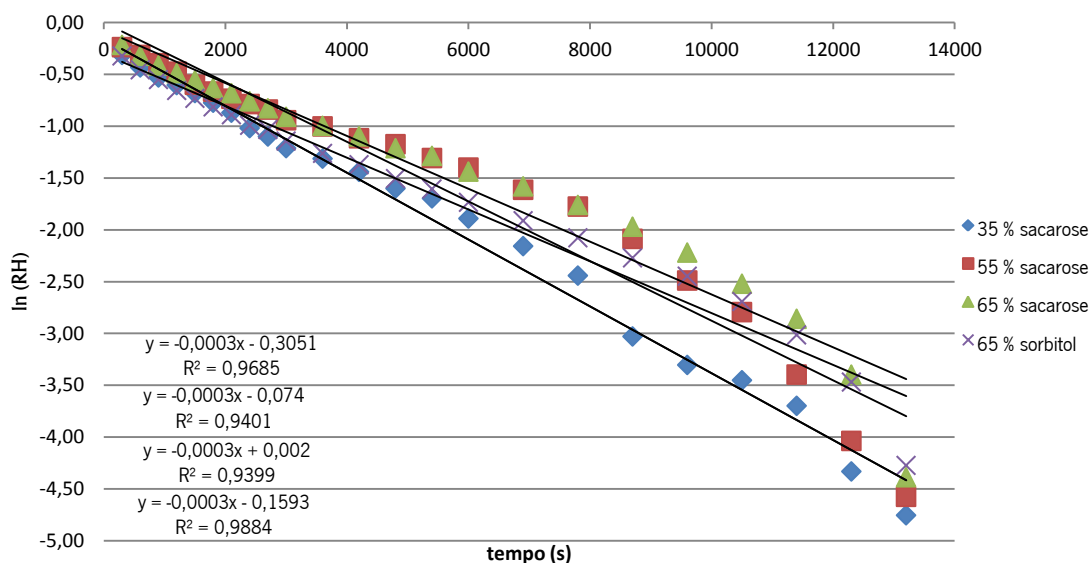
Anexo 4 - Dados referentes ao conteúdo de humidade, utilizados na cinética de desidratação osmótica para a maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (h)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35%	55%	65%	65%
0	89,65529	87,82710	88,37225	87,82891
0,08	80,39260	78,72628	78,88509	72,92300
0,17	77,53472	76,26824	74,95492	68,01622
0,25	75,47218	73,86815	71,79931	64,92035
0,33	74,03722	71,58877	69,47497	61,81222
0,42	72,64379	68,42855	67,49116	59,76395
0,50	71,09321	66,92539	65,48421	57,71788
0,58	69,63634	65,44686	64,21888	55,96240
0,67	67,64196	64,42214	62,37010	53,80621
0,75	66,67215	63,41351	60,88922	53,00998
0,83	65,45540	61,59185	59,19036	50,98591
1,00	64,46813	60,62391	57,56152	49,05675
1,17	63,35967	58,92315	55,81956	47,47888
1,33	62,15613	58,13658	54,06236	45,75906
1,50	61,52273	56,48105	53,02130	44,61260
1,67	60,40815	55,45625	51,12336	43,30464
1,92	59,19199	53,41734	49,58662	41,75771
2,17	58,20677	52,14016	47,93848	40,54311
2,42	56,87746	50,19225	46,34718	39,34940
2,67	56,47765	48,43166	44,84586	38,44617
2,92	56,30403	47,49603	43,46916	37,43132
3,17	56,06572	46,30707	42,34257	36,42561
3,42	55,66598	45,62781	41,17653	35,45691
3,67	55,51004	45,31219	40,15116	34,52761
3,92	55,37031	44,72804	39,61046	33,97945
4,17	55,21382	44,87071	39,54486	33,77525

Anexo 5 - Dados referentes ao RH, utilizados no cálculo dos coeficientes de difusão efetiva para a desidratação osmótica da maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (s)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35	55	65	65
300	0,73106	0,78814	0,80570	0,72424
600	0,64808	0,73092	0,72521	0,63346
900	0,58820	0,67504	0,66058	0,57619
1200	0,54653	0,62198	0,61298	0,51869
1500	0,50608	0,54841	0,57235	0,48079
1800	0,46105	0,51342	0,53125	0,44294
2100	0,41875	0,47900	0,50533	0,41047
2400	0,36085	0,45515	0,46747	0,37058
2700	0,33269	0,43167	0,43714	0,35585
3000	0,29736	0,38926	0,40235	0,31840
3600	0,26870	0,36673	0,36899	0,28271
4200	0,23651	0,32713	0,33331	0,25352
4800	0,20157	0,30882	0,29732	0,22170
5400	0,18318	0,27028	0,27600	0,20049
6000	0,15082	0,24643	0,23713	0,17629
6900	0,11551	0,19896	0,20566	0,14768
7800	0,08690	0,16923	0,17190	0,12521
8700	0,04830	0,12388	0,13931	0,10312
9600	0,03670	0,08290	0,10857	0,08641
10500	0,03165	0,06112	0,08037	0,06764
11400	0,02473	0,03344	0,05730	0,04903
12300	0,01313	0,01762	0,03342	0,03111
13200	0,00860	0,01028	0,01242	0,01392

Anexo 6 – Ajuste linear dos dados referentes ao RH, para o cálculo dos coeficientes de difusão efetiva para a desidratação osmótica da maçã desidratada com sacarose e sorbitol.



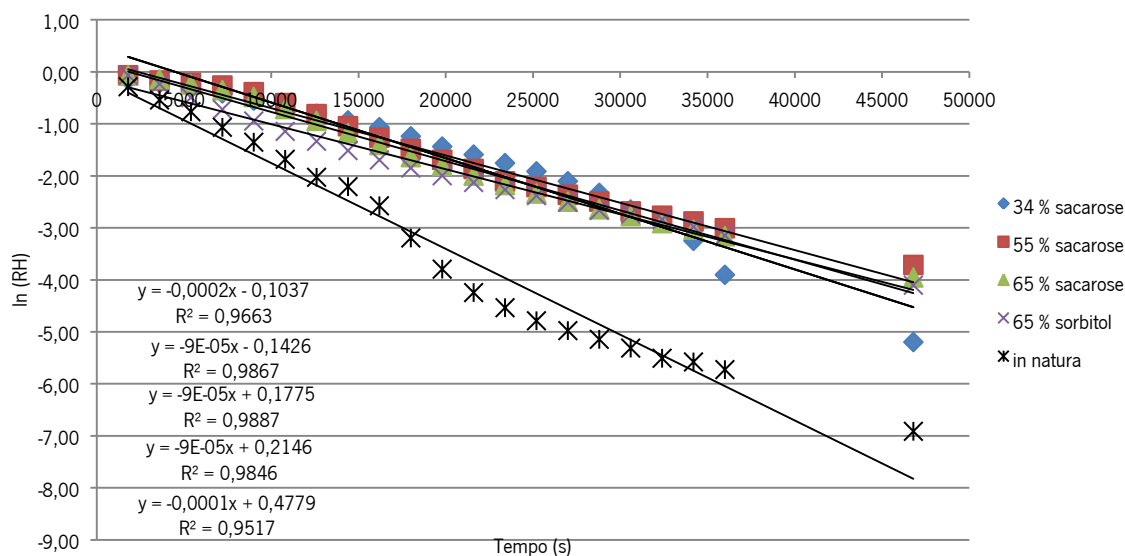
Anexo 7 - Dados referentes ao conteúdo de humidade, utilizados na cinética de desidratação da osmo-secagem para a maçã desidratada com sacarose e sorbitol.

Tempo (h)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)
	35	55	65	65
0	55,21376	44,87071	39,60487	33,77525
0,5	50,00125	42,98799	37,67869	32,05991
1	48,09502	40,38973	35,79379	28,10319
1,5	45,40918	39,31929	33,29996	23,25311
2	42,84537	38,13183	30,96511	19,93307
2,5	39,73832	35,48522	28,47135	17,32063
3	36,87939	31,78623	24,80148	15,43941
3,5	35,10018	28,77921	21,92841	13,95918
4	33,14844	26,13868	19,53750	12,80213
4,5	31,41670	24,13404	17,73324	11,83114
5	29,40245	22,54333	16,27014	11,12287
5,5	27,52619	21,31280	15,42318	10,54422
6	26,29310	20,45803	14,59161	10,09992
6,5	25,18009	19,51140	13,94243	9,69000
7	24,25671	19,15202	13,45038	9,38805
7,5	23,33027	18,71609	13,04613	9,08774
8	22,44739	18,38022	12,72202	8,77674
8,5	21,47627	17,97343	12,46984	8,64763
9	21,12511	17,81632	12,24026	8,47455
9,5	20,31958	17,62787	12,05447	8,27278
10	19,64490	17,42994	11,89011	8,06121
13	19,11456	16,70888	11,22010	7,34957
16	18,91408	16,00688	10,66622	6,90656

Anexo 8 - Dados referentes ao RH, utilizados no cálculo dos coeficientes de difusão efetiva para o processo de osmo-secagem da maçã desidratada com sacarose e sorbitol e amostra *in* natura.

Tempo (s)	Sacarose % (m/m)			Sorbitol % (m/m)	
	<i>in</i> natura	55	65	55	65
1800	0,74972	0,85640	0,93477	0,93344	0,93616
3600	0,58130	0,80389	0,84475	0,86830	0,78890
5400	0,46325	0,72990	0,80767	0,78213	0,60839
7200	0,34343	0,65927	0,76653	0,70145	0,48482
9000	0,25788	0,57368	0,67484	0,61527	0,38759
10800	0,18559	0,49492	0,54668	0,48846	0,31758
12600	0,13127	0,44590	0,44250	0,38917	0,26248
14400	0,10967	0,39213	0,35102	0,30655	0,21942
16200	0,07592	0,34443	0,28157	0,24421	0,18328
18000	0,04088	0,28894	0,22646	0,19365	0,15692
19800	0,02246	0,23725	0,18383	0,16438	0,13539
21600	0,01431	0,20328	0,15421	0,13565	0,11885
23400	0,01069	0,17262	0,12142	0,11321	0,10359
25200	0,00832	0,14718	0,10896	0,09621	0,09236
27000	0,00688	0,12166	0,09386	0,08224	0,08118
28800	0,00582	0,09734	0,08223	0,07104	0,06960
30600	0,00492	0,07058	0,06813	0,06233	0,06480
32400	0,00404	0,06091	0,06269	0,05439	0,05836
34200	0,00377	0,03872	0,05616	0,04797	0,05085
36000	0,00325	0,02013	0,04930	0,04229	0,04297
46800	0,00099	0,00552	0,02432	0,01914	0,01649

Anexo 9 – Ajuste linear dos dados referentes ao RH, para o cálculo dos coeficientes de difusão efetiva para o processo de osmo-secagem da maçã desidratada com sacarose e sorbitol e amostra *in* natura.



Anexo 10 - Dados referentes ao conteúdo de humidade das amostras pré-tratadas com ácido ascórbico, branqueamento e branqueamento com ácido ascórbico.

Tempo (h)	Branqueamento com ácido ascórbico	Ácido ascórbico	Branqueamento
0	84,64387	86,80569	73,69263
0,5	61,99402	63,70056	53,80567
1	43,66646	49,94968	40,82066
1,5	29,30312	39,04771	29,72035
2	18,27576	30,81897	21,50714
2,5	10,85770	24,32780	15,16984
3	6,28337	19,12161	10,63957
3,5	3,76773	14,96341	7,54706
4	2,70239	11,41915	5,42034
4,5	2,36540	8,69493	4,25744
5	2,22158	6,66070	3,66189
5,5	2,13912	5,28502	3,37586
6	2,07974	4,33043	3,19877
6,5	2,04761	3,77852	3,14192
7	2,01825	3,49193	3,00714
7,5	1,97408	3,31097	2,94243
8	1,95797	3,19873	2,90197
8,5	1,94314	3,12238	2,85364
9	1,92096	3,06258	2,82907
9,5	1,91509	3,02046	2,80243
10	1,90256	2,98743	2,78325
13	1,85779	2,84849	2,65657
16	1,82695	2,79442	2,60045

Anexo 11- Isotérmica de desorção da água para a maçã (Bourne, 1986).

