

Ana Rita Pinto Calado

Variação da Composição Nutricional e Propriedades de  
Cenouras Durante a Secagem

**Dissertação**

Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar



Julho, 2014

Ana Rita Pinto Calado

Variação da Composição Nutricional e Propriedades de  
Cenouras Durante a Secagem

**Dissertação**

Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar

Trabalho efectuado sob orientação de  
Prof. Doutora Raquel Guiné

Trabalho co-orientado por  
Prof. Doutor João Carlos Gonçalves  
Prof. Doutora Paula Correia

Julho, 2014



Dissertação apresentada à  
Escola Superior Agrária do Instituto  
Politécnico de Viseu  
para obtenção do grau de Mestre em  
Qualidade e Tecnologia Alimentar.

As doutrinas expressas neste trabalho são da  
exclusiva responsabilidade do autor.

## **Agradecimentos**

Antes de mais queria agradecer aos meus pais e ao meu namorado Vítor Portela por todo o apoio e dedicação que me deram.

Seguidamente gostaria de agradecer à Professora Doutora Raquel Guiné pela orientação, disponibilidade e por todo o apoio prestado nas várias fases da elaboração deste trabalho.

À Professora Doutora Paula Correia, pelo apoio prestado ao longo do trabalho.

Ao Professor Doutor Fernando Gonçalves pela disponibilidade e pela excelente ajuda, sempre que a mesma era solicitada.

Ao Engenheiro Rui Coutinho pelo interesse demonstrado em ajudar sempre que lhe era solicitado.

A todos meus amigos por todo o apoio que me deram, e especialmente à Susana Sério, pois foi a minha colega de laboratório, no qual nos ajudamos mutuamente, sendo todas as dificuldades ultrapassadas pelas duas.

Também queria agradecer à Sandra Costa pela paciência e ajuda crucial para a finalização deste trabalho.

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo a determinação das propriedades da cenoura (*Daucus carota L.*), da variedade Nantes, antes, durante e após a secagem por convecção a três temperaturas diferentes (50, 60 e 70 °C). De forma a verificar as alterações ao nível de diferentes propriedades, tais como: propriedades químicas (humidade, proteínas, fibras, cinzas, açúcares e  $a_w$ ) propriedades físicas (textura, cor, porosidade e densidade) e propriedades termofísicas (calor específico, condutividade térmica, difusividade e entalpia).

Dos resultados obtidos foi possível concluir que a temperatura de secagem de 70 °C foi a que mais afetou as propriedades químicas analisadas, tais como a humidade, proteínas e açúcares redutores, onde estes sofreram uma diminuição ao longo das secagens. A  $a_w$  também apresentou uma diminuição ao longo das secagens, onde apresentou um menor valor na secagem a 70 °C, tendo passado de 0,97 para 0,69, enquanto as temperaturas de 50 °C e 60 °C apresentaram um valor final igual, de 0,74.

No que diz respeito às propriedades físicas, verificou-se que em relação à textura registaram-se evoluções semelhantes em termos de dureza, mastigabilidade e gomosidade, na medida em que sofreram uma acentuada diminuição nas primeiras horas de secagem, e a temperatura de 70 °C foi a que mais afetou estas propriedades.

No caso da cor a temperatura de 60 °C foi a que provocou uma maior diferença de cor, a qual ao longo da secagem esta foi aumentando. A porosidade sofreu um aumento com as secagens devido à diminuição da humidade, no entanto a temperatura de 70 °C foi a que obteve uma menor porosidade, e as temperaturas de 50 °C e 60 °C apresentaram valores de porosidade semelhantes.

As propriedades termofísicas registaram uma diminuição ao longo da secagem, onde o calor específico sofreu uma maior diminuição com a temperatura de 70 °C, passando de 3,90 kJ/kg.K para 1,99 kJ/kg.K. A condutividade térmica também sofreu uma maior diminuição com a temperatura de 70 °C, diminuindo de 0,5243 W/m.K para 0,2782 W/m.K. A difusividade foi de igual forma afetada pela temperatura de 70 °C, tendo diminuído de  $1,50 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  para  $1,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . No caso da entalpia, esta sofreu uma maior diminuição com a temperatura de 50 °C, passando de 233 J/kg para 96,7 J/kg.

As isotérmicas de sorção foram ajustadas ao modelo de GAB, onde se verificou que apesar de algumas oscilações a quantidade de água sorvida a uma determinada  $a_w$ , aumentou com a diminuição da temperatura.

Os dados da cinética de secagem foram tratados e ajustados de acordo com três modelos: Page, Henderson & Pabis e Logarítmico, tendo-se verificado que o modelo de Page foi o que mostrou melhor descrever os processos em estudo, enquanto o pior modelo para descrever a cinética de secagem foi o Logarítmico.

**Palavras-chave:** cenoura, cinética, propriedades físico-químicas, propriedades termofísicas, secagem.

## Abstract

This study aimed to determine the properties of *Nantes* carrots (*Daucus carota* L.), before, during and after the process of drying by convection, at three different temperatures (50, 60 e 70 °C), in order to verify the variations of the different properties such as chemical properties (moisture, protein, fiber, ash, sugars and  $a_w$ ), physical properties (texture, color, density and porosity) and thermo-physical properties (specific heat, thermal conductivity, diffusivity and enthalpy).

From the gathered data it was possible to conclude that the drying temperature of 70 °C was the one that most affected the chemical properties analyzed, such as moisture, protein and reduced sugars. Over the drying process, the  $a_w$  showed a decreasing in value, presenting a lower value while drying at 70 °C, from 0,97 to 0,69, and at the temperatures of 50 °C and 60 °C showed a final value of 0,74.

Concerning the physical properties, it was found that regarding the texture, similar changes were recorded in terms of hardness, gumminess and chewiness, during the first hours of drying when there was a sharp decrease in these properties, being the temperature of 70 °C the one that most affected these properties.

Regarding the color, the drying temperature of 60 °C was the one that induced more change in color, increasing throughout de drying process. The porosity increased with the drying due to the decrease in humidity. However the temperature of 70 °C was the one that showed less porosity, while the temperatures of 50 °C and 60 °C presented similar values.

The thermo-physical properties experienced a decline during the drying process, where the specific heat has suffered a greater decrease with the temperature of 70 °C, from 3,90 kJ/kg.K to 1,99 kJ/kg.K. The thermal conductivity also experienced a greater decrease with the temperature of 70 °C, decreasing from 0,5243 W/m.K to 0,2782 W/m.K. The diffusivity was equally affected by the temperature of 70 °C, which decreased from  $1,50 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s to  $1,06 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s. In the case of the enthalpy, it showed a greater decrease with the temperature of 50 °C, going from 233 J/kg to 96,7 J/kg.

The sorption isotherms were fitted to the GAB model where it was found that, despite some variations, the amount of water sorbed at a given  $a_w$  increased with the decrease in temperature.

The data of drying kinetics were treated and adjusted according to three models: Page, Henderson & Pabis and logarithmic. It was possible to verify that the Page model was the one

that best described the process at study, and the worst model to describe the drying kinetics was the logarithmic.

**Keywords:** carrot, kinetic, physicochemical properties, thermo-physical properties, drying.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iv
Abreviaturas.....	xiv
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	2
1.2. Objetivos.....	4
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Cenoura ( <i>Daucus Carota L.</i> ) .....	6
2.1.1 Aspetos Gerais .....	6
2.1.2. Compostos Nutricionais.....	10
2.2. Secagem.....	13
2.2.1. Secagem Natural .....	13
2.2.2. Secagem Artificial – Desidratação .....	14
2.2.3. Curvas Típicas de Secagem .....	15
2.4. Fatores que Influenciam a Secagem .....	16
2.4.1. Condições do Processo .....	16
2.4.2. Propriedades dos Alimentos .....	18
2.5. Parâmetros de Qualidade nos Alimentos Desidratados .....	19
2.5.1. Físicos .....	19
2.5.2. Químicos.....	22
2.5.3. Aspetos Nutricionais.....	22
2.6. Atividade da Água .....	23
2.7. Isotérmicas de Sorção.....	25
2.7.1. Influência da Temperatura nas Isotérmicas de Sorção .....	27
2.8. Modelização Matemática.....	28
2.9. Propriedades Termofísicas .....	29
2.9.1. Calor Específico.....	29
2.9.2. Condutividade Térmica .....	30
2.9.3. Difusividade Térmica .....	30
3. Material e Métodos .....	31
3.1. Matéria-prima .....	32

3.2. Processo de Secagem.....	33
3.2.1. Secagem em Estufa.....	33
3.3. Análises Físicas e Químicas .....	33
3.3.1. Humidade.....	34
3.3.2. Proteínas .....	35
3.3.3. Fibra Bruta .....	35
3.3.4. Cinzas .....	36
3.3.5. Açúcares .....	37
3.3.6. Atividade da Água .....	40
3.3.7. Densidade Aparente.....	40
3.3.8. Porosidade.....	41
3.3.9. Textura.....	42
3.3.10. Cor .....	43
3.4. Isotérmicas de dessorção .....	45
3.5. Cinética de Secagem.....	46
3.6. Propriedades Termofísicas .....	46
3.7. Análise Estatística .....	48
4. Resultados e Discussão.....	49
4.1. Análise das Propriedades Químicas e Físicas.....	50
4.1.1. Humidade.....	50
4.1.2. Proteínas .....	52
4.1.3. Cinzas .....	54
4.1.4. Fibras .....	56
4.1.5. Açúcares .....	58
4.1.6. Atividade da Água .....	62
4.1.7. Cor .....	64
4.1.8. Textura.....	71
4.1.9. Densidade Aparente.....	78
4.1.10. Porosidade.....	80
4.2. Análise das Propriedades Termofísicas.....	87
4.2.1. Coeficiente de transferência de calor e Coeficiente de transferência de massa..	87
4.3. Isotérmicas de dessorção .....	92
4.4. Cinética de Secagem.....	95

4.4.1. Curvas de secagem .....	95
4.4.2. Ajuste aos modelos cinéticos .....	96
5. Conclusões.....	100
6. Bibliografia.....	102

## Índice de Figuras

Figura 1. Aspeto exterior e interior da Cenoura ( <i>Daucus carota</i> L.).	6
Figura 2. Morfologia da cenoura.	7
Figura 3. Variedades da cenoura.	8
Figura 4. Rodelas de cenoura desidratadas.	9
Figura 5. Curva de secagem.	15
Figura 6. Aspeto da cenoura depois de seca.	22
Figura 7. Taxas de deterioração nos alimentos em função da $a_w$ .	25
Figura 8. Curva típica das isotermas de sorção.	27
Figura 9. Cenoura com uma boa integridade física.	32
Figura 10. Cenoura cortada às rodelas.	32
Figura 11. Cenouras dentro da estufa.	33
Figura 12. Balança de Halogéneo.	34
Figura 13. Tabela de conversão.	39
Figura 14. Perfil de TPA.	42
Figura 15. Espaço de cor CIElab.	44
Figura 16. Colorímetro Konica Minolta.	45
Figura 17. Evolução da humidade ao longo do tempo de secagem a três diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	50
Figura 18. Evolução do teor de proteínas ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	52
Figura 19. Evolução do teor de cinzas ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	54
Figura 20. Evolução do teor de fibras ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	56
Figura 21. Evolução do teor de açúcares totais ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	58
Figura 22. Evolução do teor de açúcares redutores ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	58
Figura 23. Evolução do teor de açúcares não redutores ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	59
Figura 24. Evolução da atividade da água ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).	62

Figura 25. Evolução do parâmetro L ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	64
Figura 26. Evolução do parâmetro b* ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	65
Figura 27. Evolução do parâmetro a* ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	65
Figura 28. Evolução da diferença de cor ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	68
Figura 29. Evolução do chroma ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	68
Figura 30. Evolução da h° ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C)...	69
Figura 31. Evolução da dureza ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	71
Figura 32. Evolução da resiliência ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	72
Figura 33. Evolução da coesividade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	73
Figura 34. Evolução da elasticidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	73
Figura 35. Evolução da gomosidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	74
Figura 36. Evolução da mastigabilidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	75
Figura 37. Evolução da densidade aparente ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).....	78
Figura 38. Variação do volume específico com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 50 °C. ....	81
Figura 39. Variação do volume específico com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 60 °C. ....	81
Figura 40. Variação do volume específico com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 70 °C. ....	82
Figura 41. Variação das massas específicas ( $\rho_b$ e $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 50 °C. ....	83

Figura 42. Variação das massas específicas ( $\rho_b$ e $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 60 °C. ....	84
Figura 43. Variação das massas específicas ( $\rho_b$ e $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 70 °C. ....	84
Figura 44. Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 50 °C. ....	85
Figura 45. Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 60 °C. ....	85
Figura 46. Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 70 °C. ....	86
Figura 47. Evolução do calor específico ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	89
Figura 48. Evolução da condutividade térmica ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	90
Figura 49. Evolução da difusividade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	90
Figura 50. Evolução da entalpia ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	91
Figura 51. Ajuste ao modelo de GAB. ....	94
Figura 52. Variação da humidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	95
Figura 53. Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Page. ....	98
Figura 54. Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Henderson & Pabis. ....	98
Figura 55. Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Logarítmico. ....	99

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Conteúdo de vitaminas e minerais da cenoura em fresco (mg/100 gramas). .....	10
Tabela 2. Concentração média de $\alpha$ e $\beta$ -carotenos em diferentes vegetais .....	11
Tabela 3. Composição nutricional da cenoura em fresco (por 100g de parte edível). .....	12
Tabela 4. Fatores que contribuem para a alteração da cor durante a secagem. ....	20
Tabela 5. Alterações nutricionais que podem ocorrer durante a secagem.....	23
Tabela 6. Atividade da água mínima para o crescimento microbiano e germinação de esporos. .....	24
Tabela 7. Modelos empíricos para representar a cinética de secagem. ....	29
Tabela 8. Valores do teor de humidade, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	51
Tabela 9. Teor de proteínas, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	52
Tabela 10. Teor de cinzas, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	54
Tabela 11. Teor de fibras, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	56
Tabela 12. Teor de açúcares totais, redutores e não redutores, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	60
Tabela 13. Atividade da água, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C. ....	62
Tabela 14. Parâmetros (L, a* e b*) da cor para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C). ....	66
Tabela 15. Diferença de cor, chroma e h° para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50,60 e 70 °C). ....	69
Tabela 16. Parâmetros da textura para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	75
Tabela 17. Densidade aparente na amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) .....	78
Tabela 18. Valor da massa específica da cenoura. ....	80
Tabela 19. Parametros do modelo de Zogzas <i>et al</i> (1994b) para o caso da cenoura. ....	83
Tabela 20. Propriedades térmicas do ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. ....	87
Tabela 21. Reynolds, número de Nussel, hc e hm para o ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. .....	88
Tabela 22. Propriedades termofísicas para amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C). ....	88

Tabela 23. Resultados do ajuste ao modelo de GAB para as diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C).....	92
Tabela 24. Resultados do ajuste aos modelos de Page, Henderson & Pabis e Logarítmico. ...	96

## Abreviaturas

$a_w$	Atividade de água
$\beta$	Coefficiente de encolhimento volumétrico
$c_p$	Calor específico (kJ/kg.K)
$c_{p\text{ ar}}$	Calor específico do ar (J/kg.K)
$D_m$	Difusividade mássica da água no ar ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$d_{\text{sec}}$	Comprimento do secador (m)
$\varepsilon$	Porosidade
$H_l$	Entalpia da água pura (kJ/kg)
$H_m$	Entalpia na monocamada (kJ/kg)
$H_e$	Entalpia nas multicamadas (kJ/kg)
$\Delta H_C$	Varição da entalpia para a monocada
$\Delta H_K$	Varição da entalpia para as multicamadas
$h_c$	Coefficiente de transferência de calor ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )
$h_m$	Coefficiente de transferência de massa ( $\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$ )
$k_{\text{ar}}$	Condutividade térmica do ar ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )
$R$	Constante dos gases perfeitos ( $R=8,314\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ )
$T$	Temperatura (K)
$v$	Volume específico ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
$v_{\text{ar}}$	Velocidade do ar (m/s)
$W$	Teor de humidade em base seca
$W_m$	Humidade na monocamada
$\alpha_{\text{ar}}$	Difusividade térmica do ar ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$\rho_{\text{ar}}$	Densidade do ar ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_b$	Massa específica bulk ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_{b0}$	Massa específica bulk a humidade zero ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_p$	Massa específica das partículas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_s$	Massa específica dos sólidos ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_w$	Massa específica da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

## 1. Introdução



### 1.1. Enquadramento

Os alimentos têm um papel fundamental na vida do ser humano, pois é a partir destes que obtemos os principais componentes nutricionais, tais como: proteínas, lípidos, hidratos de carbono, fibras, minerais, entre outros. Sendo estes necessários para o bom funcionamento do organismos, visando uma alimentação saudável. Quando se fala em alimentação saudável, recomenda-se a ingestão de alimentos ricos em fibras, pobre em gordura e, preferencialmente, rica em frutas e vegetais (Santos *et al.*, 2002).

Tendo em conta que os consumidores estão cada vez mais exigentes com a qualidade e inovação tecnológica, a indústria alimentar tem se aperfeiçoado para atender a estas novas exigências, oferecendo novas categorias de produtos com elevada qualidade e sofisticação (Bezerra, 2007).

Os vegetais têm vindo a estruturar-se em diversos segmentos do mercado, apresentando novas tendências de consumo e expansão de novos mercados. Podemos, atualmente, encontrar vegetais para além do estado *in natura*, minimamente processados, congelados, conservas, enlatados, liofilizados e desidratados (Vilela & Henz, 2000).

A conservação dos vegetais tem como principal objetivo, o desenvolvimento de produtos com uma maior vida de prateleira, e cujas propriedades nutritivas e sensoriais se aproximem ao máximo aos dos vegetais *in natura* (Caliari *et al.*, 2004).

A desidratação é um dos processos mais utilizados na conservação de alimentos, sem que eles percam as suas propriedades biológicas e nutritivas. A redução do teor de humidade do produto, e conseqüentemente, da sua atividade de água ( $a_w$ ), tem como objetivo evitar o desenvolvimento de microrganismos e de reações químicas indesejáveis que podem deteriorar o produto tornando-o impróprio para consumo (Madamba *et al.*, 2007).

O interesse na obtenção de alimentos desidratados de qualidade é incentivado pelo aumento do consumo deste tipo de produto. Por exemplo, o mercado de sopas desidratadas cresceu 80 % entre os anos de 2005 e 2007, contudo o consumo de sopas desidratadas é pequeno quando comparado ao de macarrões instantâneos. Assim sendo, a preocupação com a qualidade e conservação de energia incentiva, a compreensão do funcionamento e resolução de problemas relacionados com a concepção e operação da desidratação de vegetais (Krokida & Marinus-Kouris, 2003).

A cenoura é considerada um alimento funcional, uma vez que, para além de pertencer à lista de vegetais ricos em nutrientes, o seu consumo beneficia uma ou mais funções do organismo e, desta forma, contribui para o estado de saúde e bem-estar, podendo diminuir os

riscos de doenças, quando consumidas em quantidades e intensidade regulares (Moretti & Mattos, 2007).

Esta é um vegetal que tem um especial interesse, pois contém apreciáveis quantidades de vitaminas do complexo B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> e B<sub>12</sub>), contém também importantes minerais, além disso apresenta um elevado valor de  $\beta$ -caroteno (Górnicki & Kaleta, 2007).

A importância nutricional da cenoura reside no fato de ser uma das hortaliças rica em caroteno, que é o precursor da vitamina A onde, cada molécula de  $\beta$ -caroteno é convertida em duas moléculas desta vitamina. A alta concentração de caroteno também é responsável pela cor alaranjada da cenoura (Araújo, 2010).

O  $\beta$ -caroteno, representa 45-70 % dos carotenóides totais da cenoura, é responsável por uma grande variedade de efeitos benéficos para a saúde humana. Diversos estudos científicos demonstram que a probabilidade de ataques cardíacos se reduz pela ingestão deste nutriente. Este é um antioxidante lipossolúvel que neutraliza os radicais livres, combinando-se diretamente com eles, o que aumenta a eficácia do sistema imune (Fariña *et al.*, 2007).

A fim de melhorar o comportamento de secagem das cenouras, é importante utilizar modelos matemáticos que permitem a simulação do processo de desidratação sob diferentes condições. Diferentes modelos empíricos são usados para descrever a cinética de secagem de materiais incluindo frutas e legumes. Entre os modelos empíricos de secagem de camada fina temos o Henderson & Pabis, Lewis e Page que são os mais utilizados para caracterizar a cinética de secagem de diferentes produtos alimentícios (Kaptso *et al.*, 2008).

## 1.2. Objetivos

Dada a atual importância dos produtos desidratados, este trabalho teve como principal objetivo a caracterização da cenoura ao longo de secagem sob diferentes temperaturas. Para tal, fez-se a determinação das propriedades físico-químicas e termofísicas da cenoura, no estado fresco e em cada hora da secagem, até ao final das secagens a três temperaturas diferentes (50, 60 e 70 °C).

Para as propriedades físico-químicas determinou-se a humidade, fibras, açúcares, cinzas, proteínas,  $a_w$ , textura, cor, densidade aparente e a porosidade.

No caso das propriedades termofísicas determinou-se o calor específico, condutividade térmica, difusividade e a entalpia.

Posteriormente, determinaram-se as isotérmicas de sorção, através do ajuste ao modelo de GAB e determinou-se também a cinética de secagem com o ajuste a três modelos: Page, Henderson & Pabis e Logarítmico.

## 2. Revisão Bibliográfica



## 2.1. Cenoura (*Daucus Carota L.*)

### 2.1.1 Aspetos Gerais

A cenoura (*Daucus carota L.*), é uma planta da família das Apiáceas, que produz uma raiz aromática e comestível, sendo um vegetal de grande importância devido ao seu grande consumo em todo mundo, pela extensão de área plantada e pelo grande envolvimento socioeconómico dos produtores rurais (Alves *et al.*, 2010).

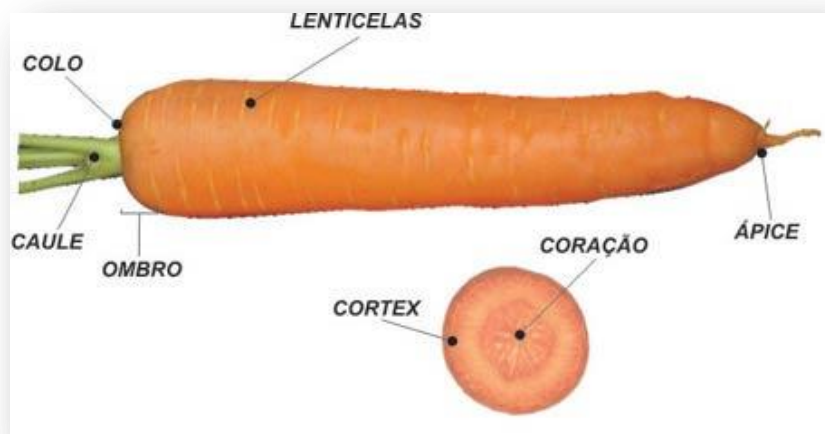
É um vegetal originário da Europa e da Ásia e passou a fazer parte da cultura alimentar a partir do século XII. É uma das hortaliças mais consumidas, cuja parte comestível é a raiz, sendo esta bastante conhecida pelo seu elevado rendimento, cor atrativa, alaranjada e valor nutritivo (Branco, 2001).

A cor alaranjada da cenoura (Figura 1) deriva dos carotenóides que esta contém, os quais têm também atividade pró-vitamina A, ou seja, quando ingeridos são transformados em vitamina A, tornando-se assim a cenoura em uma das principais fontes desta vitamina para a população (Spagnol *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Aspeto exterior e interior da Cenoura (*Daucus carota L.*).

A cenoura é morfologicamente dividida em caule, colo, ombro, lenticelas e ápice, a parte interior inclui o córtex e coração, como mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Morfologia da cenoura.

Cada parte apresenta uma característica específica (Araújo, 2010):

**Córtex** - Auxilia a condução da água e minerais dissolvidos através da raiz, desde a epiderme até ao xilema.

**Coração**- Parte central da cenoura, região mais fibrosa da raiz.

**Caule** -Parte aérea da cenoura, através do qual circulam as seivas.

**Colo** - Região de transição entre a raiz e o caule.

**Ombro** - Local de maior reserva de nutrientes.

**Lenticelas** - Responsável pela fixação da raiz no solo, como também absorvem a água e minerais do solo.

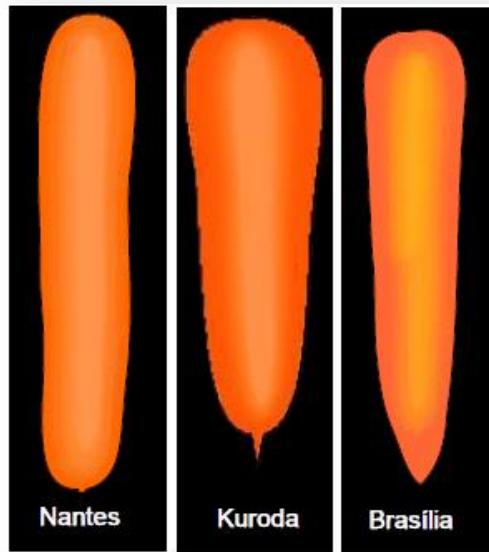
**Ápice** - Ajuda a raiz a penetrar no solo

Existem diferentes variedades de cenouras, destacando-se a Nantes, a Kuroda e a Brasília, como mostra a Figura 3.

**Nantes** cilíndrica, ponta arredondada, coração pouco evidente, pele lisa coloração laranja escura e pescoço pequeno.

**Kuroda** formato cónico, ponta arredondada, coração pouco evidente, coloração laranja avermelhada, pescoço pequeno.

**Brasília** formato cónico, ponta pouco fechada, coração evidente, pele pouco lisa, coloração laranja clara, pescoço grande.



**Figura 3.** Variedades da cenoura.

Para além de possuir um sabor muito apreciado por pessoas de todas as idades, devido aos seus componentes voláteis, açúcares e aminoácidos livres, a cenoura proporciona também vários benefícios para a saúde do consumidor, uma vez que, contem carotenóides, fibras, vitaminas, minerais e outros componentes biactivos (Teixeira, 2008).

Por possuir todos estes compostos, a cenoura é matéria-prima tanto na indústria farmacêutica quanto na indústria alimentícia, podendo ser também utilizada, em suplementos vitamínicos para a população infantil e idosa, uma vez que é uma excelente fonte de vitaminas e de minerais (Araújo & Menezes, 2005).

A cenoura é uma das hortaliças mais populares, devido à sua versatilidade de uso e formas de apresentação ao consumidor, podendo ser ralada em diversos tamanhos ou cortada na forma de fatias, cubos, palitos, e ainda apresentada na forma de mini-cenoura "baby-carrot". Em função do processamento tornam-se suscetíveis a várias mudanças fisiológicas e microbiológicas que depreciam a sua qualidade sensorial e limitam sua vida-de-prateleira (Resende *et al.*, 2004).

A cenoura também apresenta uma textura macia e um paladar agradável. Podendo ser consumida *in natura*, ou ainda utilizada como matéria-prima para indústrias processadoras de alimentos, que a comercializam na forma minimamente processada (mini-cenouras, cubos, ralada, em rodelas) ou na forma de salada de legumes, como alimentos infantis e sopas instantâneas (Lima *et al.*, 2004; Spagnol *et al.*, 2006).

Entretanto, para serem utilizadas industrialmente, geralmente as cenouras devem ser previamente tratadas, sendo a secagem um dos processos mais utilizados (Hiranvarachat *et al.*, 2008). Alguns trabalhos encontrados na literatura, a respeito da secagem de cenoura, relacionam as características da cinética de secagem, propriedades estruturais e características de reidratação do material a diversos métodos de secagem, como por exemplo a secagem ao sol e a liofilização (Rosa, 2010).

Cui *et al.* (2004) estudaram a cinética de secagem de cenouras em microondas a vácuo e Prakash *et al.* (2004), além da cinética de secagem, compararam a retenção de  $\beta$ -caroteno e reidratação para cenoura seca em leito fluidizado, microondas e ao sol. Wang e Xi (2005) investigaram o efeito da espessura da amostra e potência utilizada no secador na cinética de secagem e de reidratação de cenouras. Sanga *et al.* (2002) utilizou a secagem por convecção de microondas. Hatamipour & Mowla (2003) investigaram a secagem de cenouras em leito fluidizado. Doymas (2004) estudou os efeitos da temperatura do ar, taxa de fluxo do ar e a espessura da amostra na cinética de secagem de cubos de cenoura. Ruiz-Lopez *et al.* (2004) estudou as características de secagem da cenoura em fatias.

As cenouras desidratadas (Figura 4) são utilizadas como ingredientes em sopas e refeições instantâneas.



**Figura 4.** Rodelas de cenoura desidratadas.

### 2.1.2. Compostos Nutricionais

Os principais compostos nutricionais da cenoura são compostos fenólicos, carotenóides, como o  $\beta$ -caroteno, matéria seca solúvel, açúcares, entre outros (Rakcejeva *et al.*, 2012).

Os carotenóides são os principais pigmentos responsáveis pela cor da cenoura, são de grande importância para os cientistas devido à sua atividade antioxidante, por serem precursores da vitamina A. O  $\beta$ -caroteno constitui a maior parte (60-80 %) dos carotenóides nas cenouras, seguido do  $\alpha$ -caroteno (10-40 %), luteína (1-5 %) e outros menores carotenóides (0,1-1 %) (Sun & Temelli, 2006).

A composição média da cenoura, em g/100g é: humidade: 88,20 a 95,55; proteínas: 0,44 a 1,33; lípidos: 0,19 a 0,50; cinzas: 0,30 a 0,99; hidratos de carbono: 3,51 a 9,70, sendo que 1,00 a 3,32 representam fibra alimentar. Relativamente a alguns minerais, a cenoura apresenta em mg/100g, uma composição média de 0,60 a 0,70 em ferro; 26,00 a 36,00 de fósforo e 26,00 a 37,00 de cálcio (Verzeletti *et al.*, 2010). O teor de vitaminas e minerais da cenoura encontra-se expresso na Tabela 1.

**Tabela 1.** Conteúdo de vitaminas e minerais da cenoura em fresco (mg/100 gramas).

Vitaminas	Valores (mg)	Minerais	Valores (mg)
<b>Caroteno</b>	8,12	Fe	0,3
<b>B6</b>	0,14	K	170
<b>E</b>	0,56	Ca	25
<b>C</b>	6	Mg	3
<b>Riboflavina</b>	0,01	P	15

Fonte Pinedo (2003)

\* os valores oscilam entre 4,3 e 1,1mg

Na Tabela 2 encontram-se os teores médios do  $\alpha$  e  $\beta$ -carotenos em diferentes vegetais.

**Tabela 2.** Concentração média de  $\alpha$  e  $\beta$ -carotenos em diferentes vegetais

<b>Vegetais</b>	<b><math>\beta</math>-caroteno (<math>\mu\text{g}/100\text{g}</math>)</b>	<b><math>\alpha</math>-caroteno (<math>\mu\text{g}/100\text{g}</math>)</b>
<b>Brócolos</b>	4	-
<b>Cenoura</b>	7.900	3.700
<b>Aspargo</b>	449	9
<b>Alface</b>	1.900	1
<b>Tomate</b>	520	-
<b>Abóbora</b>	3.100	3.800

Fonte: Mahan & Escott-Stump (1996).

Existem alguns estudos que relacionam os carotenóides presentes na cenoura com a diminuição dos efeitos nocivos que os radicais livres causam no organismo, ou seja, que o seu consumo pode ajudar na prevenção do cancro (Serafini, 2001).

Devido às propriedades antioxidantes dos carotenóides, estes têm a capacidade de reduzir o risco de doenças cardiovasculares, uma vez que são capazes de interromper as reações de radicais livres que podem oxidar os lípidos insaturados (Pimentel *et al.*, 2005).

Na Tabela 3, apresenta-se a composição nutricional da cenoura no estado fresco.

**Tabela 3.** Composição nutricional da cenoura em fresco (por 100g de parte edível).

<b>Componentes</b>	<b>Cenoura</b>
Água (g)	92
Energia (kcal)	19
Proteína (g)	0,6
Gordura total (g)	0
Hidratos de carbono (g)	4,4
Fibra alimentar (g)	2,6
Cinza (g)	0,6
Sódio (mg)	58
Potássio (mg)	312
Cálcio (mg)	41
Fósforo (mg)	33
Magnésio (mg)	7,0
Ferro (mg)	0,7
Zinco (mg)	0,1
Vitamina A total em equivalentes de retinol (µg)	933
Caroteno (mg)	5600
Vitamina D (µg)	0
α-Tocoferol (mg)	0,5
Tiamina/ Vitamina B1 (mg)	0,05
Riboflavina/ Vitamina B2 (mg)	0,02
Niacina/ Vitamina B3 (mg)	0,9
Vitamina B6 (mg)	0,07
Vitamina B12 (µg)	0
Vitamina C (mg)	3
Folatos (µg)	28

Fonte: Martins *et al.* (2006).

## 2.2. Secagem

A secagem é um método muito antigo de conservação de alimentos, que se baseia na remoção da água do alimento na forma de vapor de água para o ar não saturado. Este método vem sendo estudado e melhorado de forma a obter produtos de maior qualidade e menor tempo de processamento (Akipinar *et al.*, 2006).

A remoção da água provoca a diminuição da  $a_w$  do alimento, inibindo, assim, o desenvolvimento de microrganismos e retardando algumas deteriorações de origem físico-química. Tendo em conta que a maioria das frutas e vegetais é constituída por mais de 80 a 90% de água, o processo de secagem implica uma grande redução dos custos de transporte e manipulação do produto, para além de ser um método que permite prolongar consideravelmente o tempo de vida útil (Fellows, 2006).

O processo de secagem apresenta inúmeras vantagens, das quais podemos destacar: a facilidade de conservação do produto; a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra a degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não precisar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante todo o ano (Park, 2001). Porém, a secagem de alimentos não tem apenas vantagens. Durante o processo de secagem podem ocorrer várias alterações, tais como: alterações na cor, textura e valor nutricional dos alimentos (Hiranvarachat *et al.*, 2008), afectando assim as propriedades do produto final e/ou a qualidade, principalmente, quando comparados com os produtos frescos (Sacilik, 2007).

A secagem de alimentos de origem vegetal pode ser feita de duas maneiras: a secagem natural e secagem artificial, sendo que ambas se baseiam na remoção da água, diferindo essencialmente na fonte energética (Evangelista, 2003).

### 2.2.1. Secagem Natural

A secagem natural consiste na exposição do produto ao sol e ao vento para que ocorra a sua secagem (Bezerra, 2007). Neste caso, a secagem está sujeita às condições climatéricas, ou seja, a um período de insolação adequada e constante. O clima deve ser seco, com o grau higrométrico baixo, escassa precipitação pluviométrica, maior período de irradiação solar, boa evaporação, regimes de ventos favoráveis, circulação de ar e temperatura mais ou menos alta. Durante a noite, e caso ocorram chuvas ou orvalho, convém abrigar o material para evitar perdas. Por fim, para que não haja o desenvolvimento de microrganismos é necessário que as temperaturas sejam relativamente altas e o ar seco (Cereda, 2003; Gava, 2002; Silva, 2000).

O local para a secagem dos alimentos deve ser um local limpo e cercado, com a finalidade de evitar a presença de animais como pássaros, roedores e insetos e também deve situar-se longe das vias públicas para evitar contaminações (Machado, 2006; Silva 2000).

A secagem pode ser realizada ao sol e à sombra. Pode ser aplicada em diversos alimentos, tanto de origem animal, como de origem vegetal, sendo mais utilizada nas frutas, leguminosas, cereais, condimentos e especiarias (Silva, 2000). A secagem à sombra é utilizada para evitar que o alimento fique ressecado, de forma a não perder o sabor e aroma naturais, bem como a sua cor, que fica escura se exposto diretamente à luz solar (Machado, 2006).

### **2.2.2. Secagem Artificial – Desidratação**

Na secagem artificial o calor é produzido artificialmente, sob condições de temperatura, humidade e corrente de ar controladas (Gava, 2002; Silva, 2000). Nos últimos anos, a procura de métodos de secagem que permitam, obter produtos que se conservem, com poucas alterações das suas características sensoriais e nutritivas, e baixos custos de produção tem vindo a ser objeto de muitas pesquisas (Mota, 2005).

De acordo com Lopes *et al.* (2000), o ar quente é a fonte de calor mais utilizada, devido a ser facilmente disponível e mais conveniente na instalação e operação dos secadores, e o seu controlo no aquecimento do alimento não apresenta geralmente problemas. O princípio básico de secagem, quando se utiliza o ar como meio de secagem, está no potencial de secagem do ar ambiente aquecido, que é forçado a contactar com a massa do produto e serve a duas finalidades:

- Transportar o calor para o produto: a pressão do vapor de água aumenta pelo aquecimento do alimento, facilitando, assim, a saída da humidade. Parte do calor do ar de secagem aumenta a temperatura do alimento (calor sensível), e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida no alimento (calor latente).
- Absorver a humidade do alimento: com o aumento da temperatura do ar ambiente, a sua humidade relativa diminui e, conseqüentemente, a sua capacidade de absorver a humidade aumenta.

A velocidade de evaporação da água irá depender de vários fatores, tais como a temperatura, a humidade, a velocidade do ar, tipo e variedade do alimento, o seu conteúdo em água livre, tipo de secador, área superficial e a porosidade das porções a secar (Gava, 2002; Silva, 2000).

### 2.2.3. Curvas Típicas de Secagem

Apesar das diferenças entre o conteúdo inicial e final da humidade do produto, da relação da água com a estrutura sólida, do tipo de material biológico e do transporte da água do interior do material até a sua superfície, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é um fenómeno comum a qualquer processo de secagem (Brod *et al.*, 1999).

O processo de secagem, fundamentado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 5. A curva (a) representa a diminuição do teor em água do produto durante a secagem. A curva (b) representa a variação da velocidade (taxa) de secagem do produto. A curva (c) apresenta a variação da temperatura do produto durante a secagem.

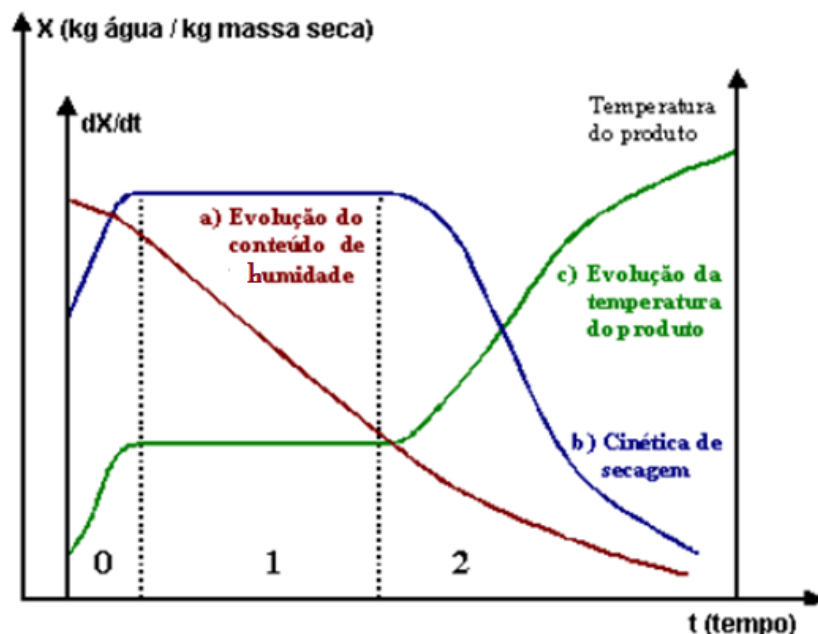


Figura 5. Curva de secagem (Adaptado de Brod *et al.*, 1999).

Segundo a Figura 5, a evolução das transferências simultâneas de calor e de massa (água), no decorrer do processo de secagem, faz com que este seja dividido em três períodos: No primeiro período o ar quente provoca uma elevação gradual da temperatura do produto e, por consequência aumenta a pressão de vapor de água e a velocidade de secagem. Este fenómeno continua até que esta transferência de calor seja equivalente à transferência de massa. Segue-se o segundo período caracterizado por uma velocidade de secagem constante em que a água da superfície do produto é evaporada. Este período continua enquanto a

migração de água do interior até à superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação na superfície. Por fim, no terceiro período, a taxa de secagem decresce, uma vez que a quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se a transferência de massa do interior. Neste último período, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, o produto aquece, pois nesta fase a migração da água do interior do produto para a superfície é menor. Quando o produto atinge o ponto de humidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem o processo termina (Park *et al.*, 2001). O fim do processo de secagem é determinado por um baixo teor em água e por uma elevada concentração em açúcares redutores, tendo em atenção que a quantidade final de água deverá ser tão baixa quanto possível, de modo a inibir o desenvolvimento microbiano, mas não excessivamente baixa sob pena de alterar demasiado as características organoléticas do fruto (Guiné & Castro, 2002).

## **2.4. Fatores que Influenciam a Secagem**

Durante a secagem existem muitos fatores que podem influenciar o processo, e que estão relacionados com o tipo de secador, as condições de funcionamento durante a secagem, e a natureza dos produtos alimentares.

### **2.4.1. Condições do Processo**

As condições do processo durante a secagem, composição do produto e a sua orientação podem influenciar a taxa de secagem. Desta forma, é importante conseguir-se estimar o quão rápido um produto alimentar irá secar dentro do secador.

#### **Temperatura**

Quanto maior for a temperatura do ar, menor vai ser a sua humidade relativa e maior será a quantidade de energia que o mesmo pode fornecer, melhorando assim o processo de secagem (Doymaz, 2007). Por outro lado, temperaturas mais elevadas significam processos de difusão interna mais rápidos, ou seja, as moléculas de água migram mais rapidamente a altas temperaturas, e a secagem interna também é reforçada. Assim sendo, com o aumento da temperatura do ar acelera-se a secagem, afetando tanto os processos internos como os externos. No entanto, as altas temperaturas podem causar reações químicas e físicas indesejadas no produto alimentar. De forma a manter a qualidade do produto alimentar,

convém encontrar-se, para cada produto, um limite prático para a temperatura de secagem. (Helman & Hartel, 1997).

### **Velocidade do ar**

A velocidade a que o ar de secagem que chega à superfície do produto afeta a taxa de migração da água da superfície para o ar de secagem. A evaporação na superfície é aumentada por maiores velocidades de transferência convectiva de massa como resultado do aumento da velocidade do ar. Assim, o aumento da velocidade do ar diminui o período de velocidade constante. No entanto, o período de secagem em taxa decrescente não é, geralmente, limitado por condições externas, isto é, o aumento da velocidade do ar tem, normalmente, pouco efeito sobre o período de queda (Helman & Hartel, 1997).

### **Humidade Relativa**

A quantidade de humidade no ar afeta a força motriz para a transferência de massa externa. Para um dado produto alimentar, o aumento da humidade relativa do ar diminui a força motriz e assim, reduz a taxa de secagem no período de velocidade constante. Por outro lado, reduzindo a humidade relativa do ar de secagem aumenta o período de velocidade constante. No entanto, a humidade relativa tem, em geral, pouca influência sobre o período de secagem em taxa decrescente, onde a transferência de massa interna limita a taxa de secagem. É de salientar que a humidade relativa do ar também determina a humidade de equilíbrio final, como previsto pela desorção para a secagem. Uma vez alcançado o equilíbrio entre o ar e o produto alimentar, a secagem cessa (Helman & Hartel, 1997).

### **Pressão**

A pressão influencia a relação de equilíbrio da água, podendo assim influenciar a secagem. Quando ocorre a secagem sob vácuo, a pressão de vapor do ar é reduzida, e a secagem ocorre mais rapidamente durante o período de taxa constante. No entanto, quando a secagem é limitada pela transferência de massa interna, a operação de vácuo tem pouco efeito sobre a taxa de secagem (Helman & Hartel, 1997).

## **2.4.2. Propriedades dos Alimentos**

### **Área de superfície**

A distância que as moléculas de água devem percorrer dentro de um produto alimentar determina a rapidez com que os alimentos podem secar. Quando o alimento é cortado em pedaços mais pequenos, aumentando assim a sua área de superfície e a distância que as moléculas de água têm de percorrer para chegar à superfície também é menor, pelo que a secagem é acelerada (Helman & Hartel, 1997).

### **Orientação do constituinte**

A orientação da microestrutura dos alimentos afecta a taxa de transporte da humidade dentro do alimento. A migração da água dentro de um produto alimentar pode ser significativamente diferente, e em direcções diferentes, dependendo da orientação dos componentes dos alimentos (Helman & Hartel, 1997).

### **Estrutura celular**

Nos alimentos, a água que existe entre as estruturas celulares é mais fácil de remover do que a água contida dentro das células, uma vez que existe uma resistência à migração da água através da fronteira da célula. Quando estas células são rompidas, a secagem é facilitada. No entanto, os danos devido à rutura celular podem resultar num produto seco inaceitável (Helman & Hartel, 1997).

### **Tipo e concentração de solutos**

Os componentes que constituem um produto alimentar determinam a mobilidade das moléculas de água durante a secagem, particularmente para um teor de humidade mais reduzido. Os solutos nos alimentos, como açúcares, amidos, sais e proteínas interagem com as moléculas de água e podem inibir a sua mobilidade, especialmente em concentrações mais elevadas (menor teor de humidade). Os solutos também podem influenciar a atividade da água e a viscosidade do produto alimentar. O aumento da viscosidade diminui a atividade da água (Helman & Hartel, 1997).

## 2.5. Parâmetros de Qualidade nos Alimentos Desidratados

A secagem é uma de várias etapas do processamento de um produto alimentar. Alterações de qualidade e deterioração podem ocorrer durante a secagem (Hii & Law, 2010).

Os produtos alimentares devem ser secos abaixo do nível susceptível ao crescimento de microrganismos, normalmente a um nível inferior a 0,6 de  $a_w$ . Além disso, a qualidade do produto é relacionada com parâmetros físico-químicos, que em muitos casos, são decididos pelos consumidores que eventualmente compram e consomem. Os critérios de escolha, podem ser devido ao sabor, cor, textura, tamanho, forma e a funcionalidade associada ao produto. Para além de que, os produtos alimentares devem também estar em conformidade com os aspetos microbiológicos e nutricionais associados ao controlo da qualidade (Hii & Law, 2010).

A qualidade dos alimentos desidratados é definida por parâmetros físico-químicos, características nutricionais e atributos sensoriais como a cor, textura, sabor e aroma. A diminuição da qualidade do produto e a diminuição do tempo de vida de prateleira podem ser consequências do efeito de uma ou mais dessas propriedades (Pfeiffer *et al.*, 1999).

De acordo com Meilgaard *et al.* (1991) a tendência do homem em apreciar os atributos de um alimento baseia-se na seguinte ordem: aparência, odor, fragrância, consistência, textura e sabor. Estes determinam a intensidade e as características sensoriais das amostras, e são muito usados nas novas formulações, no controlo da qualidade, e no teste de armazenamento de maneira a contribuir para a qualidade do produto (Ferreira, 2002).

A qualidade dos produtos desidratados depende em parte, das alterações que ocorrem durante o processamento e armazenamento. Estas alterações devem-se a modificações na estrutura física e a reações químicas (Nihjhuis *et al.*, 1996). Durante o processo de secagem convectiva, o alimento sofre perdas de qualidade tais como: a cor, sabor e textura (Strumillo & Adaniec, 1996).

### 2.5.1. Físicos

#### Cor

A cor é uma propriedade de maior importância na decisão da qualidade de um alimento, uma vez que a apreciação visual é o primeiro dos sentidos a ser usado, sendo assim uma característica decisiva na escolha e aceitação do produto (Lima *et al.*, 2007).

A cor dos alimentos deve-se, principalmente, à presença de pigmentos naturais. Estes participam em várias reações, em função das quais, durante o processamento e

armazenamento a alteração da cor de um alimento é indicador das alterações químicas e bioquímicas que podem ocorrer (Ribeiro & Seravalli, 2004).

A clorofila, as antocianinas e os carotenóides são os principais responsáveis pela coloração dos vegetais (Chitarra & Chitarra, 2005). Para além do fator nutricional, a melhor percepção visual dos produtos está relacionada com os teores de pigmentos carotenóides como o licopeno (Carvalho *et al.*, 2005).

Durante a secagem as alterações da cor devem-se ao escurecimento enzimático, reações de Maillard e alterações nos pigmentos, como se pode ver na Tabela 4 (Marty-Audouin & Rocha-Mier, 1999). No processamento, a temperatura e o pH desempenham um papel muito importante (Hii & Law, 2010).

**Tabela 4.** Fatores que contribuem para a alteração da cor durante a secagem.

Componentes/Reações	Compostos	Efeitos da secagem
<b>Pigmentos</b>	Clorofilas	Alteram de verde para amarelo ou para cores vermelhas.
	Carotenóides	Oxidação dos carotenóides pelo oxigénio do ar.
	Antocianinas	Bastante estável durante o processamento a pH baixo.
	Betalaínas	Muito sensível ao pH, degradação para compostos castanhos a um pH neutro.
<b>Reações de Maillard</b>  <b>Acastanhamento enzimático</b>	Açúcares reductores, aminoácidos, proteínas	Formação de pigmentos castanhos ou pretos, melanoidinas e outros compostos perfumados.
	Fenólicos	Transformação dos compostos fenólicos em polímeros castanhos ou pretos.

(adaptado de Hii & Law, 2010)

### Textura

Segundo Szczesniak (2002) a textura é definida como a demonstração sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, e estas são detetadas pelos sentidos da visão, audição e tato.

A textura relaciona-se com o “flavour”, uma vez que a libertação de compostos presentes no produto que são perceptíveis ao paladar estão também relacionados com a estrutura do tecido, tornando assim este atributo um fator de qualidade muito importante (Chitarra & Chitarra, 2005).

A remoção da água dos alimentos resulta num colapso estrutural, provocando significativas mudanças na textura, resultando assim no encolhimento e na alteração da porosidade do produto seco (Hii & Law, 2010).

As propriedades da textura são a dureza, fraturabilidade, elasticidade, mastigabilidade, gumosidade, coesividade e resiliência (Hii & Law, 2010). Estas são utilizadas para a comparação da qualidade da textura dos produtos alimentares desidratados por vários métodos de secagem (Rahman, 2005). São influenciadas, principalmente, pelos teores de humidade e gordura, pelos tipos e quantidade de hidratos de carbono estruturais (celulose, amido, materiais pécnicos) e pelas proteínas do alimento. As modificações na textura são provocadas pela perda de humidade ou gordura, formação ou quebra de emulsões e géis, hidrólise de hidratos de carbono e hidrólise ou coagulação de proteínas (Fellows, 2000).

A textura é a característica mais afetada pela ação do calor, devido às altas temperaturas que provocam alterações físicas e químicas na superfície do alimento (Camargo, 2006). A velocidade e a temperatura de secagem influenciam a textura dos alimentos (Spoto, 2006), sendo que, geralmente, quando a secagem é rápida e a altas temperaturas provoca maiores alterações na textura do que a secagem moderada e a baixas temperaturas (Cañizares *et al.*, 2007). Isto acontece porque, à medida que a água é removida durante a secagem, os solutos movimentam-se do interior do alimento para a superfície. Na superfície, estes formam uma crosta impermeável e rija, devido às altas temperaturas que ocasionam mudanças físico-químicas nos solutos da superfície de certos alimentos (Fellows, 2000; Cañizares *et al.*, 2007; Gava *et al.*, 2009).

### **Encolhimento**

A secagem de alimentos com alto teor de humidade inicial origina uma significativa redução do volume, alterando assim as dimensões e a forma original (Santos, 2011), como mostra a Figura 6.

O encolhimento do produto alimentar aumenta com a quantidade de água a ser removida, uma vez que à medida que a água é removida, as tensões de contração são mais fortemente exercidas sobre o material (Ong & Law, 2010).



**Figura 6.** Aspeto da cenoura depois de seca.

### 2.5.2. Químicos

#### **Flavour**

Independentemente da textura, forma e cor de um produto desidratado, a principal preocupação dos consumidores é o flavour. Este é composto por vários compostos aromáticos que constituem o sabor e odor do alimento. Alguns dos compostos aromáticos são voláteis, e durante a secagem estes perdem-se (Hii & Law., 2010). O grau de perda de compostos voláteis é influenciado não só pela temperatura e teor de humidade do alimento mas também pela sua pressão de vapor e solubilidade no vapor de água (Fellows, 2000; Cañizares *et al.*, 2007).

#### **Atividade da água**

Durante a secagem a remoção do teor de humidade reduz a atividade da água do produto. A baixa atividade da água inibe o crescimento de vários microrganismos e impede a oxidação e reações enzimáticas no alimento. Por isso, para um armazenamento seguro do alimento desidratado, a  $a_w$  deve ser relativamente baixa, geralmente inferior a 0,6.

### 2.5.3. Aspetos Nutricionais

#### **Nutrientes**

A secagem provoca a degradação dos nutrientes, contudo a sua extensão vai depender do alimento e das condições do processo de secagem (Sablani, 2006). As principais alterações nutricionais que podem ocorrer durante a secagem encontram-se na Tabela 5 (Perera, 2005).

**Tabela 5.** Alterações nutricionais que podem ocorrer durante a secagem.

<b>Tipo</b>	<b>Alterações possíveis</b>
<b>Calorias</b>	Não se alteram, apenas ficam mais concentradas numa massa menor, uma vez que a humidade é removida.
<b>Fibras</b>	Não se alteram
<b>Vitamina A</b>	Sob condições de calor controladas, consegue-se a sua retenção.
<b>Vitamina C</b>	É destruída principalmente durante o branqueamento e a secagem.
<b>Minerais</b>	Podem-se perder durante a rehidratação.
<b>Proteínas</b>	Podem sofrer desnaturação, degradação enzimática e são susceptíveis à oxidação.
<b>Hidratos de carbono</b>	Durante a secagem podem correr reacções de Maillard e alterações no sabor. O açúcar pode ser caramelizado dando origem ao escurecimento do alimento.

(Adaptado de Jangam & Mujumdar, 2010)

## 2.6. Atividade da Água

A alteração dos alimentos é principalmente provocada pela água. Contudo, está demonstrado que alimentos com o mesmo teor de água alteram-se de forma diferente, o que faz com que a quantidade de água não seja por si só, um fator da alteração dos alimentos. Baseado neste fato, surgiu o conceito de atividade de água ( $a_w$ ) que é muito importante nos estudos sobre a deterioração dos alimentos, por estar directamente relacionada com o crescimento e atividade metabólica de microrganismos e com reacções hidrolíticas (Ordóñez, 2005).

A  $a_w$  pode ser definida como a razão entre a pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor da água pura à mesma temperatura (Fellows, 2006) e é representada pela equação:

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

Onde,

P – pressão de vapor exercida pela água no alimento

$P_0$  – pressão de vapor da água pura

Nos alimentos a água encontra-se sob duas formas, isto é, na forma livre e na forma ligada. Segundo Ribeiro & Sevaralli (2004) a água ligada é a que está em contato com os solutos e outros constituintes não aquosos. A água livre no alimento é a água que apresenta as mesmas propriedades da água pura, e que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas.

A secagem dos alimentos tem como finalidade reduzir a disponibilidade da água para um nível onde não exista perigo de crescimento microbiano. Sabe-se que em alimentos desidratados os microrganismos não crescem quando a  $a_w$  está abaixo de 0,6 (Oliveira *et al.*, 2005). Contudo, durante o armazenamento as reações enzimáticas e químicas continuam a acontecer mesmo abaixo do valor referido. A  $a_w$  tem sido um parâmetro utilizado para determinar o fim da secagem, visando a redução da possibilidade do crescimento microbiano. Para determinar o tempo de armazenamento e evitar o crescimento microbiano nos alimentos desidratados é importante conhecer a  $a_w$  em função do conteúdo em água (Antonio, 2002; Oliveira *et al.*, 2006).

A Tabela 6 mostra os valores de  $a_w$  mínimos medidos para o crescimento microbiano ou germinação de esporos. Se a  $a_w$  for reduzida para valores abaixo destes, por desidratação ou pela adição de sal, açúcares, entre outros, é inibido o crescimento microbiano (Jangam & Mujumdar, 2010).

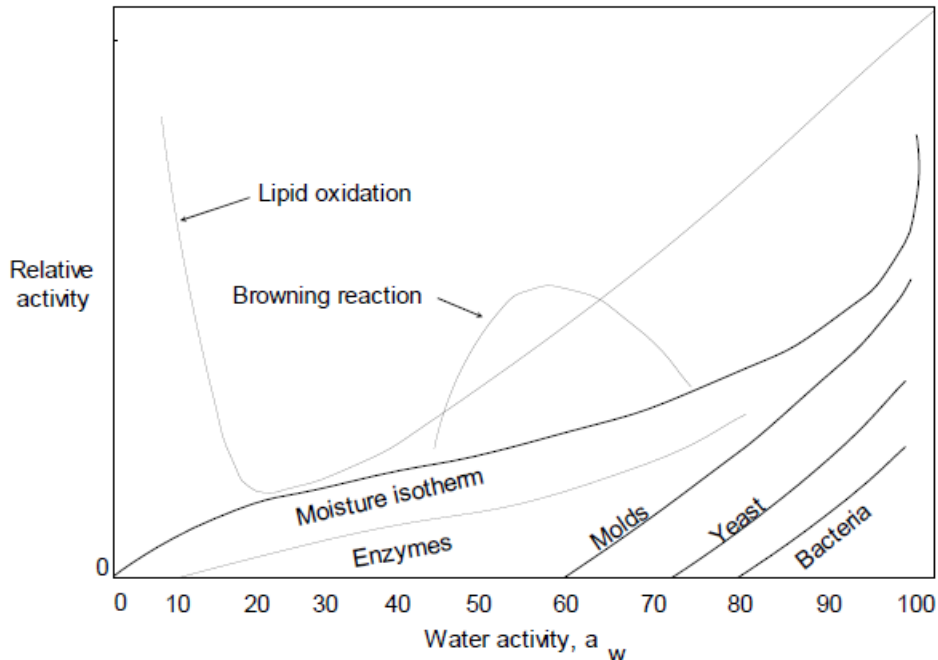
**Tabela 6.** Atividade da água mínima para o crescimento microbiano e germinação de esporos.

Microrganismos	$A_w$
Bactérias	0,91
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,85
Leveduras	0,88
Bolores	0,80
Bactérias halófilas	0,75
Fungos xerófilos	0,61
Levedoras osmotolerantes	0,60

(Alves, 2003)

A Figura 7 mostra as taxas de deterioração nos alimentos em função da  $a_w$ . Para além da deterioração provocada pelos microrganismos, o que normalmente ocorre para  $a_w$  superior a

0,7, oxidação, escurecimento não enzimático (reações de Maillard) e reações enzimáticas podem ocorrer mesmo com valores de  $a_w$  muito baixos.



**Figura 7.** Taxas de deterioração nos alimentos em função da  $a_w$ . (Adaptado de Jangam e Mujumdar, 2010)

## 2.7. Isotérmicas de Sorção

As isotérmicas são curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de humidade e a atividade de água dos alimentos a uma temperatura e pressão constantes (Alexandre *et al.*, 2007). A forma precisa das isotérmicas é o resultado das diferenças na estrutura física, composição química e quantidade de água ligada no alimento, o que faz com que cada alimento tenha um conjunto particular de isotérmicas de sorção para diferentes temperaturas (Fellows, 2006).

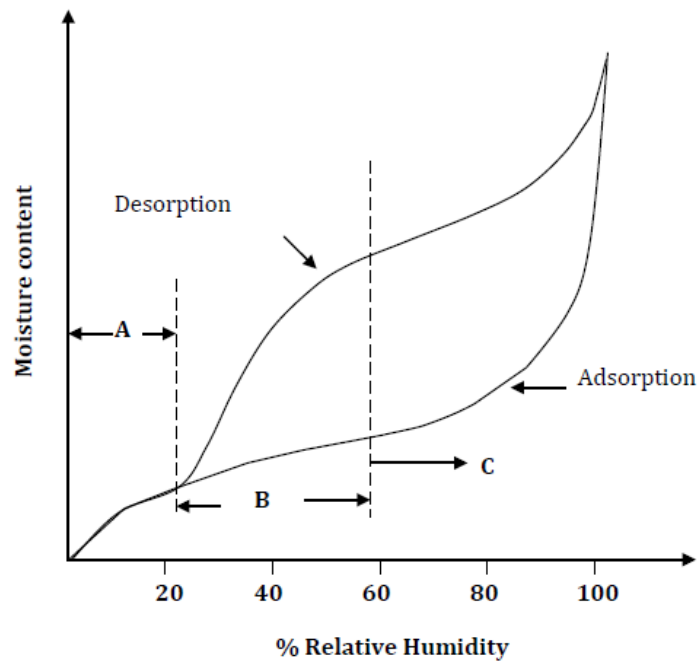
Nos produtos desidratados é fundamental conhecer as isotérmicas de sorção, uma vez que estas permitem estabelecer as condições óptimas de conservação, de transformação bem como o dimensionamento dos equipamentos de secagem e transporte (Costa *et al.*, 2003). Segundo Ordóñez (2005) as isotérmicas de sorção têm bastante utilidade em diferentes aspetos, uma vez que permitem:

- Avaliar a estabilidade dos alimentos. O crescimento microbiano diminui com a diminuição da  $a_w$  e a velocidade das reações químicas, enzimáticas e não enzimáticas dependem da quantidade de água disponível;
- Prever a  $a_w$  de diversas misturas de vários ingredientes. Para um alimento estar em equilíbrio, há a migração de água de um componente para outro, assim as isotérmicas permitem saber a  $a_w$  dos componentes da mistura e a estabilidade de cada um deles e da mistura;
- Prever o tempo de armazenamento do produto, e também permite saber o comportamento de um alimento sob diferentes condições de armazenamento;
- Nos produtos congelados permite saber a temperatura ótima de armazenamento, através da relação entre a temperatura e a  $a_w$  do produto;
- Optimizar os processos de conservação, através da redução da quantidade de água do alimento, uma vez que a quantidade de humidade residual ideal para determinado alimento é dada pelas isotérmicas de sorção.

A curva de uma isotérmica pode obter-se de duas formas: das isotérmicas de adsorção e das isotérmicas de dessorção. As isotérmicas de adsorção são obtidas quando um alimento seco é colocado em ambientes com aumentos da humidade relativa, sendo medido o aumento do peso do alimento, devido ao ganho de água. No que diz respeito às isotérmicas de dessorção, estas são obtidas quando o alimento húmido é colocado num ambiente com as mesmas condições criadas para a adsorção, sendo medida neste caso a diminuição do peso do alimento, devido à perda da água durante a desidratação. Por vezes as curvas de adsorção e de dessorção não coincidem, sendo a diferença entre elas denominada de fenómeno de histerese (Hossain *et al.*, 2001).

Um gráfico típico das isotérmicas de sorção é apresentado na Figura 8. Este apresenta três zonas distintas, A, B e C, que são indicativas de diferentes mecanismos de ligação da água nos locais individuais na matriz sólida. Na região A, a água é fortemente ligada aos locais e não está disponível para a reação. Nesta região, há essencialmente a monocamada de adsorção do vapor de água e não existe distinção entre as isotérmicas de adsorção e dessorção. Na região B, a água está mais fracamente ligada. A depressão da pressão de vapor abaixo da pressão de vapor de equilíbrio da água à mesma temperatura é devida ao seu confinamento em

capilares mais pequenos. A água na região C está em capilares maiores, estando disponível para as reacções e como solvente (Jangam & Mujumdar, 2010). Além disso, a histerese está relacionada com a natureza e o estado dos componentes do alimento, o que reflete o seu potencial de rearranjos estruturais e conformacionais, que altera a acessibilidade de locais polares energeticamente favorável. A presença de capilares em alimentos resulta numa diminuição considerável da atividade de água (Raji & Ojediran, 2011).



**Figura 8.** Curva típica das isotermas de sorção. (adaptado de Jangam & Mujumdar, 2010)

### 2.7.1. Influência da Temperatura nas Isotérmicas de Sorção

A influência da temperatura sobre as isotérmicas de sorção é muito importante, uma vez que os alimentos são expostos a uma gama de temperaturas durante o processamento e armazenamento e a  $a_w$  altera-se com a temperatura. Efetivamente, a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio dinâmico entre as fases de vapor e adsorção. Em geral, os investigadores descobriram que, se a  $a_w$  é mantida constante, um aumento na temperatura provoca uma redução na quantidade de água adsorvida (Al-Muhtaseb *et al.*, 2002).

## 2.8. Modelização Matemática

A secagem é um processo muito complexo, onde simultaneamente ocorrem fenómenos de transferência de massa e de calor (Guiné *et al.*, 2009). Ao longo da secagem estes fenómenos provocam alterações estruturais e ao nível físico-químico nos produtos alimentares (Sacilik, 2007).

A análise dos processos de secagem permite a sua compreensão e eventualmente o estabelecimento de condições operatórias adequadas a cada processo de secagem e a cada produto alimentar (Baini & Langrish, 2007; Fadhel *et al.*, 2005). Em engenharia, para entender este processo complexo recorre-se à modelização matemática (Chong *et al.*, 2008; Lahsasni *et al.*, 2004; Roberts *et al.*, 2008).

De forma a projetar novos equipamentos de secagem, ou para melhorar os que já existem, ou ainda para permitir o controlo das operações de secagem, os modelos de simulação são muito úteis. A cinética de secagem pode ser descrita em termos das propriedades de transporte da substância, bem como do ar de secagem (Guiné *et al.*, 2009). Esta foi estudada através da variação da humidade das cenouras ao longo das secagens, e os dados foram expressos sob a forma da razão de humidade, que é uma variável adimensional (MR) versus tempo, onde (Mota *et al.*, 2010):

$$MR = \frac{W - W_e}{W_0 - W_e} \quad (2)$$

Onde,

W - teor de humidade num instante genérico de tempo *t*.

$W_e$  - teor de humidade de equilíbrio

$W_0$  - teor de humidade inicial

Para modelizar a cinética de secagem, os pontos (MR, *t*) foram ajustados a diferentes métodos empíricos, apresentados na Tabela 7, e citados por Baini & Langrish (2007). Para a avaliação da qualidade de cada um, utilizou-se o software *Sigma Plot*, v 8.0 (SPSS, Inc.), onde se determinou o coeficiente de correlação do ajuste (*R*), o qual indica que o ajuste é tanto melhor, quanto mais próximo de 1 for o valor de *R*. Além disso, realizou-se também um teste de normalidade (Shapiro-Wilk), e determinou-se o *W*-statistic (nível significância <0,0001).

**Tabela 7.** Modelos empíricos para representar a cinética de secagem.

Modelo	Equação
Page	$MR = \exp(-k t^n)$
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-k t)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-k t) + c$

## 2.9. Propriedades Termofísicas

O aumento da diversidade dos produtos alimentares traz como consequências a exigência de modernização, a adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O cumprimento dessas exigências só acontecerá com mais informação científica sobre as propriedades termofísicas dos alimentos, possibilitando cálculos eficientes de projeto e economia nas operações de processamento envolvendo transferência de calor (Araújo *et al.*, 2004b).

O dimensionamento dos equipamentos utilizados no processamento de alimentos, principalmente os que abrangem a transferência de calor, exigem dados precisos das propriedades térmicas dos produtos, tais como condutividade térmica, difusividade térmica, calor específico e massa específica, e de como essas propriedades se comportam durante o processo, em função da temperatura. A necessidade de se conhecer as propriedades térmicas com precisão tem levado ao estudo da influência da composição e da temperatura nestas propriedades (Moura *et al.*, 2003). Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta destas informações quando da seleção de valores de propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos sistemas em estudo. A necessidade de se conhecer as propriedades térmicas com precisão tem levado ao estudo da influência da composição e da temperatura nestas propriedades (Moura *et al.*, 2003; Incropera & Dewitt, 2003).

### 2.9.1. Calor Específico

O calor específico é definido como a quantidade de energia necessária para alterar em uma unidade de temperatura uma massa unitária de um material qualquer, sendo importante para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida em processos de aquecimento e arrefecimento (Araújo *et al.*, 2004b). Portanto, conhecer o calor específico é importante para determinar a quantidade de energia que se deve adicionar ou remover no

processamento, dando uma indicação do gasto energético, o que num processo contínuo, tenderá a influenciar o tamanho do equipamento. O calor específico dos alimentos é afetado significativamente pela quantidade de água e pelo estado físico da mesma. Os alimentos congelados com alto teor de água, por exemplo, podem ter valores para o calor específico aproximadamente iguais a metade dos correspondentes aos do seu estado fresco (Lewis, 1993).

### **2.9.2. Condutividade Térmica**

A condutividade térmica de alimentos e sua relação com o conteúdo de água é uma das mais importantes propriedades de transporte requeridas para modelizar processos em que haja trocas de massa e energia (Pinheiro, 2004). Esta é definida como a constante de proporcionalidade que relaciona a taxa de transferência de calor por um material com a área de transferência de calor e a variação de temperatura com a distância no material (Incropera & DeWitt, 2003), podendo ser entendida como a capacidade de um material em conduzir calor (Araújo *et al.*, 2004b). A condutividade térmica é considerada uma das propriedades mais influentes durante um processamento que envolve a transferência de calor (Carson, 2006), e é altamente dependente da composição e da temperatura do alimento.

### **2.9.3. Difusividade Térmica**

A difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la (Incropera & Dewitt, 2003). Materiais com um elevado valor de difusividade térmica respondem rapidamente a mudanças térmicas no seu ambiente, enquanto que matérias com baixos valores de difusividade respondem mais lentamente, demorando a alcançar um novo estado de equilíbrio (Incropera & Dewitt, 2003).

### 3. Material e Métodos



### 3.1. Matéria-prima

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório da Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV). Foi escolhida como matéria-prima a cenoura (*Daucus carota L.*) variedade Nantes, por apresentar interesse industrial, ser de baixo custo e também por ter uma boa disponibilidade. A variedade da cenoura utilizada neste trabalho foi adquirida num Supermercado local. A selecção da matéria-prima seguiu alguns parâmetros, como a sua integridade física, tamanho, diâmetro e ausência de perfurações na casca, como mostra na Figura 9.



**Figura 9.** Cenoura com uma boa integridade física.

Para a realização das secagens, as cenouras foram descascadas, lavadas e cortadas às rodelas. As rodelas foram feitas manualmente, cortando as cenouras às fatias longitudinais e a partir destas foram feitas as rodelas utilizando um molde. A forma de rodelas foi escolhida por ser a forma mais facilmente obtida em laboratório. As rodelas tinham aproximadamente 3 cm de diâmetro e 1cm de espessura, como mostra a Figura 10.



**Figura 10.** Cenoura cortada às rodelas.

## 3.2. Processo de Secagem

Para a secagem das cenouras foi utilizada uma estufa com convecção, a três temperaturas diferentes, nomeadamente a 50 °C, 60 °C e 70 °C, onde o processo de secagem demorou, respetivamente, 13, 7 e 6 horas, sendo retiradas amostras para posterior análise das propriedades químicas e físicas a cada 60 minutos.

### 3.2.1. Secagem em Estufa

As cenouras já em rodela foram distribuídas em redes e colocadas na estufa (Figura 11), sendo esta uma WTB com ventilação (Binder, Alemanha). O fluxo de ar foi de 0,2 m/s e as experiências foram realizadas a temperaturas constantes de 50 °C, 60 °C e 70 °C.



Figura 11. Cenouras dentro da estufa.

## 3.3. Análises Físicas e Químicas

No que respeita às análises químicas realizou-se a determinação da humidade, cinzas, proteínas, açúcares (reduzores, não reduzores e totais), fibra bruta e  $a_w$ . Os resultados das análises químicas foram expressas em base seca, de modo a permitir a comparação direta entre os valores das diferentes amostras. O valor em base seca foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Valor (g/100g b.s.)} = \frac{\text{Valor (g/100g produto)} \times 100}{100 - \text{Humidade (g/100g produto)}} \quad (3)$$

Apenas a humidade foi expressa em base húmida. A pesagem das amostras para os métodos utilizados na determinação das análises físico-químicas, foi efetuada numa balança

analítica Precisa XB 220 A (Dietikon, Suíça) com um peso mínimo de 0,05 mg e máximo de  $\approx 220$  g.

Quanto às análises físicas determinaram-se a densidade aparente, a porosidade, textura e cor.

### **Preparação das amostras**

Para a determinação das análises químicas as amostras de cenoura foram trituradas, tanto para as análises da cenoura em fresco como para as amostras submetidas a secagem. No caso das análises físicas, para a textura e cor foram utilizadas as rodelas das cenouras.

As análises físico-químicas foram efetuadas em 27 amostras, sendo que em cada uma foram feitas análises em triplicado.

#### **3.3.1. Humidade**

A determinação da humidade dos alimentos é uma das medidas mais utilizadas em análise dos alimentos, sendo uma das mais importantes a realizar. No processo de secagem esta determinação é fundamental, uma vez que a humidade de um alimento está relacionada com a sua estabilidade, qualidade e composição (Park & António, 2006).

A humidade foi determinada com recurso a uma balança de halogéneo, modelo HG53 Mettler Toledo, como mostra a Figura 12. As condições de operação foram previamente estabelecidas, sendo a temperatura de secagem de 125 °C e a velocidade de secagem 3 (intermédia). Para esta determinação as amostras apresentaram uma massa variável entre 0,1 g e 0,3 g.



**Figura 12.** Balança de Halogéneo.

### 3.3.2. Proteínas

A proteína bruta foi determinada utilizando o método de Kjeldhal, sendo o catalisador a solução saturada de sulfato de cobre. Em cada tubo de kjeldhal colocou-se 1 g de amostra, 10 ml de ácido sulfúrico e 1 ml de sulfato de cobre. Seguidamente colocou-se os tubos de kjeldhal no mineralizador, programado para 400 °C durante 6 h. Após o arrefecimento dos tubos de kjeldhal, estes foram colocados no destilador, no qual também se colocou para recolher o destilado, um erlenmeyer de 250 ml com 20 ml de ácido bórico a 1% (m/v) e procedeu-se à destilação (onde o aparelho é previamente programado para adicionar ao tubo de kjeldhal 50 ml de água destilada e 50 ml de hidróxido de sódio (NaOH) a 35 % (m/v). No fim da destilação, no destilado recolhido adicionaram-se duas gotas de indicador misto, ficando o destilado com uma cor verde e procedeu-se á titulação com ácido sulfúrico (HCl) 0.01 N até ao ponto de viragem de cor (rosa).

### Cálculos

O cálculo da proteína bruta efetuou-se através da seguinte equação:

$$\% \text{ Proteína bruta} = \left[ \left( \frac{vg \times 0,01 \times 0,014}{m(g)} \right) \times 100 \right] \times 6,25 \quad (4)$$

Onde,

vg = volume gasto na titulação (ml)

m = massa da amostra em gramas (g)

### 3.3.3. Fibra Bruta

Entende-se por fibra bruta o resíduo orgânico vegetal constituído por celulose, obtido a partir da substância seca e isenta de matéria gorda, pela remoção de outros glúcidos e dos prótidos, mediante tratamento por ebulição, em meio ácido e depois em meio básico (Alves *et al.*, 2011).

Em primeiro lugar procedeu-se à secagem em estufa a 104 °C cerca de 2 horas, até peso constante dos cadinhos filtrantes de porosidade 2. Seguidamente foram colocados no exsiccador, onde permaneceram até arrefecer. Após arrefecimento, foram pesados vazios e novamente pesados após adição de cerca de 3 g de amostra. Posteriormente, colocaram-se os cadinhos no Dosi-fiber, onde se adicionou em cada coluna 150 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1,25 %), que foi

previamente aquecido numa placa de aquecimento. As resistências foram colocadas a 90 % até o reagente entrar em ebulição, quando se atingiu esse ponto, reduziu-se o aquecimento para 60 % durante 30 minutos. Ao fim deste tempo, foram desligadas as resistências, as válvulas de aspiração foram abertas e o reagente foi libertado. Depois de se retirar todo o ácido, os resíduos de cada coluna foram lavados com 150 ml de água destilada, previamente aquecida, este processo foi feito 3 vezes. No fim deste, voltou-se a fechar as válvulas de aspiração e adicionou-se em cada coluna 150 ml de NaOH (1,25 %), previamente aquecido e repete-se o procedimento já descrito para o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Por fim, os cadinhos filtrantes foram retirados do Dosi-fiber e colocado num kitasato, ligado a uma bomba de vácuo, onde foram lavados com 5 ml de acetona, 3 vezes cada um. Foram colocados numa estufa a 104 °C até peso constante.

### Cálculos

O conteúdo de fibra bruta foi determinado através da seguinte equação:

$$\% \text{ Fibra bruta} = \frac{(P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

P<sub>1</sub>- Peso cadinho (g)

P<sub>2</sub>- Peso cadinho + amostra (g)

P<sub>3</sub>- Peso cadinho + amostra (conjunto) + fibra bruta (g)

### 3.3.4. Cinzas

A cinza (total) refere-se ao resíduo após a incineração de matéria orgânica. Na via seca, os alimentos são incinerados num cadinho, geralmente feito de silicone, porcelana ou platina. De forma a evitar a formação de espuma de lípidos (e açúcares), a matriz alimentar deve ser destruída por aquecimento suave numa mufla a 550 °C, até ser produzido um resíduo branco ou cinza claro. Um aquecimento acima dos 550 °C pode originar a perda de metais alcalinos (Greenfield & Southgate, 2003).

As cinzas foram determinadas através do método de Weende (AOAC, 2000). Colocou-se os cadinhos na mufla a 550 °C durante 1 hora, para serem calcinados. Após este tempo, foram colocados num exsiccador até temperatura ambiente. Seguidamente, determinou-se o peso dos cadinhos, adicionou-se cerca de 2 g de amostra e estes foram colocados na mufla à temperatura de 550 °C até à obtenção de um resíduo branco. Tratou-se o resíduo com

ácido nítrico e voltou-se a calcinar, até à obtenção de um resíduo completamente branco. Arrefeceu-se num exsiccador, até temperatura ambiente e efectuou-se a pesagem dos mesmos.

A quantificação do teor de cinzas da amostra determinou-se a partir da equação 6.

### Cálculos

$$\% \text{ Cinza} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100 \quad (6)$$

Onde,

P<sub>1</sub>- Peso cadinho (g)

P<sub>2</sub>- Peso cadinho + amostra (g)

P<sub>3</sub>-Peso cadinho + amostra (conjunto) + cinza (g)

### 3.3.5. Açúcares

Os açúcares são, tal como as proteínas e gorduras, um dos principais constituintes dos alimentos (Weaver e Daniel, 2005). Nas frutas e legumes estes são os macronutrientes mais abundantes (Silva *et al.*, 2003).

Os açúcares encontram-se divididos em três grupos: mono, oligo e polissacarídeos. Os monossacarídeos são açúcares simples que não podem ser hidrolisados em compostos mais simples, (Weaver & Daniel, 2005) são açúcares redutores devido a apresentarem um grupo carbonílico ou cetónico livre, capaz de ser oxidado na presença de agentes oxidantes em soluções alcalinas (Silva *et al.*, 2003). Os oligo e polissacarídeos, não apresentam esta característica sem sofrerem hidrólise da ligação glicosídica, e são denominados de açúcares não redutores (Silva *et al.*, 2003).

Os hidratos de carbono foram calculados através da subtração de 100 pela soma da massa dos vários componentes da amostra (humidade, cinza, gordura e proteína).

Para a determinação do teor de açúcares redutores, o método seguido foi o descrito no *FoodChemicalsCodex*, (1996). Os açúcares redutores são determinados por reação de uma porção solúvel em água das amostras com um excesso de sulfato de cobre padrão em alcalina de tartarato (solução de Fehling), sob condições controladas de tempo, temperatura, concentração e composição do reagente, de modo que a quantidade de cobre reduzido é proporcional à quantidade de açúcares redutores na amostra analisada (*FoodChemicalsCodex*,

1996). Para a sua determinação, pesou-se cerca de 10 g de amostra, sendo adicionados 200 mL de água destilada, ficando posteriormente em agitação durante cerca de 30 minutos. Ao fim dos 30 minutos procedeu-se à filtração. Num erlenmayer de 250 mL, adicionou-se 10 mL de solução de Fehling's A, 10 mL de solução de Fehling's B, 20 mL de filtrado e 10 mL de água destilada. Seguidamente, esta mistura esteve em ebulição durante 2 minutos numa placa de aquecimento, seguindo para um banho de água fria, de forma a provocar um arrefecimento rápido. Posteriormente adicionou-se 10 mL de iodeto de potássio a 30 % (m/v) e 10 mL de ácido sulfúrico a 28 % (v/v) e procedeu-se à titulação com solução de tiosulfato de sódio a 0.1 N na presença de 1 mL de indicador de amido a 1 % (m/v), que foi adicionado sensivelmente a meio da titulação, até ao ponto de viragem para cor creme. Foi também efetuado um branco, substituindo o filtrado por água destilada.

### Cálculos

$$\% \text{ Açúcares redutores (glucose) } = \frac{mg_{glucose}(Tabela) \times 200mL \times 100}{P_a \times 20mL \times 1000mg/g} \quad (7)$$

Em função da diferença de volumes de tiosulfato de sódio, gastos no ensaio em branco e na determinação (amostra), obteve-se a correspondente massa de glucose, através da Figura 13.

Net Titer*	Conversion of Net Titer to Reducing Sugars									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	Reducing Sugars (As Dextrose), mg									
0.0 mL	0.0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8
1.0	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	5.9
2.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.5	8.8	9.1
3.0	9.4	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.4	11.7	12.0	12.3
4.0	12.6	13.0	13.3	13.6	14.0	14.3	14.6	15.0	15.3	15.6
5.0	15.6	16.3	16.6	16.9	17.2	17.6	17.9	18.2	18.5	18.9
6.0	19.2	19.5	19.8	20.0	20.5	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1
7.0	22.4	22.7	23.0	23.3	23.7	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2
8.0	25.6	25.9	26.2	26.6	26.9	27.3	27.6	28.0	28.3	28.6
9.0	28.9	29.3	29.6	30.0	30.3	30.6	31.0	31.3	31.6	31.9
10.0	32.3	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	35.0	35.3
11.0	35.7	36.0	36.3	36.7	37.0	37.3	37.6	38.0	38.3	38.7
12.0	39.0	39.3	39.6	40.0	40.3	40.6	41.0	41.3	41.7	42.0
13.0	42.4	42.8	43.0	43.4	43.7	44.1	44.4	44.8	45.2	45.5
14.0	45.8	46.2	46.5	46.9	47.2	47.6	47.9	48.3	48.6	48.9
15.0	49.3	49.6	49.9	50.3	50.7	51.1	51.4	51.7	52.1	52.4
16.0	52.8	53.2	53.5	53.9	54.2	54.5	54.9	55.3	55.6	56.0
17.0	56.3	56.7	57.0	57.3	57.7	58.1	58.4	58.8	59.1	59.5
18.0	59.8	60.1	60.5	60.9	61.2	61.5	61.9	62.3	62.6	63.0
19.0	63.3	63.6	64.0	64.3	64.7	65.0	65.4	65.8	66.1	66.5
20.0	66.9	67.2	67.6	68.0	68.4	68.8	69.1	69.5	69.9	70.3
21.0	70.7	71.1	71.5	71.9	72.2	72.6	73.0	73.4	73.7	74.1
22.0	74.5	74.9	75.3	75.7	76.1	76.5	76.9	77.3	77.7	78.1
23.0	78.5	78.9	79.3	79.7	80.1	80.5	80.9	81.3	81.7	82.1
24.0	82.6	83.0	83.4	83.8	84.2	84.6	85.0	85.4	85.8	86.2
25.0	86.6	87.0	87.4	87.8	88.2	88.6	89.0	89.4	89.8	90.2
26.0	90.7	91.1	91.5	91.9	92.3	92.7	93.1	93.5	93.9	94.3
27.0	94.8									

\*mL of 0.1000 N sodium thiosulfate solution.

Figura 13. Tabela de conversão. (Adaptado de *FoodChemicalsCodex*, (1996))

Os açúcares não redutores foram determinados pela diferença dos hidratos de carbono totais pelos açúcares redutores.

### 3.3.6. Atividade da Água

A  $a_w$  tem sido considerada uma propriedade fundamental no controlo da qualidade dos alimentos. Nenhum microrganismo cresce num meio totalmente seco, necessitando de água para desenvolver as suas funções, sendo que essa água tem que ser livre, ou seja, não pode estar ligada a nenhuma outra substância. Cada tipo e espécie de organismo tem uma exigência mínima e máxima de teor de água no meio, uma vez que fora desta faixa poderá ter o seu metabolismo comprometido (Neto *et al.*, 2005).

A determinação da  $a_w$  foi efectuada com recurso a um Higrómetro eléctrico Rotronic AwVc. Este método baseia-se na medição da humidade relativa numa pequena atmosfera que rodeia a amostra, na qual se estabelecem condições de equilíbrio. A determinação foi efectuada a uma temperatura de aproximadamente 30 °C.

#### Cálculos

$$A_w = \frac{HR}{100} \quad (8)$$

### 3.3.7. Densidade Aparente

A densidade aparente foi determinada segundo o método de massa e volume. Para tal, as amostras foram pesadas. Seguidamente numa proveta de 10 ml encheu-se com um pouco de água e anotou-se o volume de água, de seguida colocou-se a amostra dentro da proveta e anotou-se o volume da água deslocado.

#### Cálculos

$$V_a = V_2 - V_1 \quad (9)$$

$$\rho = \frac{m_a}{V_a} \quad (10)$$

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{água}}} \quad (11)$$

Onde,

$V_a$  – volume da amostra (ml)

$V_1$  – volume da água (ml)

$V_2$  – volume de água final (ml)

$m_a$  – massa da amostra (g)

### 3.3.8. Porosidade

A evolução da porosidade ao longo da secagem foi determinada com a medição experimental de algumas propriedades do alimento e ainda com a estimativa de alguns parâmetros. Segundo Zougzas *et al* (1994b) a porosidade,  $\varepsilon$ , pode ser dada pela equação (12)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (12)$$

em que  $\rho_b$  é a massa específica *bulk* (inclui o material, a água e os espaços vazios) e  $\rho_p$  é a massa específica das partículas (inclui o material e a água, e exclui os espaços vazios), e que se podem expressar em função de  $W$  segundo as Equações (12.2) e (12.3):

$$W = H/100 - H \quad (12.1)$$

$$\rho_b = \frac{1 + W}{\frac{1}{\rho_{b0}} + \beta \frac{W}{\rho_{b0}}} \quad (12.2)$$

$$\rho_p = \frac{1 + W}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{W}{\rho_w}} \quad (12.3)$$

Estas equações requerem o conhecimento de quatro parâmetros:  $\rho_{b0}$  (massa específica de bulka humidade zero),  $\beta$  (coeficiente de encolhimento volumétrico),  $\rho_s$  (massa específica dos sólidos) e  $\rho_w$  (massa específica da água no interior do alimento). Para a estimativa dos valores de  $\rho_{b0}$  e  $\beta$ , foram utilizados os dados obtidos para as variações ao longo da secagem, da humidade e do volume específico (definido como o volume total por unidade de massa de sólidos secos), que segue a Equação (12.4):

$$\frac{v}{v_0} = 1 + \beta W \quad (12.4)$$

Assim, da representação gráfica de  $v$  contra  $W$  obtém-se da ordenada na origem o valor  $v_0 = 1/\rho_{b0}$  e do declive que é igual a  $\beta v_0$  calcula-se  $\beta$ .

O valor de  $\rho_s$  foi determinado experimentalmente, e o valor de  $\rho_w$  foi determinado a partir da Equação (12.5), depois de conhecidos  $\rho_{b0}$  e  $\beta$ .

$$\beta = \frac{\rho_{b0}}{\rho_w} \quad (12.5)$$

### 3.3.9. Textura

Segundo a ISO 11036:1994, “A textura são todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto, perceptíveis por meios mecânicos, tácteis e quando apropriado, por receptores visuais e auditivos”.

A análise instrumental do perfil de textura (TPA -Texture Profile Analysis) é um teste que utiliza os princípios de compressão, sendo também um teste de imitação, uma vez que tenta imitar a ação da mandíbula, comprimindo a amostra duas vezes num movimento alternado.

A curva de força-tempo obtida permite estimar um número de propriedades da textura, tais como, dureza, elasticidade, coesividade, adesividade e mastigabilidade. A Figura 14 mostra um perfil de TPA.

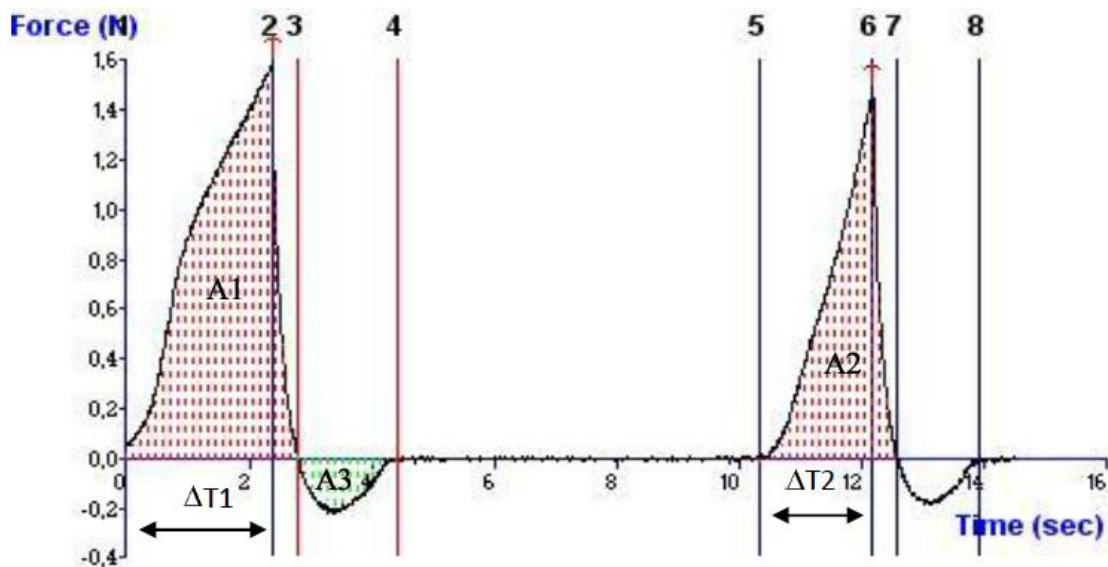


Figura 14. Perfil de TPA.

Para a determinação da textura utilizou-se um texturómetro TA-XT Plus (Microsystems, Reino Unido). Para todas as amostras, foram analisadas 10 amostras, sendo obtidos outros tantos TPA's, como mostra a Figura 14, para determinar os perfis de textura.

Os perfis de textura foram obtidos através da compressão da amostra em dois ciclos consecutivos entre placas paralelas, usando uma sonda de compressão de 75 mm de diâmetro, com um intervalo de 5 segundos entre ciclos. A força da célula de carga usada foi de 5 Kg e a velocidade de teste de 0.5 mm/s.

As propriedades da textura (dureza, adesividade, elasticidade, coesividade e mastigabilidade) foram depois calculadas pelas seguintes equações (Guiné, 2010), cuja nomenclatura se mostra no TPA da Figura 14:

$$\text{Dureza (N)} = F_1 \quad (13)$$

$$\text{Adesividade (N.s)} = A_3 \quad (14)$$

$$\text{Elasticidade (\%)} = \Delta T_2 / \Delta T_1 \times 100 \quad (15)$$

$$\text{Coesividade} = A_2 / A_1 \quad (16)$$

$$\text{Mastigabilidade (N)} = F_1 \times \Delta T_2 / \Delta T_1 \times A_2 / A_1 \quad (17)$$

Para o tratamento dos resultados obtidos pelo texturómetro recorreu-se ao programa TEE 32.

### 3.3.10. Cor

A cor dos alimentos pode ser analisada através de diversos métodos, no entanto, em laboratórios e indústrias, os que se utilizam mais são a colorimetria e a espectrofotometria. A colorimetria é a ciência que estuda a cor de acordo com a percepção humana padrão. Os colorímetros usam sensores que simulam o modo como o olho humano vê a cor e quantificam diferenças de cor entre um padrão e uma amostra (Minolta, 2007).

O espaço de cor CIELAB foi o utilizado para se obterem os resultados da cor. Os parâmetros que foram medidos foram L, a\* e b\*, em que o L é a luminosidade, e varia entre 0 e 100 (do preto ao branco, respetivamente), e as coordenadas de cores opostas são: a\*, que assume valores negativos para o verde e positivo para vermelho, e b\*, que é negativo para o azul e positivo para amarelo (Kim & Lee, 2009; Lv *et al.*, 2009).



**Figura 15.** Espaço de cor CIElab (adaptado de HunterLab, 2008a).

Para determinar a cor das amostras foi utilizado um colorímetro portátil, Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japão), como mostra a Figura 16.

Foram avaliadas as coordenadas cilíndricas, chroma (intensidade da cor) e tonalidade (cor propriamente dita) a partir das Equações 18 e 19, respetivamente:

$$\text{Chroma}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (18)$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (19)$$

Foi calculada também a diferença de cor ( $\Delta E$ ), que foi o parâmetro usado para a avaliação da variação da cor. A diferença de cor é dada pela Equação 20,

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (20)$$

em que  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  e  $b_0^*$  são os valores no estado de referencia, que no presente estudo foi a amostra no estado fresco.

Para a determinação da cor foram feitas 20 medições para cada amostra.



**Figura 16.** Colorímetro Konica Minolta.

### 3.4. Isotérmicas de dessecção

O conhecimento das isotérmicas de dessecção reveste-se de grande importância, já que estas permitem conhecer as relações de equilíbrio que se estabelecem entre o produto em causa e a atmosfera que o rodeia. Neste sentido, procedeu-se à determinação experimental das isotérmicas de dessecção das cenouras para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Dos inúmeros modelos descritos na literatura para representar as isotérmicas de dessecção (mais de 200 (Viswanathan, 2003)), optou-se por seleccionar o modelo de GAB (Equações (21) a (21.2)).

O modelo de GAB expressa-se segundo a equação:

$$W = W_m \frac{C K a_w}{(1 - K a_w) (1 - K a_w + C K a_w)} \quad (21)$$

onde  $W_m$  é a humidade da monocamada, que segundo este modelo não depende explicitamente da temperatura, e  $C$  e  $K$  são funções explícitas da temperatura dadas por:

$$C(T) = C' \exp\left(\frac{H_1 - H_m}{RT}\right) = C' \exp\left(\frac{\Delta H_C}{RT}\right) \quad (21.1)$$

$$K(T) = K' \exp\left(\frac{H_m - H_e}{RT}\right) = K' \exp\left(\frac{\Delta H_K}{RT}\right) \quad (21.2)$$

Para as isotérmicas às três temperaturas estudadas fez-se a recolha de amostras de hora a hora para determinar, em triplicado, a humidade da cenoura,  $W$ , e a humidade relativa,  $HR$ , ( $HR = a_w \times 100$ ). A humidade foi determinada com uma balança de Halogénio (Mettler Toledo HG53) a 125 °C. A humidade relativa foi determinada com um Higrómetro Rotronic, a 30 °C, onde a amostra é colocada numa câmara estanque até que se estabeleça o equilíbrio entre a amostra e o ar que a rodeia. Assim, o higrómetro mede a humidade relativa da atmosfera gerada pela amostra. A análise é realizada a uma temperatura pré-definida, que é mantida no higrómetro através de uma camisa por onde circula água. Esta é mantida à temperatura desejada através de um banho termostático.

### 3.5. Cinética de Secagem

Para modelizar a cinética de secagem, os pontos ( $MR$ ,  $t$ ) foram ajustados a diferentes métodos empíricos, demonstrados na Tabela 7, citados por Bains & Langrish (2007). Para a avaliação da qualidade de cada um, utilizou-se o software *Sigma Plot*, v 8.0 (SPSS, Inc.), onde se determinou o coeficiente de correlação do ajuste ( $R$ ), o qual indica que o ajuste é tanto melhor, quanto mais próximo de 1. Além disso, realizou-se também um teste de normalidade (Shapiro-Wilk), e determinou-se o  $W$ - statistic (nível significância  $<0,0001$ ).

### 3.6. Propriedades Termofísicas

#### Coefficiente de transferência de calor ( $h_c$ )

Este é determinado pela equação (22) segundo Incropera e Dewitt 1990:

$$h_c = \frac{Nu \times K_{ar}}{d_{sec}} \quad (22)$$

O número de Nusselt que é pedido na equação 22, é obtido através da correlação empírica entre o  $Nu$  e o número de Reynolds,  $Re$ , de acordo com Incropera e Dewitt 1990:

$$Nu = 0.37Re^{0.6} \quad (22.1)$$

O número de Reynolds, por sua vez, é obtido pela equação 22.2.

$$Re = \frac{\rho_{ar} \times v_{ar} \times d_{sec}}{\mu_{ar}} \quad (22.2)$$

### **Coefficiente de transferência de massa ( $h_m$ )**

O coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) foi determinado segundo a seguinte equação, de acordo com Holman 1986.

$$h_m = \frac{h_c}{\rho_{ar} c_{p ar} \left(\frac{\alpha_{ar}}{D_m}\right)^{2/3}} \quad (22.3)$$

Sendo o  $\alpha_{ar}$  a difusividade térmica do ar, calculada pela seguinte equação:

$$\alpha_{ar} = \frac{K_{ar}}{\rho_{ar} c_{p ar}} \quad (22.4)$$

Para a determinação da condutividade térmica, difusividade, entalpia e calor específico da cenoura utilizou-se o programa COSTHERM 2, sendo necessária a determinação das fracções mássicas dos constituintes (humidade, proteínas, cinzas, fibra bruta, hidratos de carbono totais) da cenoura, o que foi determinado através da seguinte equação:

$$\text{Fracção mássica} = \frac{m_{constituente}}{\sum m_{constituente}} \quad (23)$$

No programa são adicionados as fracções mássicas, a densidade aparente, a porosidade e a temperatura de secagem, e obtendo-se como outputs as propriedades termofísicas (calor específico, condutividade térmica, difusividade e entalpia) da cenoura às diferentes temperaturas de secagem.

### **3.7. Análise Estatística**

Os resultados foram analisados estatisticamente através do software SPSS da IBM Inc., versão 20, sendo realizado o teste de análise de variância “one-way” (ANOVA). As comparações das diferenças significativas das médias para todos os parâmetros foram testadas pelo teste de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*), sendo o nível de significância de 5 % ( $p < 0,05$ ).

## 4. Resultados e Discussão



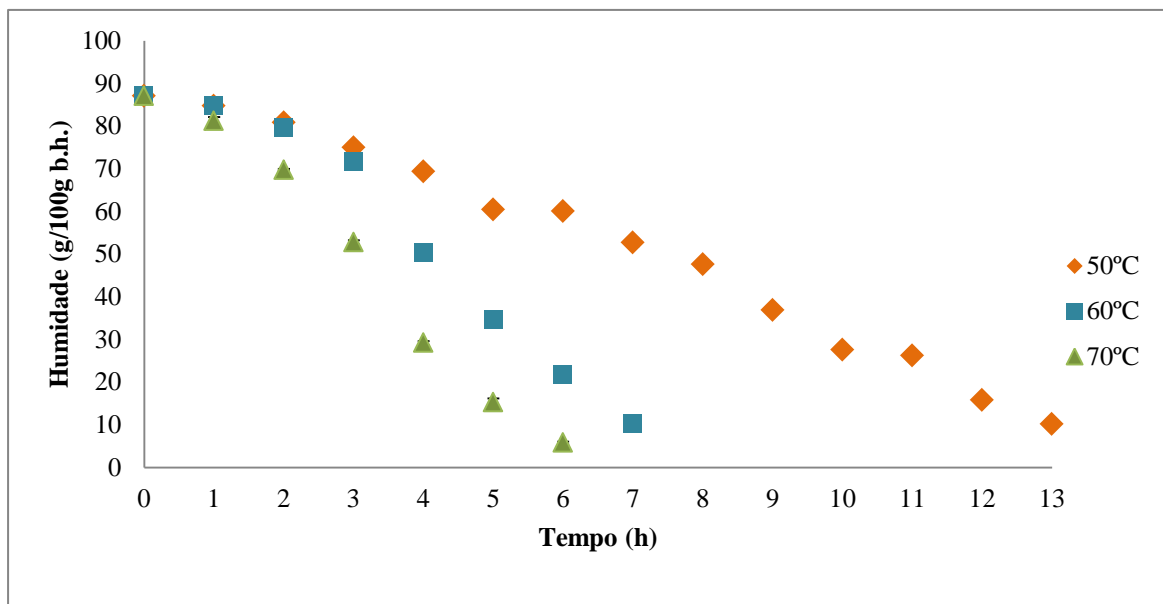
## 4.1. Análise das Propriedades Químicas e Físicas

Os resultados obtidos para as propriedades químicas, físicas e termofísicas da cenoura em fresco e ao longo das secagens, estão registados nos gráficos e Tabelas seguintes.

### 4.1.1. Humidade

A variação da humidade em relação ao tempo de secagem é influenciada pela temperatura de secagem como mostra o gráfico da Figura 17. Verifica-se que o aumento da temperatura de secagem causou um aumento importante na taxa de secagem, sendo assim reduzido o tempo de secagem. O tempo necessário para reduzir o teor de humidade das amostras a partir do inicial de 87,02 % para um final de 10,22 %, 10,27 % e 5,76 % foi de 13, 7 e 6 horas para as temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, respetivamente.

Em geral, o tempo necessário para reduzir a humidade para um determinado nível é dependente das condições de secagem, sendo maior para a temperatura de secagem de 50 °C e menor para 70 °C. Doymas (2004) obteve resultados semelhantes, no entanto o seu estudo apresentou menos horas de duração da secagem.



**Figura 17.** Evolução da humidade ao longo do tempo de secagem a três diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Na Tabela 8 encontram-se os valores finais da humidade para as três temperaturas de secagem.

**Tabela 8.** Valores do teor de humidade, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem(50°C)	Secagem(60°C)	Secagem(70°C)
<b>Humidade (g/100g b.h.)</b>	87,02 ± 0,14 <sup>a</sup>	10,22 ± 0,25 <sup>b</sup>	10,27 ± 0,62 <sup>b</sup>	5,76 ± 0,30 <sup>c</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

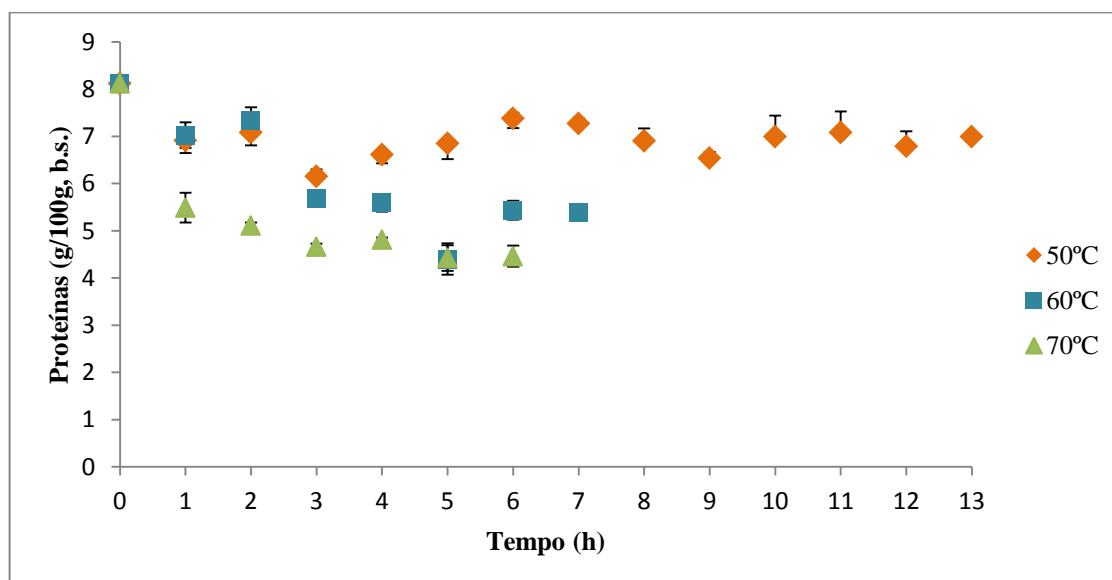
A cenoura, assim como outros vegetais, possui um elevado teor de humidade, tendo sido encontrado neste estudo o valor médio em fresco de 87,02 %, sendo este muito semelhante ao encontrado por Doymas (2004) de 87,5 %. No entanto, encontra-se ligeiramente abaixo dos valores encontrados por Araújo (2010) de 90,56 % e por Akubor & John Ike (2012) de 91 %.

Após as secagens o valor final obtido foi de 10,22, 10,27 e 5,76 % para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respetivamente. É notório que a temperatura de secagem de 70 °C foi a que mais afetou este parâmetro, ou seja, foi a que provocou uma maior perda de água e as temperaturas de 50 °C e 60 °C obtiveram valores muito semelhantes entre si.

Num estudo efetuado por Doymas (2004) o valor final da humidade após as secagens à mesma temperatura foi de 6 %, à temperatura de 70 °C, no entanto para as temperaturas de 50 °C e 60 °C obteve valores mais elevados.

#### 4.1.2. Proteínas

A Figura 18 mostra a evolução do teor de proteínas ao longo das secagens a 50, 60 e 70 °C.



**Figura 18.** Evolução do teor de proteínas ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Conforme pode ser observado na Figura 18, para as três temperaturas, houve uma diminuição das proteínas ao longo do tempo. No que diz respeito à temperatura de 50 °C, esta provocou uma diminuição mais gradual, mantendo-se praticamente constante nas últimas horas de secagem, verificou-se também que nas primeiras duas horas de secagem tanto na secagem de 50 °C como na de 60 °C as alterações foram semelhantes. No entanto, a partir da segunda hora na temperatura de 60 °C houve maiores perdas. No caso da secagem a 70 °C, na primeira hora foi onde se notou uma maior perda, mantendo posteriormente uma diminuição constante.

Os resultados obtidos do teor de proteínas para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca encontram-se na Tabela 9.

**Tabela 9.** Teor de proteínas, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem(50°C)	Secagem(60°C)	Secagem(70°C)
Proteínas(g/100g b.s.)	8,12±0,14 <sup>a</sup>	6,99±0,03 <sup>b</sup>	5,38±0,09 <sup>c</sup>	4,50±0,22 <sup>d</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

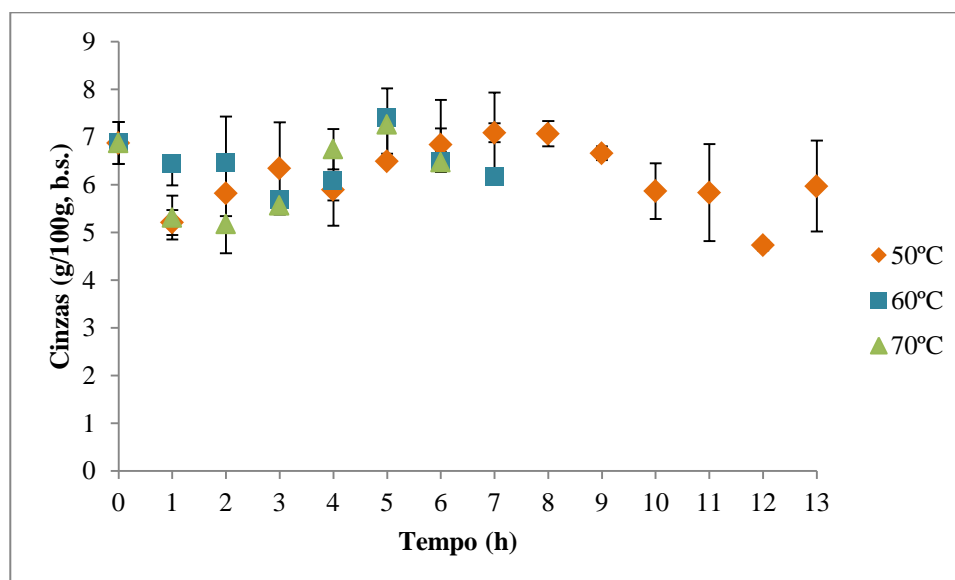
O valor médio encontrado para as proteínas, para a cenoura em fresco foi de 8,12 g/100g b.s, que corresponde a 1,05 g/100g b.h. Este valor é semelhante ao valor encontrado por Akubor & John (2012) que foi de 1,2 g/100g e situando-se entre os valores encontrados na literatura, ou seja, entre 0,44 a 1,33 g/100g b.h (Verzeletti *et al.*, 2010).

No que diz respeito ao final de cada secagem, observou-se que com o aumento da temperatura de secagem houve uma maior perda de proteínas, sendo 6,99, 5,38 e 4,50 g/100g para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respetivamente. Num estudo efetuado por Akubor & John (2012) também verificaram uma diminuição no teor de proteínas na secagem ao sol e em estufa.

A maior perda de proteínas foi verificada na temperatura de secagem de 70 °C, o que está de acordo com Pinheiro-Santana (1998) segundo o qual com a utilização de altas temperaturas há maiores perdas de nutrientes. A perda de proteínas pode estar relacionada com a desnaturação ou alterações na solubilidade das mesmas durante a secagem. Contudo, outra causa possível para esta redução é a libertação de aminoácidos a partir das proteínas após a desnaturação que podem reagir com outros compostos químicos, tais como açúcares para produzir melanoidinas através da reação de Maillard (Lee & Shibamoto, 2002; Perera, 2005; Miranda *et al.*, 2009; Borompichaichartkul *et al.*, 2009).

### 4.1.3. Cinzas

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos do teor de cinzas ao longo da secagem a diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C).



**Figura 19.** Evolução do teor de cinzas ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Observou-se uma pequena oscilação dos valores ao longo das secagens, contudo a oscilação é similar nas três temperaturas. Verifica-se um ligeiro decréscimo e seguidamente um aumento, voltando a descer no caso das temperaturas de 60 e 70 °C e no caso da temperatura de 50 °C volta a subir. Este comportamento oscilatório não é expectável, e poderá dever-se a erros experimentais, tendo em atenção a quantidade de cinzas presente.

Os resultados obtidos para o teor de cinzas para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca, encontram-se na Tabela 10.

**Tabela 10.** Teor de cinzas, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem (50 °C)	Secagem (60 °C)	Secagem (70 °C)
Cinzas (g/100 g b.s.)	6,87±0,44 <sup>a</sup>	5,97±0,95 <sup>a</sup>	6,17±1,76 <sup>a</sup>	6,47 ±0,21 <sup>a</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significam que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

O valor médio obtido do teor de cinzas da cenoura em fresco foi de 6,87 g/100g b.s correspondendo a 0,89 g/100g b.h muito semelhante ao valor encontrado por Sra *et al.*, (2010)

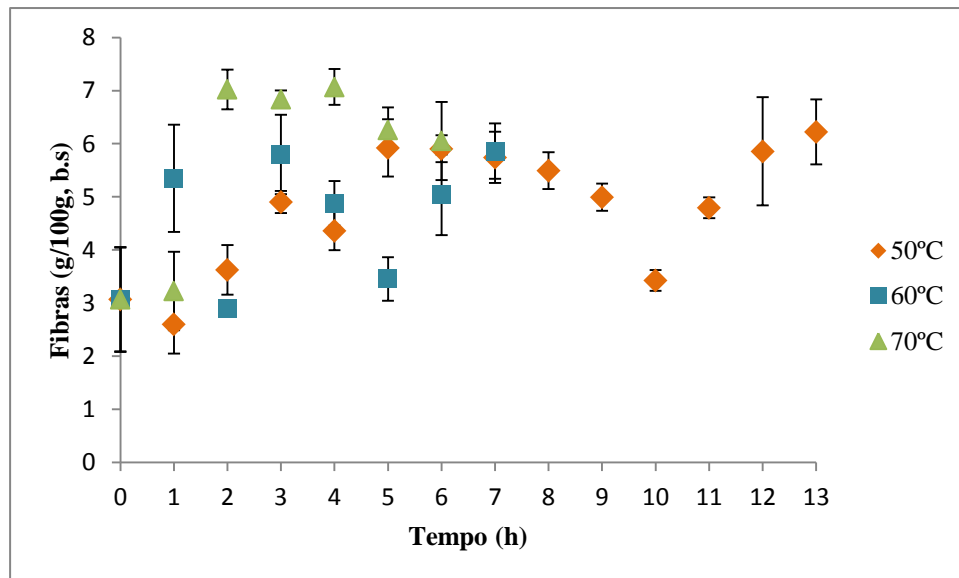
para a cenoura da mesma variedade estudada, cerca de 0,88 g/100g b.h, também Gopalan *et al* 1991 apresenta um valor semelhante, no entanto um pouco mais elevado, de 1,1 g/100g b.h.

Quanto aos resultados obtidos no final de cada secagem, verificou-se que são semelhantes, sendo de 5,97, 6,17 e 6,47 g/100g b.s. para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respetivamente. Verificou-se que não houve alterações significativas no teor de cinzas uma vez que os valores finais de cada secagem são semelhantes ao valor da amostra em fresco, ou seja, durante a secagem não ocorre alterações do teor de cinzas.

De acordo com o estudo realizado por Mota *et al.* 2010 verificou que na secagem da cebola a diferentes temperaturas também não houve alterações significativas no teor de cinzas.

#### 4.1.4. Fibras

A evolução do teor de fibras ao longo das secagens a diferentes temperaturas encontra-se na Figura 20.



**Figura 20.** Evolução do teor de fibras ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Pode observar-se na Figura 20 que há uma oscilação do teor de fibras ao longo das secagens, sendo esta mais significativa no caso da secagem a 60 °C. Na secagem a 50 °C verificou-se inicialmente um aumento até à sexta hora, seguindo-se um decréscimo até à décima hora e voltando a aumentar até ao fim da secagem. No caso da secagem a 70 °C o teor de fibras aumentou significativamente a partir da segunda hora, mantendo-se ligeiramente constante até ao fim da secagem. No entanto o teor de fibras não deveria oscilar ao longo das secagens, tal fato pode dever-se às condições do Dosi-fiber utilizado.

Na Tabela 11 encontram-se expressos em base seca os resultados obtidos para o teor de fibras, para a amostra em fresco e após as secagens.

**Tabela 11.** Teor de fibras, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem (50°C)	Secagem (60°C)	Secagem (70°C)
<b>Firbas (g/100g b.s.)</b>	3,07±0,98 <sup>b</sup>	6,22±0,61 <sup>a</sup>	5,86±0,52 <sup>a</sup>	6,05±0,74 <sup>a</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, p < 0,05).

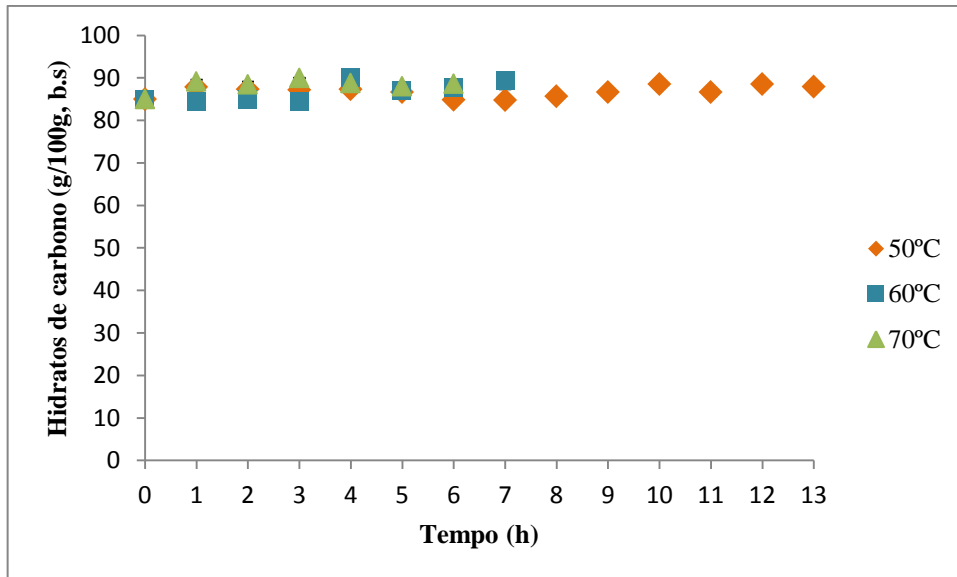
Para a cenoura em fresco observou-se um teor em fibras na ordem de 3,07 g/100g b.s, que corresponde a 0,40 g/100g b.h, sendo mais baixo em relação ao encontrado por Gopalan *et al.* (1991), ou seja, 1,20 g/100g b.h e também ao obtido por Holland *et al.* (1991), cerca de 2,40 g/100g b.h.

No que diz respeito ao produto final das secagens, verificou-se que há um aumento do teor de fibras, contudo os valores mantêm-se semelhantes nas três temperaturas. Obteve-se um teor de fibras de 6,22, 5,86 e 6,05 g/100g b.s para as temperaturas de secagem a 50, 60 e 70 °C, respetivamente.

A secagem de convecção pode provocar alterações intermediárias no conteúdo de fibras, podendo estas variar consoante as condições de temperatura e operação (Femenia *et al.*, 2009; Borchani *et al.*, 2011). Pode observar-se que as amostras secadas apresentaram valores superiores de fibra bruta, o que segundo Ogungbenle (2003) pode melhorar a digestibilidade e os processos de absorção.

#### 4.1.5. Açúcares

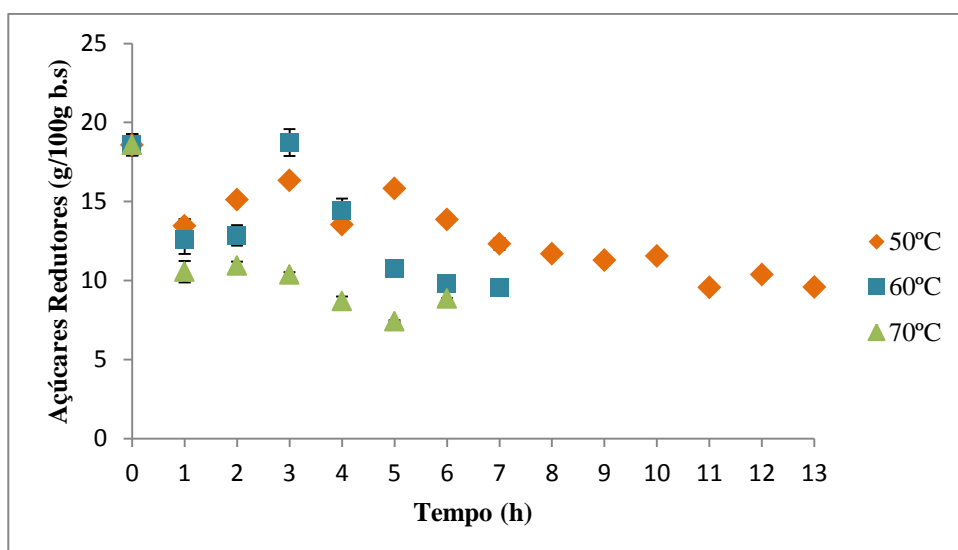
A Figura 21 apresenta os valores obtidos dos açúcares totais ao longo das secagens.



**Figura 21.** Evolução do teor de açúcares totais ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Pode observar-se que os hidratos de carbono nas três temperaturas utilizadas demonstraram um comportamento praticamente linear, havendo apenas um ligeiro aumento no início das secagens.

Na Figura 22 estão apresentados os valores obtidos dos açúcares redutores ao longo das secagens.

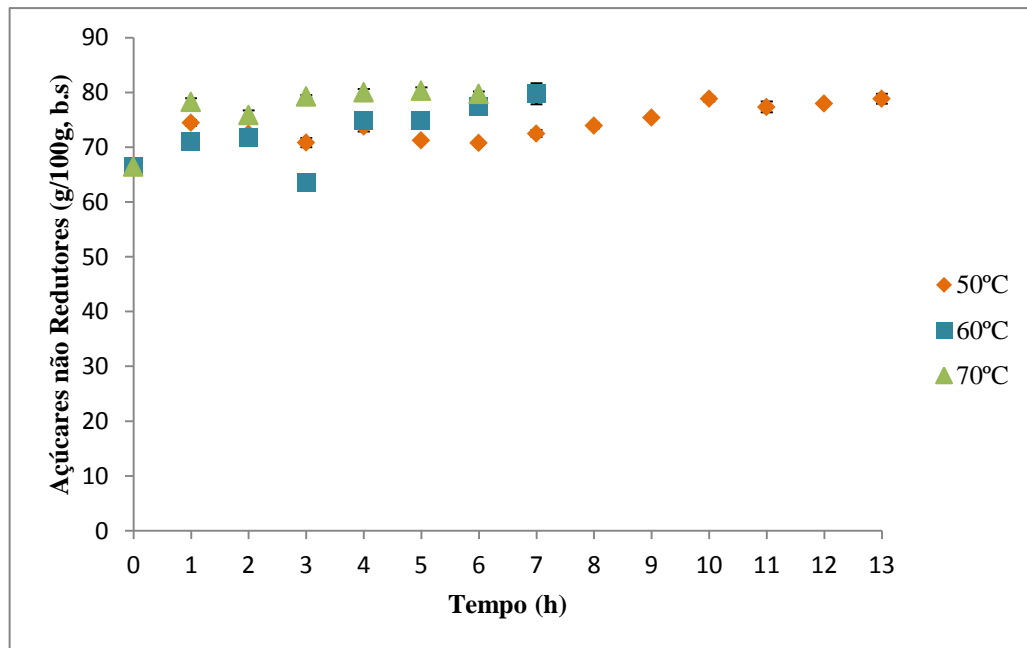


**Figura 22.** Evolução do teor de açúcares redutores ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Como se pode verificar na Figura 22 houve uma diminuição dos açúcares redutores para as três temperaturas utilizadas. Também para todas as temperaturas houve uma queda acentuada na primeira hora, seguida de um ligeiro aumento até à terceira hora. A partir desta verificou-se uma diminuição constante até ao final da secagem, sendo que a temperatura de secagem de 70 °C foi a que provocou uma maior diminuição ao longo do tempo de secagem, e a temperatura de secagem de 50 °C foi a que provocou uma menor diminuição.

A degradação dos açúcares com a secagem é devido aos processos de caramelização, assim como as reações de Maillard que ocorrem entre os açúcares e os aminoácidos presentes (Keramat & Nursten, 1994; Lan *et al.*, 2010).

A Figura 23 apresenta os valores obtidos dos açúcares não redutores ao longo das secagens.



**Figura 23.** Evolução do teor de açúcares não redutores ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Para as três secagens verificou-se um aumento do teor de açúcares não redutores na primeira hora, sendo este aumento maior na temperatura de secagem de 70 °C, esta temperatura foi também a que obteve valores mais elevados no decorrer da secagem. A temperatura de secagem de 50 °C foi a que obteve valores mais baixos no decorrer da secagem. Pode-se observar que a partir da primeira hora houve um aumento constante para todas as temperaturas.

Os resultados obtidos do teor de açúcares para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca encontram-se na Tabela 12.

**Tabela 12.** Teor de açúcares totais, redutores e não redutores, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem(50°C)	Secagem(60°C)	Secagem(70°C)
<b>Hidratos de Carbono (g/100g b.s.)</b>	85,01±0,57 <sup>b</sup>	87,94±0,91 <sup>a</sup>	89,27±1,97 <sup>a</sup>	88,66±0,43 <sup>a</sup>
<b>Açúcares Redutores(g/100g b.s.)</b>	18,58±0,67 <sup>a</sup>	9,58±0,05 <sup>b</sup>	9,52±0,13 <sup>b</sup>	8,85±0,02 <sup>b</sup>
<b>Açúcares Não Redutores(g/100g b.s.)</b>	66,43±1,08 <sup>b</sup>	78,84±0,89 <sup>a</sup>	79,76±1,92 <sup>a</sup>	79,69±0,46 <sup>a</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes, na mesma linha, significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

O valor obtido para os hidratos de carbono presentes na cenoura fresca foi de 85,01 g/100g b.s. que equivale a 11,04 g/100g b.h, sendo um valor semelhante ao encontrado por Gopalan *et al.* (1991), 10,6 g/100g b.h, no entanto é um valor mais elevado ao obtido por Branco *et al.* (2007) e Holland *et al.* (1991), ou seja, 3,21e 5.6 g/100g b.h, respetivamente.

Todas as secagens verificaram um aumento pouco significativo dos teores de hidratos de carbono: a temperatura de secagem de 60 °C foi a que verificou um maior aumento apresentando 89,27 g/100 g b.s. e a temperatura de 50 °C a que apresentou um menor aumento 87,94 g/100g b.s.

O que de acordo com Nijhuis (1998) a secagem de alimentos frescos leva a uma redução da água e, por conseguinte, uma maior concentração de componentes dissolvidos, tais como os açúcares devido à evaporação da água, no entanto depende do método utilizado na secagem.

Num estudo efectuado por Pastro *et al.* (2011) na secagem do abacaxi, a 50 °C e 60 °C, verificou também valores superiores de açúcares totais no abacaxi seco, em relação ao abacaxi fresco.

Quanto aos açúcares redutores a cenoura em fresco apresentou 18,58 g/100g b.s, que corresponde a 2,41 g/100g b.h, sendo um valor aproximado ao obtido por Branco *et al.* (2007), cerca de 2,94 g/100g b.h. e encontrando-se dentro dos valores encontrados também por Kaur *et al.* (1976) de 1,67-3,35 g/100g b.h.

Após a secagem observou-se uma diminuição significativa nos teores de açúcares redutores. No entanto, não houve diferenças entre as temperaturas de secagem, os valores oscilaram entre 8,85 e 9,58 g/100g b.s.

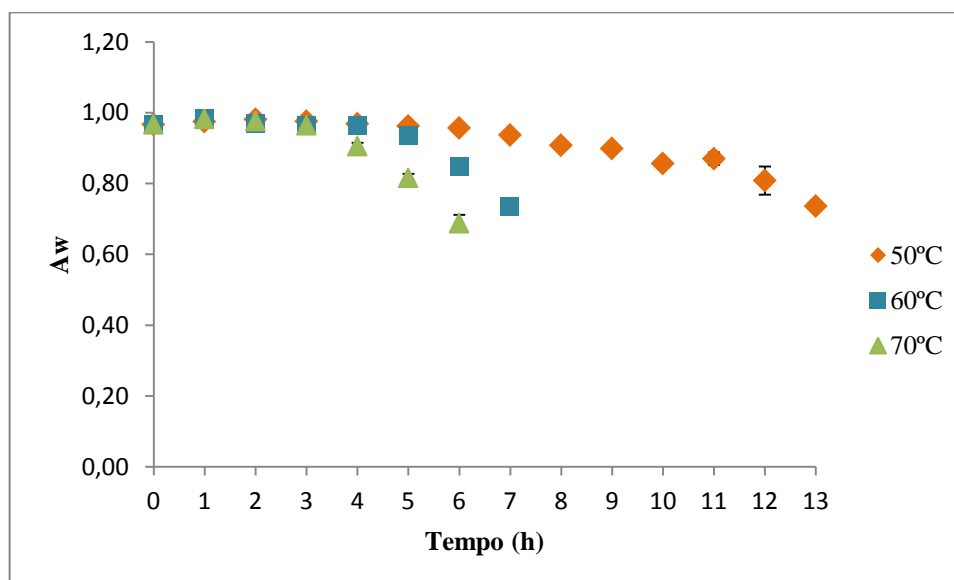
A perda de açúcares redutores também foi observada na batata por Hoover & Xander (1963) e Talburt & Smith (1975).

Segundo Araújo *et al.* (2004a), o efeito da temperatura alta associados à redução da atividade de água do alimento, resulta no aumento rápido da velocidade de escurecimento (reação de Maillard) afetando a composição do pigmento formado. Esta reação envolve açúcares redutores e aminoácidos (Baltes, 1982).

Os açúcares não redutores, para a cenoura em fresco obtiveram cerca de 66,43 g/100g b.s, que equivale a 8,62 g/100g b.h. Este valor encontra-se acima dos valores obtidos por Kaur *et al.* (1976) de 1,02-1,18 g/100g b.h.

#### 4.1.6. Atividade da Água

Na seguinte Figura encontra-se apresentada a evolução da  $a_w$  ao longo da secagem sob diferentes temperaturas.



**Figura 24.** Evolução da atividade da água ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Como se pode observar na Figura 24 a cenoura obteve valores da  $a_w$  muito semelhantes nas três temperaturas até à terceira hora. A partir desta na temperatura de 50 °C houve uma diminuição mais gradual ao longo do tempo, no caso das temperaturas de 60 °C e 70 °C houve uma diminuição semelhante, no entanto na temperatura de 70 °C esta foi mais acentuada.

Na Tabela 13 encontram-se expressos os valores da  $a_w$ , para a amostra em fresco e no fim das secagens.

**Tabela 13.** Atividade da água, na amostra em fresco e após as secagens a 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Fresca	Secagem(50°C)	Secagem(60°C)	Secagem(70°C)
<b>Aw</b>	0,97±0,00 <sup>a</sup>	0,74±0,01 <sup>b</sup>	0,74±0,01 <sup>b</sup>	0,69±0,02 <sup>c</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

Pode-se observar na Tabela 13 que a cenoura fresca apresentou um valor de 0,96 de  $a_w$ . Após as secagens foi observado uma redução na  $a_w$ , sendo que nos casos das temperaturas

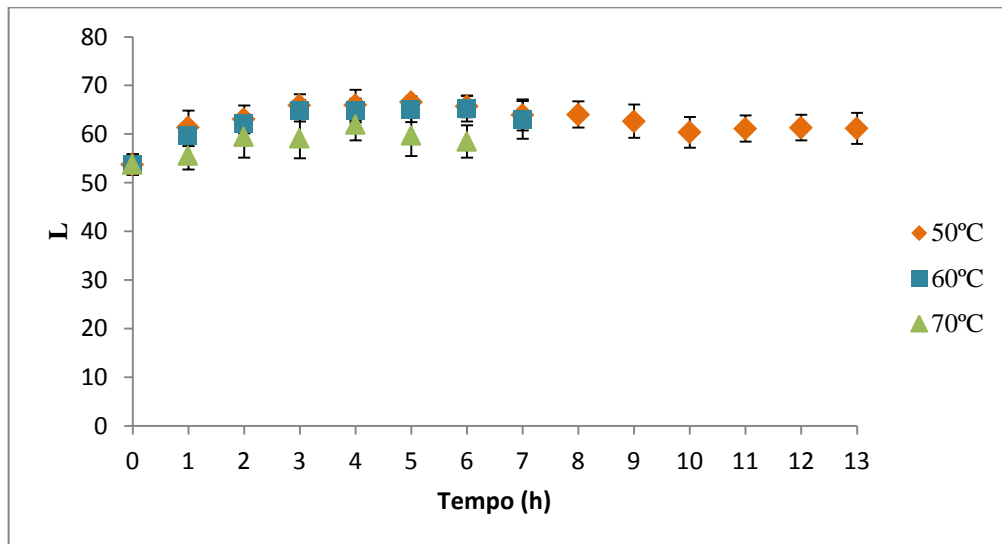
de 50 °C e 60 °C obteve-se um valor igual de 0,74 e na temperatura de 70 °C obteve um valor de 0,69.

Lima *et al.* (2004) estudou os melões desidratados osmoticamente submetidos à secagem em estufa a 65 °C, onde estes alcançaram uma  $a_w$  média de 0,733.

Sousa *et al.* (2003) analisou goiabas desidratadas osmoticamente e secas em estufa, onde obtiveram uma  $a_w$  desejada menor que 0,75 (valor que se encontra na faixa de alimentos de humidade intermediária, que varia de 0,65 a 0,85).

#### 4.1.7. Cor

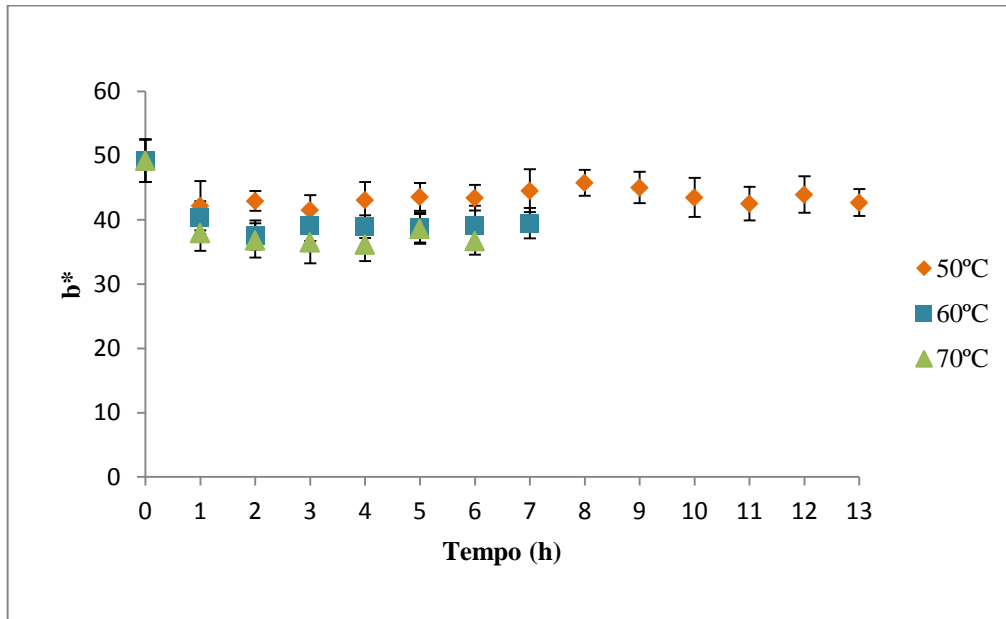
No gráfico da Figura 25 podemos ver a variação da luminosidade (L) no decorrer das secagens.



**Figura 25.** Evolução do parâmetro L ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

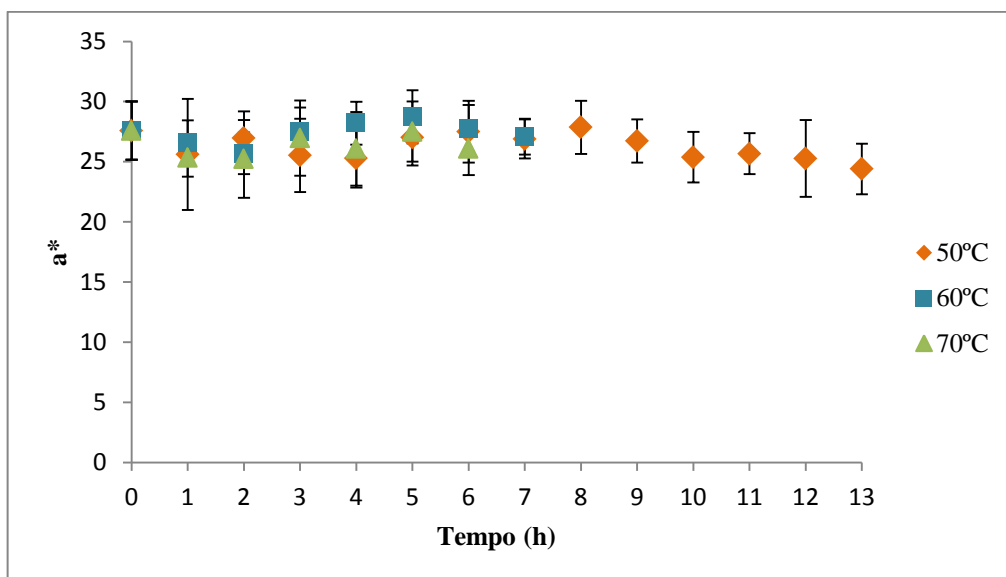
Pela análise do gráfico observou-se que há um aumento gradual da luminosidade (L) ao longo das secagens. Contudo para as temperaturas de 60 °C e 70 °C nas duas últimas horas da secagem houve um ligeiro decréscimo dos valores. No caso da temperatura de secagem de 50 °C também se verifica uma ligeira diminuição dos valores a partir da sexta hora, no entanto a partir da oitava hora os valores mantêm-se praticamente constantes até ao fim da secagem.

Para o parâmetro  $b^*$ , a variação ao longo da secagem encontra-se na Figura 26. Para o parâmetro  $b^*$  verificou-se o oposto da luminosidade, havendo uma diminuição deste parâmetro. Para as três temperaturas logo na primeira hora ocorre uma diminuição mais acentuada, mantendo posteriormente uma tendência constante até ao fim das secagens. Este parâmetro ao apresentar sempre valores positivos, indica que a tonalidade da cenoura situou-se na zona do amarelo.



**Figura 26.** Evolução do parâmetro b\* ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Em relação ao parâmetro a\*, este encontra-se caracterizado na Figura 27.



**Figura 27.** Evolução do parâmetro a\* ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Analisando os resultados obtidos para o parâmetro a\*, verificou-se que este é o parâmetro que sofreu uma menor alteração, mantendo-se todos muito semelhantes ao valor inicial. Para as três temperaturas a evolução é muito semelhante, no entanto a temperatura de 60 °C é a que apresenta uma maior alteração comparativamente com as outras.

Para as diferentes temperaturas de secagem, os valores de  $a^*$  são sempre positivos e mais perto do vermelho, devido ao seu tom laranja.

A Tabela 14 mostra os resultados relativos aos parâmetros da cor para as amostras em fresco e secadas.

**Tabela 14.** Parâmetros ( $L$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) da cor para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C).

Amostra	$L$	$a^*$	$b^*$
Fresca	53,74±2,07 <sup>c</sup>	27,59±2,41 <sup>a</sup>	49,19±3,31 <sup>a</sup>
Secagem (50°C)	61,19±3,21 <sup>a</sup>	24,40±2,11 <sup>b</sup>	42,70±2,11 <sup>b</sup>
Secagem (60°C)	62,93±3,89 <sup>a</sup>	27,09±1,49 <sup>a</sup>	39,50±2,38 <sup>c</sup>
Secagem (70°C)	58,50±3,31 <sup>b</sup>	26,08±2,19 <sup>ab</sup>	36,72±2,11 <sup>d</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes, na mesma coluna, significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

Analisando os resultados obtidos, constatou-se que a cenoura no estado fresco apresenta uma luminosidade ( $L^*$ ) inferior comparativamente às amostras secadas.

No parâmetro  $a^*$ , a cenoura fresca tem valores positivos e na zona do vermelho devido ao seu tom laranja forte. Quanto ao parâmetro  $b^*$ , verifica-se que esta é amarelada uma vez que apresenta valores positivos.

De acordo com Koley *et al.* (2013), a cenoura fresca, da mesma variedade (Nantes) apresentou os seguintes valores das coordenadas  $L^* = 63,27$ ,  $a^* = 10,60$  e  $b^* = 48,79$ , estando a luminosidade mais elevada em relação ao valor obtido e o parâmetro  $a^*$  mais baixo, no entanto o parâmetro  $b^*$  é muito semelhante ao valor obtido neste estudo.

No parâmetro  $a^*$ , houve uma diminuição dos valores das secagens comparativamente à amostra em fresco, sendo que a a secagem a 50°C foi a que provocou uma maior diminuição passando dos 27,59 para 24,40, sendo esta a diminuição mais significativa. A secagem a 60 °C provocou uma menor redução passando 27,59 para 27,09, sendo esta redução pouco significativa.

Para o parâmetro  $b^*$  também se verificou uma redução dos valores das secagens comparativamente à amostra em fresco, onde a secagem a 70 °C foi a provocou uma maior diminuição, alterando de 49,19 para 36,72. A secagem a 50 °C provocou uma menor redução, para 42,70.

No que diz respeito às secagens, verificou-se que a cenoura clareou, uma vez que os valores da luminosidade aumentaram para 61,19 para a secagem a 50 °C, 62,93 para a secagem a 60 °C e para 58,50 para a secagem a 70 °C. Há um maior escurecimento na secagem a 60 °C, uma vez que esta apresenta o maior valor obtido. No caso da secagem a 70 °C, foi a que provocou um menor escurecimento uma vez que apresenta um valor mais baixo entre as três temperaturas utilizadas.

A luminosidade ( $L^*$ ) tem sido utilizada por vários autores como um indicador da deterioração de vegetais (Rocha *et al.*, 2007).

De acordo com Howard *et al.* (1996), a luminosidade da cenoura é afetada pela temperatura da secagem, isto é, elevadas temperaturas originam uma coloração mais escura.

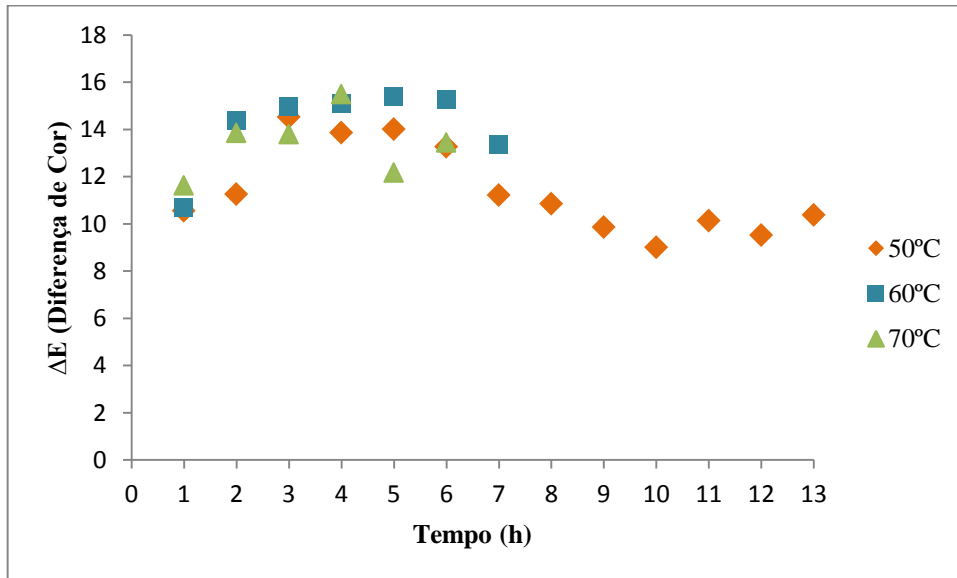
A secagem diminui os valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , isto resulta da degradação dos pigmentos da cor da cenoura durante a secagem, especialmente os carotenóides (Nahimana *et al.*, 2011).

Num estudo efectuado por Topuz *et al.* (2009) que consistia na desidratação do pimentão, obteve os mesmos resultados havendo apenas um aumento dos valores da luminosidade ( $L$ ), indicando uma aparência mais suave das amostras. Schweigger *et al.* (2005) também obteve resultados similares, que foi atribuído a um aumento dos pigmentos brilhantes.

A alteração da cor de um produto alimentar durante a secagem é uma indicação de quão severas podem ser as condições de secagem e está também relacionada com a composição/concentração dos pigmentos (Topuz *et al.*, 2009).

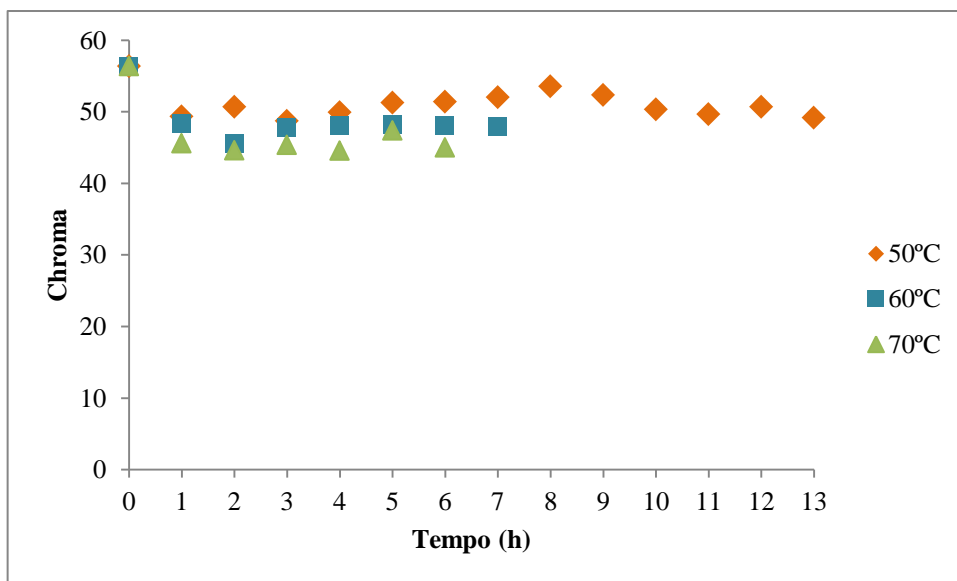
A Figura 28 apresenta os valores da diferença de cor ( $\Delta E$ ), que permite evidenciar as possíveis mudanças que ocorrem quando se compara um conjunto de coordenadas com um conjunto de referência, nomeadamente a amostra em fresco. Relativamente à diferença de cor ( $\Delta E$ ), constatou-se que a temperatura de secagem de 50 °C é a que provoca menos alterações, isto é, é a que apresenta valores mais baixos. A temperatura de 60 °C provoca maiores alterações, havendo da primeira hora para a segunda uma grande alteração, no entanto mantém-se posteriormente constante ao longo da secagem.

Estes resultados indicam que o ar de secagem provoca uma deterioração da cor das cenouras. Esta degradação resulta das oxidações e reações que ocorrem durante a secagem e que envolvem os açúcares, sendo consideradas mais intensas quando a velocidade do ar e as temperaturas são mais elevadas (Keramat & Nursten, 1994). Porém, também dependem do tempo de secagem.



**Figura 28.** Evolução da diferença de cor ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Na Figura 29 encontra-se a evolução do Chroma para a cenoura submetida a três temperaturas de secagem.

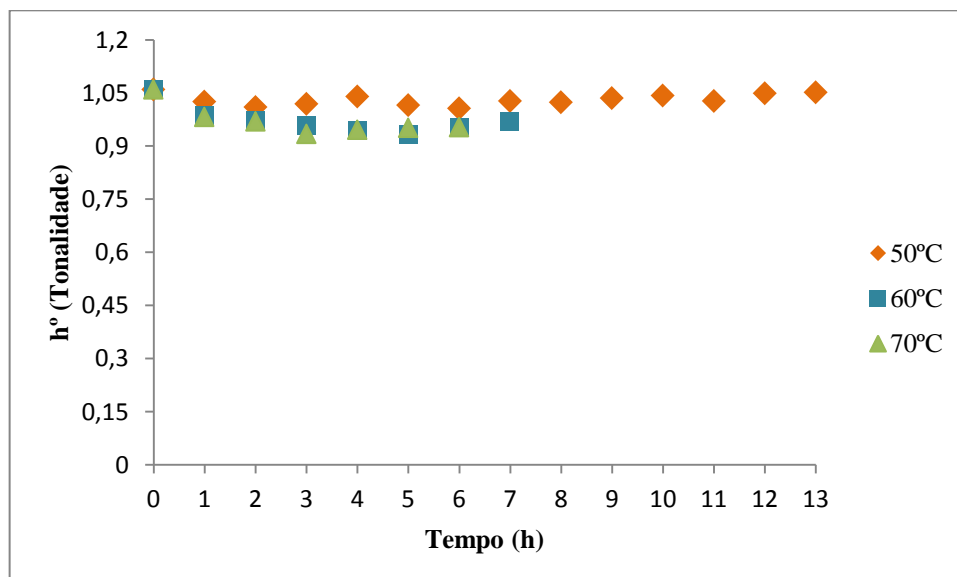


**Figura 29.** Evolução do chroma ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Pela análise da Figura 29, verificou-se que a evolução do chroma foi constante ao longo das secagens, sendo apenas notório uma diminuição mais significativa no início das

secagens. A secagem a 70 °C foi a que causou uma maior diminuição e a temperatura de 50 °C uma menor diminuição.

A evolução do parametro  $h^{\circ}$  ao longo das secagens encontra-se descrita na Figura 30.



**Figura 30.** Evolução da  $h^{\circ}$  ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Neste parâmetro verificou-se uma diminuição na primeira hora, no entanto, ao longo da secagem este manteve-se constante, para as três temperaturas. As temperaturas de 60 °C e 70 °C apresentaram variações semelhantes e sendo estas as que provocaram uma maior alteração, e a temperatura de 50 °C, foi a que provocou uma menor variação.

Os resultados da diferença de cor, chroma e  $h^{\circ}$  da cenoura em fresco e após as secagens encontram-se na Tabela 15.

**Tabela 15.** Diferença de cor, chroma e  $h^{\circ}$  para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50,60 e 70 °C).

Amostra	$\Delta E$	Chroma	$h^{\circ}$
Fresca	-	56,40	1,06
Secagem (50°C)	10,38	49,18	1,05
Secagem (60°C)	13,36	47,90	0,97
Secagem (70°C)	13,44	45,04	0,95

Relativamente à diferença de cor ( $\Delta E$ ), verificou-se que existe uma alteração na cor, sendo esta maior na secagem a 70 °C, no entanto, pouco difere da secagem a 60 °C variando

entre 13,44 e 13,36, respetivamente. A secagem a 50 °C é a que apresenta uma menor alteração na cor, obtendo um valor de 10,38.

Num estudo efectuado por Nahimana *et al.* (2011) na secagem da cenoura a 60 °C, obteve valores da diferença de cor mais elevados, nomeadamente 25,93.

O chroma ou intensidade da cor, obteve para a cenoura no estado fresco 56,40, este valor é elevado comparativamente ao valor encontrado por Koley *et al.* (2013) para a mesma variedade da cenoura, que obteve um chroma de 49,93. Este parametro sofreu uma redução com as secagens. Passando para 49,18 com a temperatura de 50 °C, 47,90 com a temperatura de 60°C e 45,04 com a temperatura de 70 °C. Verificou-se que a temperatura que provocou uma maior perda da intensidade da cor foi a de 70 °C. Num estudo efectuado por Guiné & Barroca (2012), sobre a secagem da pimenta verde a 70 °C, obteve resultados semelhantes com a diminuição do chroma relativamente à amostra em fresco.

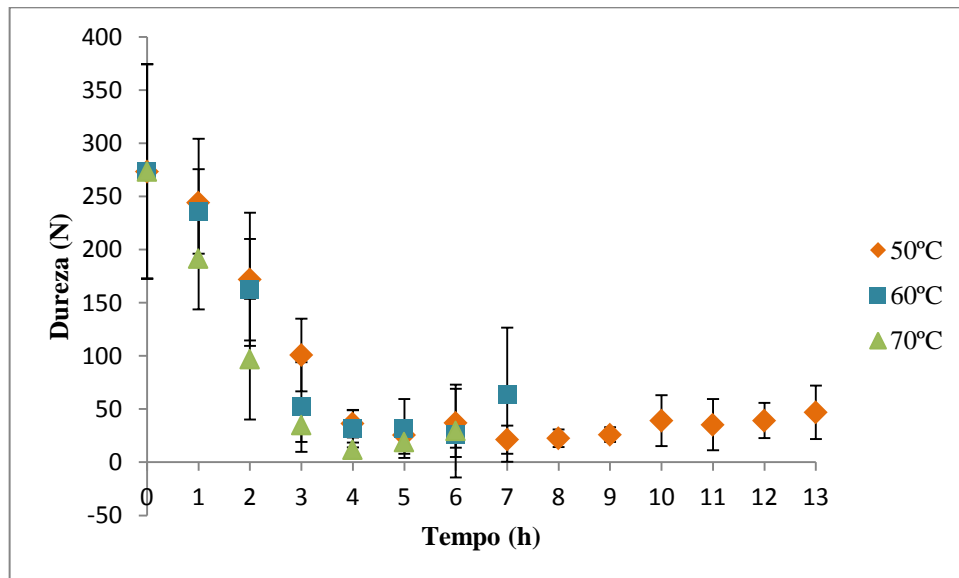
No que diz respeito ao h° que se refere à tonalidade, para a cenoura em fresco este obteve um valor de 1,06. Este valor sofreu uma pequena redução com as secagens, baixando para 1,05, 0,97 e 0,95 para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respetivamente.

Nahimana *et al.* (2011) efectuou um estudo sobre a secagem da cenoura, onde obteve valores do h° para a temperatura de secagem de 60 °C muito semelhante (0,92) ao valor obtido.

A reação de Maillard depende da temperatura e da duração do tratamento térmico (Chua *et al.*, 2002), assim com a secagem a temperaturas mais baixas dá origem a uma melhor retenção da cor que a temperaturas mais elevadas. De acordo com Ahmed *et al.* (2002) o calor induz modificações nos pigmentos carotenóides, resultando assim em mudanças de cor significativas nos alimentos.

#### 4.1.8. Textura

Na Figura 31 encontra-se a evolução da dureza ao longo das secagens a diferentes temperaturas.



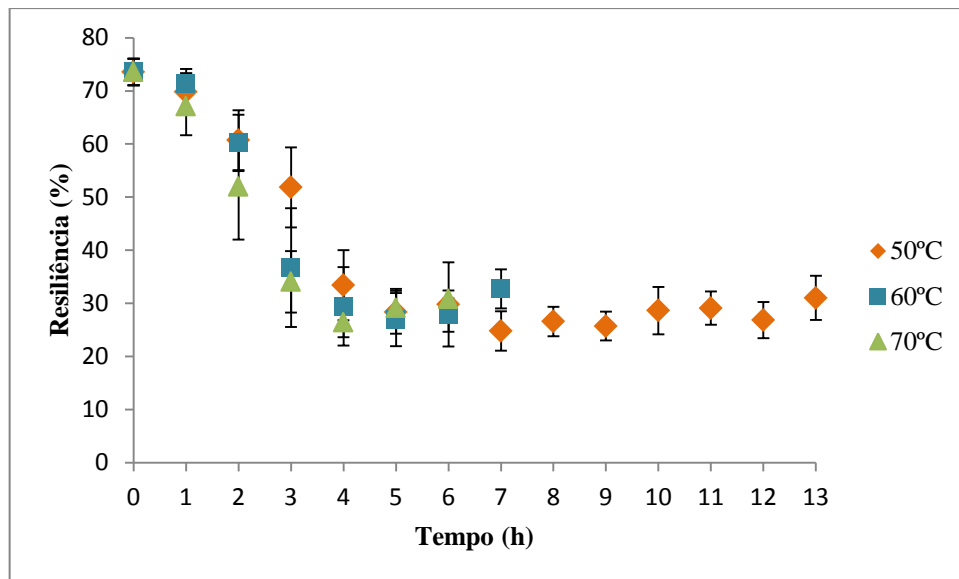
**Figura 31.** Evolução da dureza ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Pela análise da Figura 31, constatou-se que a dureza teve um comportamento similar em todas as secagens. Havendo inicialmente um grande decréscimo, até à quarta hora seguidamente começa a haver um ligeiro aumento, sendo este mais constante na secagem a 50 °C. No entanto, verificou-se que as secagens de 50 °C e 60 °C apresentam uma evolução muito próxima, enquanto na secagem a 70 °C houve uma alteração mais acentuada, no sentido de obter valores mais baixos.

A secagem rápida a altas temperaturas provoca maiores alterações na textura do que a secagem moderada a baixas temperaturas (Cañizares *et al.*, 2007). Isto acontece, porque à medida que a água é removida durante a secagem, os solutos movimentam-se do interior do alimento para a superfície. Nesta eles vão formar uma crosta impermeável dura, devido ao ar em altas temperaturas que causa mudanças químicas e físicas nos solutos da superfície de certos alimentos, como nas frutas (Fellows, 2000; Cañizares *et al.*, 2007; Gava *et al.*, 2009).

Este fenómeno, conhecido como endurecimento superficial, reduz a taxa de secagem e produz um alimento com uma superfície seca e um interior húmido (Fellows, 2000; Spoto, 2006).

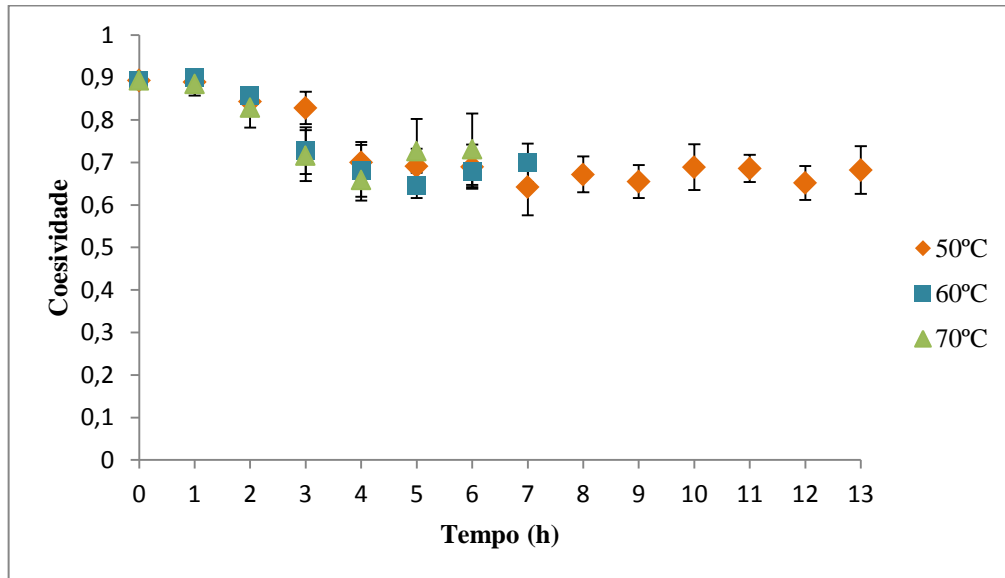
Na Figura 32 encontra-se demonstrada a evolução da Resiliência ao longo da secagem a diferentes temperaturas.



**Figura 32.** Evolução da resiliência ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

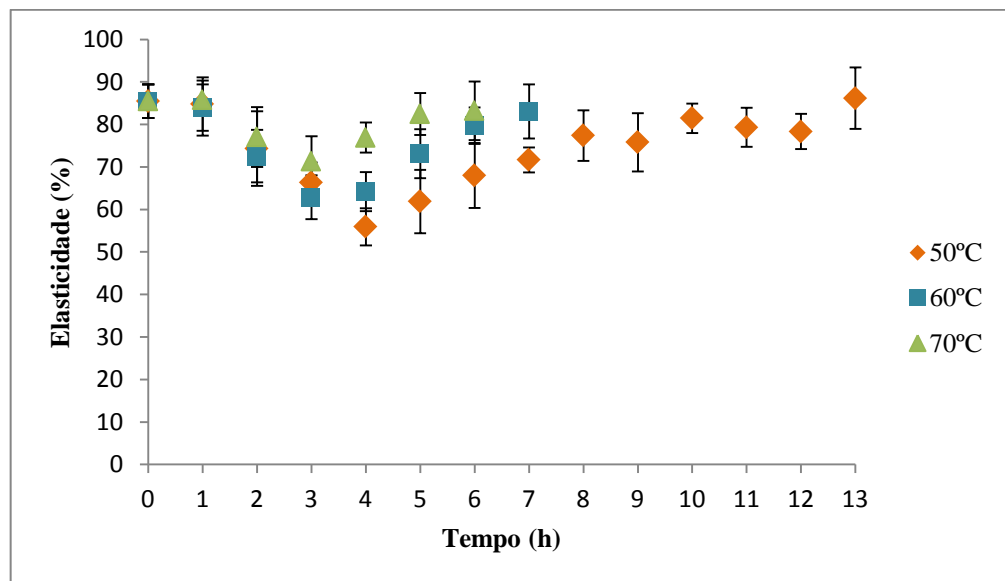
A resiliência teve um comportamento muito semelhante à dureza, na medida em que houve inicialmente uma diminuição, seguida de um ligeiro aumento. Todas as temperaturas apresentam uma evolução muito similar, sendo que a temperatura de secagem de 70 °C foi a que provocou uma maior alteração.

Na Figura 33 encontra-se a evolução da coesividade ao longo das secagens. Em relação à coesividade, verificou-se que as três temperaturas de secagem tiveram o mesmo comportamento ao longo do tempo. Verificou-se que houve uma ligeira diminuição nas primeiras horas e seguiu-se uma estabilização, sendo notório novamente que a temperatura de 70 °C é a temperatura que provoca uma maior alteração. Contudo, esta não é muito significativa comparada com as outras temperaturas de secagem.



**Figura 33.** Evolução da coesividade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Na Figura 34 encontra-se descrita a evolução da Elasticidade ao longo das secagens.

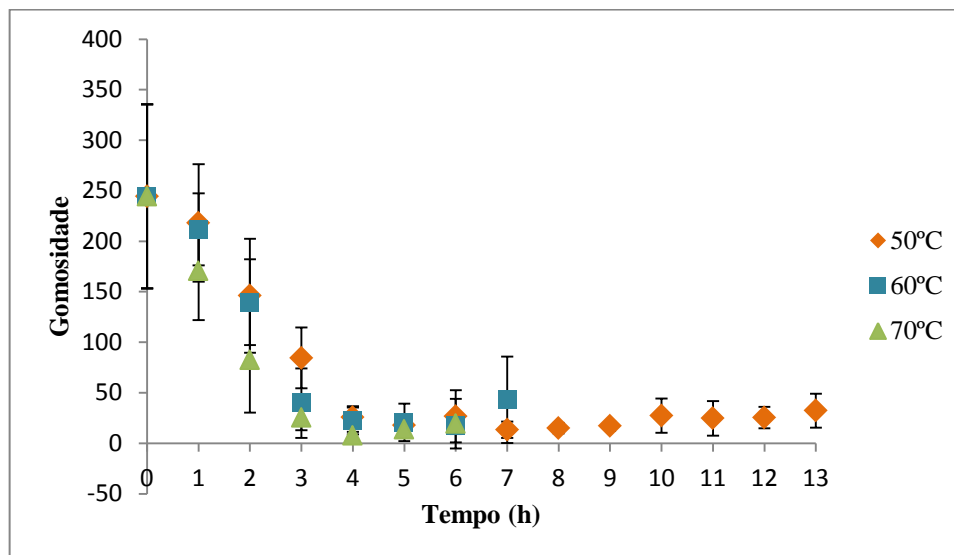


**Figura 34.** Evolução da elasticidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

O comportamento da elasticidade da cenoura ao longo da secagem foi semelhante nas três temperaturas, na medida em que demonstram inicialmente uma diminuição e após atingir um pico verifica-se um aumento até valores muito próximos da cenoura no estado fresco. A

temperatura de 70 °C obteve valores mais elevados, seguido da temperatura de 60°C e depois da de 50 °C.

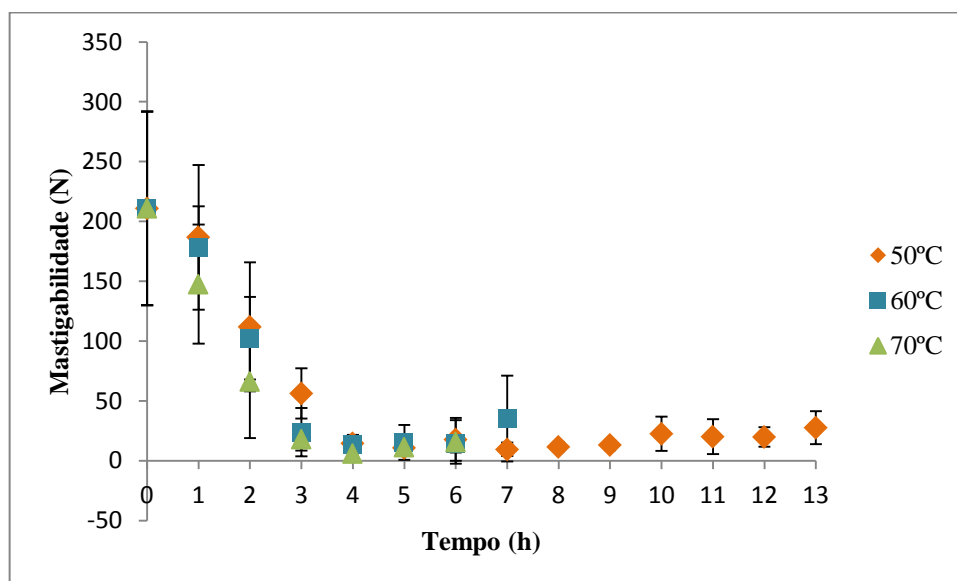
A evolução da gomosidade ao longo das secagens encontra-se representada na Figura 35.



**Figura 35.** Evolução da gomosidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

A gomosidade aparenta um comportamento também muito semelhante à dureza e resiliência, havendo também inicialmente uma diminuição seguida de estabilização. A temperatura de 70 °C volta a ser a que mais alterações provoca e a temperatura de 50 °C a que provoca menos.

Na Figura 36 encontra-se a evolução da mastigabilidade ao longo das secagens. A mastigabilidade também apresenta um comportamento similar ao da dureza, resiliência e gomosidade, na medida em que inicialmente verificou-se uma grande diminuição da mastigabilidade, seguidamente manteve-se ligeiramente constante a partir da quarta hora, para todas as temperaturas. A temperatura de 70 °C foi a que provocou uma maior alteração.



**Figura 36.** Evolução da mastigabilidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Na Tabela 16 encontram-se os valores de todos estes parâmetros da textura da cenoura, em fresco e para as amostras resultantes do final das secagens a diferentes temperaturas.

**Tabela 16.** Parâmetros da textura para a amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Amostra	Fresca	Secagem 50 °C	Secagem 60 °C	Secagem 70 °C
<b>Dureza (N)</b>	273,43±100,94 <sup>a</sup>	46,85±25,15 <sup>b</sup>	63,51±63,04 <sup>b</sup>	29,37±43,59 <sup>b</sup>
<b>Resiliência (%)</b>	73,54±2,51 <sup>a</sup>	31,05±4,18 <sup>b</sup>	32,74±3,68 <sup>b</sup>	30,85±1,57 <sup>b</sup>
<b>Coesividade</b>	0,89±0,01 <sup>a</sup>	0,68±0,06 <sup>b</sup>	0,70±0,05 <sup>b</sup>	0,73±0,08 <sup>b</sup>
<b>Elasticidade (%)</b>	85,48±3,97 <sup>a</sup>	86,18±7,23 <sup>a</sup>	83,05±6,38 <sup>a</sup>	83,18±6,89 <sup>a</sup>
<b>Gomosidade</b>	244,52±91,14 <sup>a</sup>	32,27±16,86 <sup>b</sup>	43,03±42,78 <sup>b</sup>	19,35±24,61 <sup>b</sup>
<b>Mastigabilidade (N)</b>	210,94±80,94 <sup>a</sup>	27,63±13,73 <sup>b</sup>	35,26±35,94 <sup>b</sup>	15,61±18,14 <sup>b</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes, na mesma linha, significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

A dureza é a força necessária para comprimir um alimento entre os molares (para sólidos) ou entre a língua e o palato (semi-sólidos) (Rosenthal, 1999).

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que a amostra em fresco apresenta valores da dureza muito superiores às amostras secadas, apresentando um valor de 273,43 N.

A cenoura é constituída principalmente por dois tipos de tecidos: o floema e o xilema, sendo a estrutura destes a responsável de elevados valores da dureza e mastigabilidade da cenoura (Sanjuán *et al.*, 2005).

Em relação as secagens verificou-se que a secagem a 70 °C foi a que obteve um valor mais baixo, 29,37 N, enquanto que a secagem a 60 °C foi a que obteve um valor mais elevado, 63,51 N. A secagem a 50 °C obteve um valor de 46,85 N. No entanto, apesar das diferenças entre as secagens estas não são significativas. Observou-se que com o aumento da temperatura de 50 °C para 60 °C houve um aumento da dureza. Num estudo efetuado por Duarte (2012), sobre a secagem de pêras e maçãs, verificou também para ambos os frutos um aumento da dureza com o aumento da temperatura de secagem (de 50 °C para 60 °C).

No caso da resiliência, também se verificou que a amostra em fresco apresenta um valor superior em relação com às amostras secadas, apresentando um valor de 73,54 %. Com as secagens observou-se uma diminuição significativa. Foram obtidos valores de 31,05 % para a secagem a 50 °C, 32,74 % para a secagem a 60 °C e 30,85 % para a secagem a 70 °C, sendo a secagem a 70 °C a que apresentou um valor mais baixo, embora esta diferença não seja significativa.

A coesividade é a força das ligações internas que compõem o alimento e que o mantém coeso (Rosenthal, 1999). A cenoura em fresco obteve um valor de 0,89 para a coesividade, e com as secagens observou-se também uma diminuição dos valores. Foram obtidos valores de 0,68 para a secagem a 50 °C, 0,70 para a secagem a 60 °C e 0,73 para a secagem a 70 °C. Com o aumento da temperatura de secagem verificou-se um aumento da coesividade, apesar de os valores serem mais baixos que a amostra em fresco. Com a secagem a cenoura torna-se menos coesa.

A elasticidade é definida como a capacidade de um alimento recuperar a sua forma original depois de retirada a força de compressão (Rosenthal, 1999). No que diz respeito a este parâmetro, verificou-se que se mantém muito semelhante entre a amostra em fresco e as amostras secadas, não sendo visíveis alterações significativas. Num estudo efectuado por Duarte (2012) obteve resultados semelhantes na secagem da maçã e da pêra em que não foram praticamente alterados com a temperatura de secagem.

Em relação à gomosidade, a cenoura fresca apresenta um valor muito elevado, 244,52 comparativamente aos valores obtidos com as secagens. Assim sendo, com as secagens a gomosidade da cenoura diminuiu, obtendo um valor de 32,27 para a temperatura de secagem de 50 °C, 43,03 para a temperatura de secagem de 60 °C e 19,35 para a temperatura de

secagem de 50 °C. Verificou-se que houve um aumento da gomosidade da temperatura de 50 para 60 °C e a temperatura de secagem de 70 °C foi a que provocou uma maior diminuição da gomosidade.

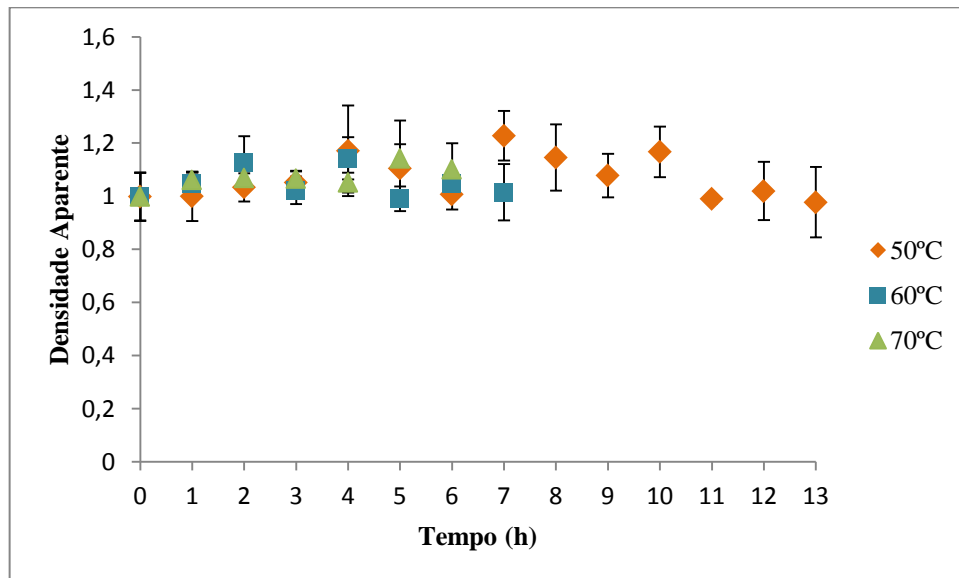
A mastigabilidade designa-se pela energia necessária para desintegrar um alimento sólido até ao ponto de ser engolido (Gunasekaran & Ak, 2003). Este parâmetro apresentou um comportamento semelhante à dureza, resiliência e gomosidade, em que houve uma grande diminuição com as secagens. Também a cenoura fresca obteve um valor mais elevado, 210,94 N, e a temperatura de secagem de 70 °C foi a que provocou uma maior diminuição, para 15,71 N. Houve também um aumento da mastigabilidade da temperatura de secagem de 50 para 60 °C, obtendo um valor de 27,63 N e 35,23 N, respetivamente.

A adesividade é um parâmetro que se refere à quantidade de força requerida para simular o trabalho necessário que sobreponha as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contacto com este (Gunasekaran & Ak, 2003), ou seja é força necessária para remover o material que adere a uma superfície. Quanto a este parâmetro, as amostras possuem valores muito próximos do zero, levando assim a concluir que não possuem efetivamente adesividade mensurável, como acontece com outros produtos alimentares, caso das pêras (Guiné, 2011) ou das maçãs (Guiné *et al.*, 2011).

As propriedades de textura variam, principalmente, com os teores de humidade e gordura, os tipos e quantidade de hidratos de carbono estruturais (celulose, amidos, materiais pécticos) e as proteínas do alimento. As modificações na textura são provocadas pela perda de humidade ou gordura, formação ou quebra de emulsões e géis, hidrólise de hidratos de carbono e hidrólise ou coagulação de proteínas (Fellows, 2000). A velocidade e a temperatura de secagem possuem um efeito substancial na textura dos alimentos (Spoto, 2006). Os principais parâmetros que afetam a textura dos vegetais são: a estrutura da parede celular, turgor celular, o conteúdo de água e os componentes bioquímicos (Harker *et al.*, 1997).

#### 4.1.9. Densidade Aparente

Na Figura 37 pode observa-se a evolução da densidade aparente ao longo da secagem às três temperaturas.



**Figura 37.** Evolução da densidade aparente ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Como se pode verificar na Figura 37 que inicialmente há um ligeiro aumento da densidade aparente até à segunda hora de secagem no caso da temperatura de 60 e 70 °C e até à quarta hora na temperatura de 50 °C. Seguidamente sofre oscilações até ao final das secagens, sendo o valor no final das secagens ligeiramente mais elevado, à excepção da temperatura de 50 °C.

Na Tabela 17 encontram-se expressos os valores finais da densidade aparente de cada secagem.

**Tabela 17.** Densidade aparente na amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C)

Amostra	Fresca	Secagem (50°C)	Secagem (60°C)	Secagem (70°C)
<b>Densidade aparente</b>	0,999 ±0,09 <sup>a</sup>	0,978±0,13 <sup>a</sup>	1,015±0,11 <sup>a</sup>	1,101±0,10 <sup>a</sup>

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

De acordo com a Tabela 17, verificou-se que a cenoura fresca apresentou uma densidade aparente de 0,999. Este valor encontra-se ligeiramente abaixo do valor encontrado por Srikiatden & Roberts (2008), ou seja, 1,079.

Após as secagens, observou-se uma diminuição da densidade aparente para 0,978 na temperatura de 50 °C, no entanto esta diminuição não é significativa. No caso das temperaturas de 60 e 70 °C houve um aumento, para 1,015 e 1,101 respetivamente, também estas alterações não significativas.

#### 4.1.10. Porosidade

A apresentação dos resultados foi dividida, de modo a facilitar a sua interpretação. Assim, primeiramente serão apresentados os resultados obtidos para a determinação da massa específica dos sólidos,  $\rho_s$ , sendo de seguida analisado o gráfico de variação do volume específico com a humidade, os parâmetros do modelo de Zogzas *et al.* (1994b),  $\rho_{b0}$  e  $\beta$  e por fim  $\rho_b$ ,  $\rho_p$ , e  $\varepsilon$ .

#### Massa específica dos sólidos, $\rho_s$

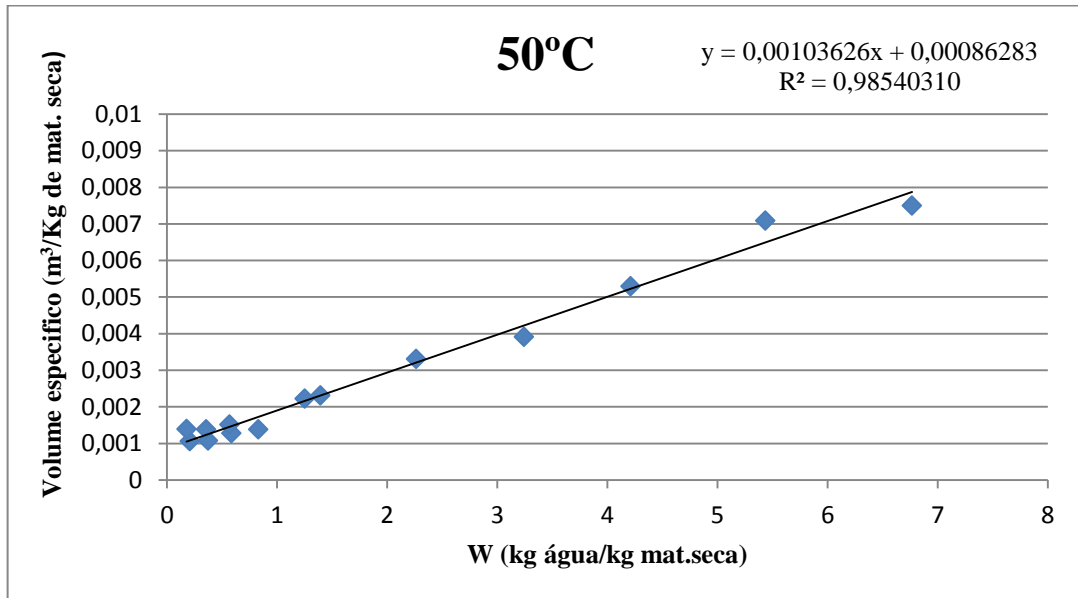
O valor da massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ) obtido a partir da cenoura após total eliminação da água, conforme descrito anteriormente encontra-se na Tabela 18.

**Tabela 18.** Valor da massa específica da cenoura.

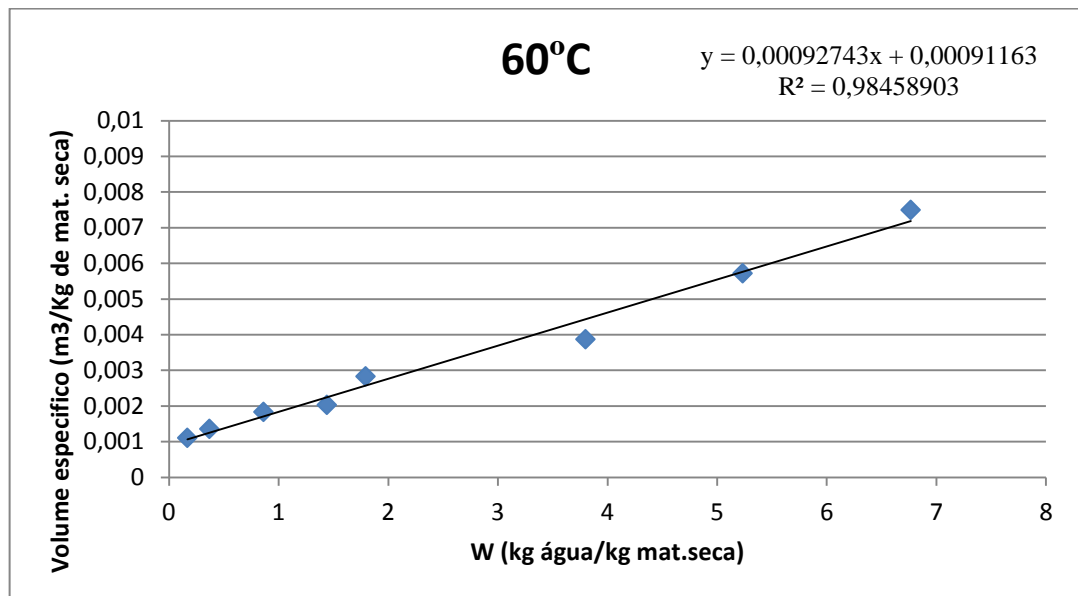
Amostra	$\rho_s$ (kg.m <sup>-3</sup> )
Secagem (50°C)	1231,58
Secagem (60°C)	1283,75
Secagem (70°C)	1213,83

#### Volume específico

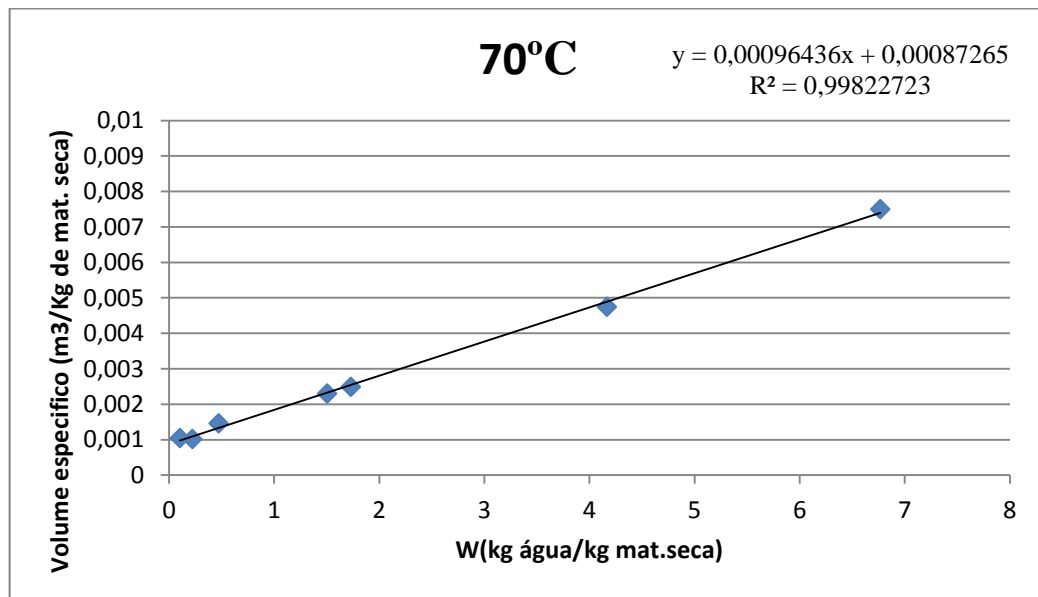
Nas Figuras 38 a 40 é apresentada a variação do volume específico com o conteúdo de humidade para as três temperaturas sendo possível observar a forte linearidade entre estas duas propriedades,



**Figura 38.** Variação do volume específico com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 50 °C.



**Figura 39.** Variação do volume específico com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 60 °C.



**Figura 40.** Variação do volume específico com o conteúdo de umidade, para a temperatura de 70 °C.

### Estimativa dos parâmetros do modelo

O modelo de Zogzas (Zogzas, 1994) permite fazer previsões dos valores da porosidade ( $\epsilon$ ) e das massas específicas *bulk* e das partículas ( $\rho_b$  e  $\rho_p$ ) se forem conhecidos os valores da massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ), da massa específica *bulk* a umidade zero ( $\rho_{b0}$ ), da massa específica da água no interior do alimento ( $\rho_w$ ) e do coeficiente de encolhimento volumétrico ( $\beta$ ).

Como foi anteriormente apresentado, o valor de  $\rho_s$  foi determinado experimentalmente, tendo-se obtido o valor de  $1231,58 \text{ kg/m}^3$ . Aplicada a regressão linear da forma  $y = a + b x$  aos dados experimentais do volume específico em função da umidade (Equação 3.20), obtiveram-se os valores da ordenada na origem e do declive, a partir dos quais foram então calculados  $\rho_{b0} = 1/a$  e  $\beta = b/a$ . Por outro lado, conhecidos  $\rho_{b0}$  e  $\beta$  pôde-se finalmente calcular  $\rho_w$  a partir da Equação (2.15),  $\beta = \rho_{b0}/\rho_w$ .

Na Tabela 19 são apresentados todos os parâmetros do modelo. A comparação dos resultados obtidos para  $\rho_{b0}$  e  $\beta$  com os encontrados na literatura para outros frutos é difícil uma vez que estes parâmetros dependem não apenas do tipo de fruto mas também do método e das condições de secagem utilizadas (Krokida, 1997; Rahman, 2001). Contudo, é possível verificar que o valor encontrado para a massa específica da água no interior do alimento ( $\rho_w = 1007 \text{ kg/m}^3$ ) é ligeiramente superior ao da água pura, estando em concordância com o observado por Zogzas *et al.*, (1994b).

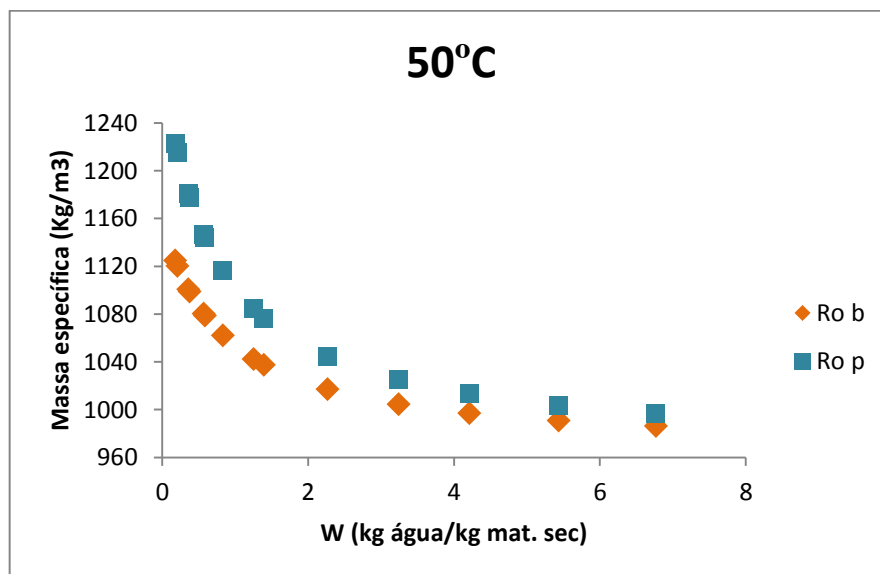
**Tabela 19.** Parâmetros do modelo de Zogzas *et al* (1994b) para o caso da cenoura.

<b>Regressão</b>	a (ordenada na origem)	$8,63 \times 10^{-4}$	$9,12 \times 10^{-4}$	$8,73 \times 10^{-4}$
	b (declive)	$1,04 \times 10^{-3}$	$9,27 \times 10^{-4}$	$9,64 \times 10^{-4}$
<b>Parâmetros</b>	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1283,75	1213,83	1231,58
	$\rho_{b0}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1158,98	1096,94	1145,93
	$\beta$	1,20	1,02	1,11
	$\rho_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	965,00	1078,25	1036,96

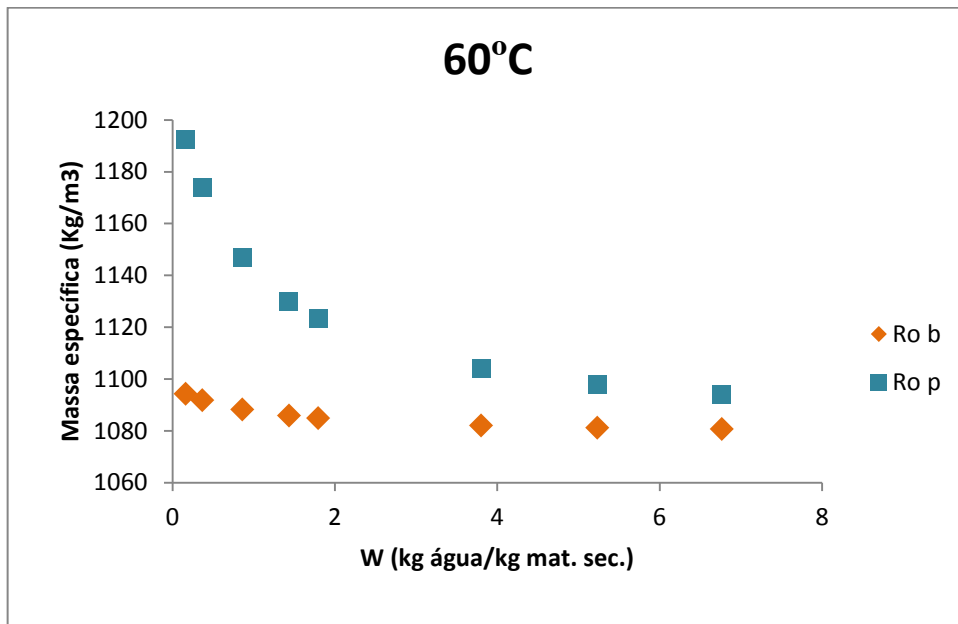
### Previsões de $\rho_b$ e $\rho_p$

Substituindo os valores dos parâmetros da Tabela 19 nas Equações (12.1) e (12.3) obtêm-se então as funções que relacionam as massas específicas,  $\rho_b$  e  $\rho_p$ , com o conteúdo de humidade.

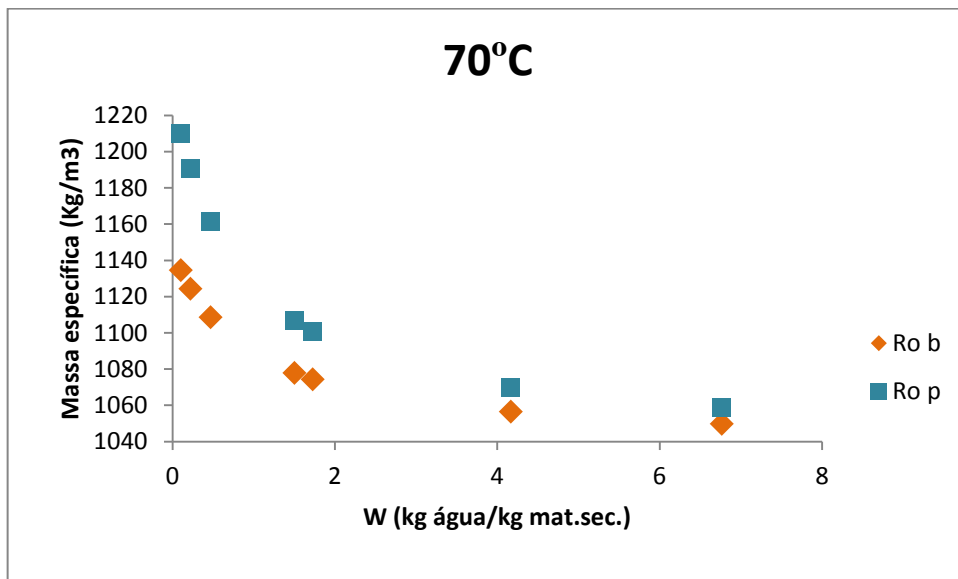
Nos gráficos das Figuras 41 a 43 são apresentadas as previsões das variações da massa específica e das partículas ( $\rho_b$  e  $\rho_p$ , respetivamente) com o conteúdo de humidade, tendo  $\rho_b$  e  $\rho_p$  sido calculados pelas Equações (12.1) e (12.3). Verifica-se que tanto  $\rho_b$  como  $\rho_p$  aumentam exponencialmente com a remoção da água, culminando respetivamente nos valores do  $\rho_{b0}$  e  $\rho_s$  quando o conteúdo de água é nulo. Para teores de humidade em relação à matéria seca superiores a 3,  $\rho_b$  e  $\rho_p$  variam muito pouco, e tendem a aproximar-se um do outro, evidenciando uma porosidade muito baixa nessa gama de humidades.



**Figura 41.** Variação das massas específicas ( $\rho_b$  e  $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 50 °C.



**Figura 42.** Variação das massas específicas ( $\rho_b$  e  $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 60 °C.



**Figura 43.** Variação das massas específicas ( $\rho_b$  e  $\rho_p$ ) com a humidade, para a temperatura de 70 °C

### Previsões de $\epsilon$ obtidas com o modelo

Por fim, a partir da Equação (12) deduz-se a função que relaciona a porosidade com o conteúdo de humidade do alimento, depois de conhecidos  $\rho_b$  e  $\rho_p$ :

Nos gráficos das Figuras 44 à 46 são apresentadas as variações da porosidade com o conteúdo de humidade, tendo  $\epsilon$  sido calculado pela Equação (12).

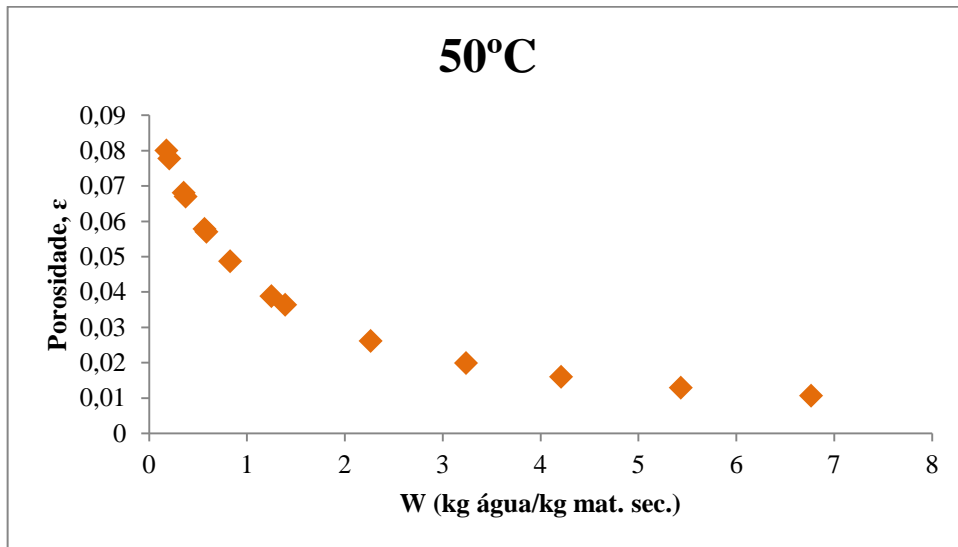


Figura 44. Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 50 °C.

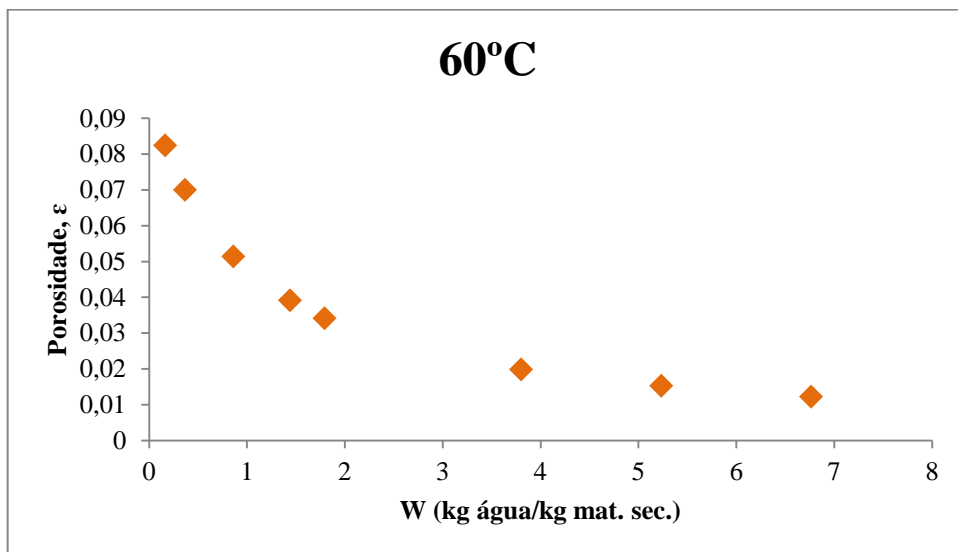
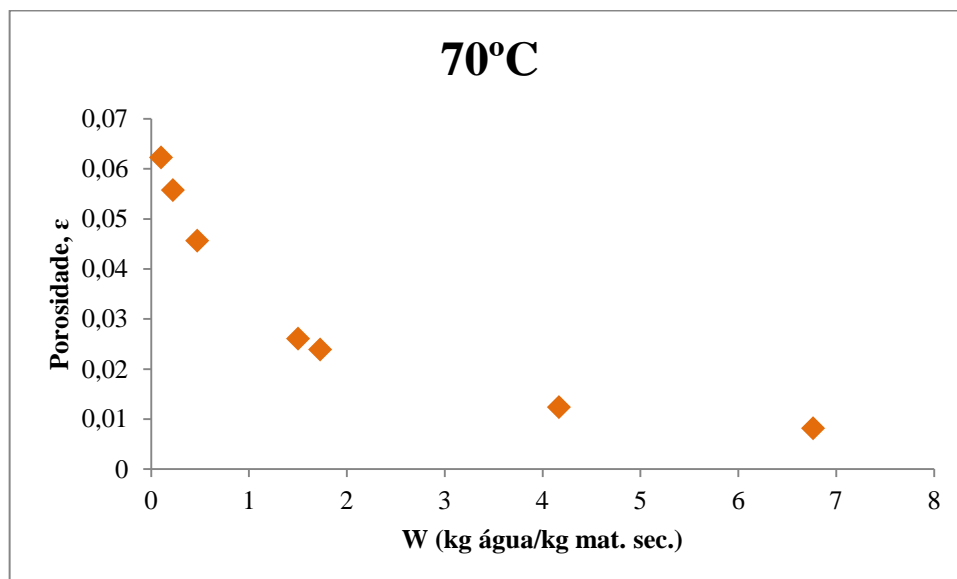


Figura 45. Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 60 °C.



**Figura 46.** Variação da porosidade com o conteúdo de humidade, para a temperatura de 70 °C.

Pode-se verificar pela análise dos gráficos das Figuras (44, 45 e 46) que a cenoura desenvolve porosidades muito baixas, e observou-se ainda que ao longo da secagem esta aumenta com a diminuição da humidade.

Num estudo efetuado por Bai *et al.* (2002) sobre a secagem de maçãs, verificou o mesmo resultado, isto é que a porosidade da maçã aumentou com a diminuição da humidade durante a secagem a 60 °C.

A porosidade dos alimentos sofre alterações durante a secagem, que dependem de sua composição, em particular o seu teor de humidade, e também o tamanho do produto e as condições de secagem utilizadas (Rahman, 2001).

## 4.2. Análise das Propriedades Termofísicas

A análise das propriedades termofísicas foi dividida, no sentido em que primeiro se calculou o coeficiente de transferência de calor e de massa do ar e seguidamente as propriedades termofísicas da cenoura.

### 4.2.1. Coeficiente de transferência de calor e Coeficiente de transferência de massa

Determinou-se o coeficiente de transferência de calor para as três temperaturas utilizadas, sendo antes necessário a determinação das propriedades térmicas do ar nas diferentes temperaturas (Tabela 20), no entanto só se encontraram os valores para  $\rho_{ar}$ ,  $k_{ar}$  e  $c_p$  para as temperaturas de 40, 60 e 80 °C, e para  $\mu_{ar}$  para as temperaturas de 0, 20 e 100 °C, tendo por esse motivo sido feitas interpolações para as temperaturas desejadas, à exceção do  $\alpha_{ar}$  que se determinou pela equação 22.4.

**Tabela 20.** Propriedades térmicas do ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

T(°C)	$\rho_{ar}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu_{ar}$ (Ns/m <sup>2</sup> )	$k_{ar}$ (W/mK)	$c_p$ (J/kgK)	$\alpha_{ar}$ (m <sup>2</sup> /s)	$D_m$ (m <sup>2</sup> /s)
50 °C	1095,2	$2,25 \times 10^{-4}$	0,0278	1006,7	$2,52 \times 10^{-8}$	$2,00 \times 10^{-5}$
60 °C	1063,2	$2,30 \times 10^{-4}$	0,0285	1007,7	$2,66 \times 10^{-8}$	$2,00 \times 10^{-5}$
70 °C	1031,2	$2,35 \times 10^{-4}$	0,0292	1008,7	$2,81 \times 10^{-8}$	$2,00 \times 10^{-5}$

Após a obtenção destes valores determinou-se o número de Nussel pela equação 22.1 e o Reynolds pela equação 22.2. Para determinar o número de Reynolds é necessário conhecer o diâmetro do secador e a velocidade do ar:  $d_{sec} = 0,6$  m e  $v_{ar} = 0,2$  m/s. Seguidamente calculou-se o coeficiente de transferência de calor ( $h_c$ ) pela equação 22 e o coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) pela equação 22.3, sendo que os valores obtidos se encontram na Tabela 21.

**Tabela 21.** Reynolds, número de Nussel,  $h_c$  e  $h_m$  para o ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

T (°C)	Re	Nu	$h_c$ (W/m <sup>2</sup> K)	$h_m$ (kg/m <sup>2</sup> s)
50°C	$5,84 \times 10^5$	$1,07 \times 10^3$	49,42	$3,84 \times 10^{-3}$
60°C	$5,55 \times 10^5$	$1,03 \times 10^3$	49,12	$3,79 \times 10^{-3}$
70°C	$5,26 \times 10^5$	$1,00 \times 10^3$	48,78	$3,74 \times 10^{-3}$

Na Tabela 22 encontram-se os valores do calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica e da entalpia, para a cenoura, em função da temperatura de secagem, obtidos pelo programa Costherm.

**Tabela 22.** Propriedades termofísicas para amostra em fresco e após a secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Amostra	$c_p$ kJ/(kg.K)	k W/(m.K)	Difusividade m <sup>2</sup> /s	Entalpia (J/kg)
Fresca	3,90	0,5243	$1,50 \times 10^{-7}$	233
Secagem (50°C)	2,02	0,2829	$1,09 \times 10^{-7}$	97
Secagem (60°C)	2,06	0,2889	$1,09 \times 10^{-7}$	118
Secagem (70°C)	1,99	0,2782	$1,06 \times 10^{-7}$	130

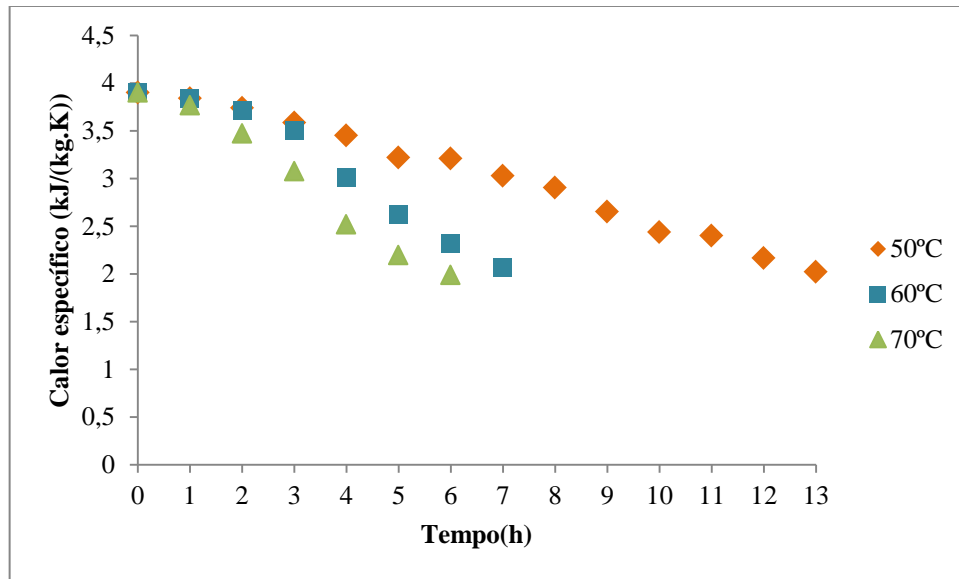
A cenoura no estado fresco apresentou um calor específico de 3,90 kJ/(kg.K), sendo este valor muito semelhante ao encontrado por Srikiatden & Roberts (2008) de 3.792 kJ/(kg.K). Após as secagens este valor diminui, obtendo um valor de 2,02 kJ/(kg.K) para a secagem a 50°C, 2,06 kJ/(kg.K) para a secagem a 60 °C, onde este é o valor mais elevado, e 1,99kJ/(kg.K) para a secagem a 70 °C e este é o valor mais baixo. No entanto estes valores não diferem muito entre si.

No caso da condutividade térmica (k) a cenoura fresca obteve um valor de 0,5243 W/(m.K), sendo um valor semelhante ao encontrado por Srikiatden & Roberts. (2008) para a cenoura de 0.552 W/(m.K) Após as secagens este valor diminui, mas manteve-se muito semelhante entre as diferentes secagens. Assim para as secagens os valores da condutividade térmica variaram entre 0,2782 e 0,2889 W/(m.K).

No que diz respeito à difusividade a cenoura fresca apresentou um valor de  $1,50 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s. Este com as secagens sofreu uma diminuição, para as secagens a 50e 60 °C obteve-se um valor igual  $1,09 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s e para a secagem a 70°C obteve um valor de  $1,06 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s.

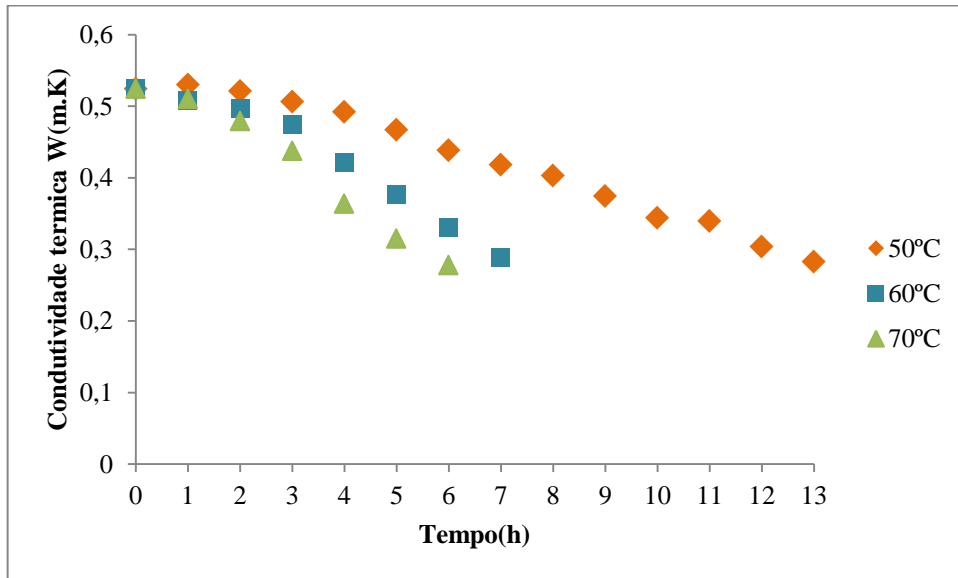
A entalpia também sofreu uma diminuição com as secagens a diferentes temperaturas, onde passou de 233 kJ/kg na cenoura fresca para 96,7 kJ/kg no caso da secagem a 50 °C, sendo este o valor mais baixo, para 118 kJ/kg para a secagem a 60 °C e para 130 kJ/kg para a secagem a 70 °C sendo o valor mais elevado.

A evolução destas propriedades ao longo das secagens às diferentes temperaturas, encontram-se nas Figuras 47 a 50.



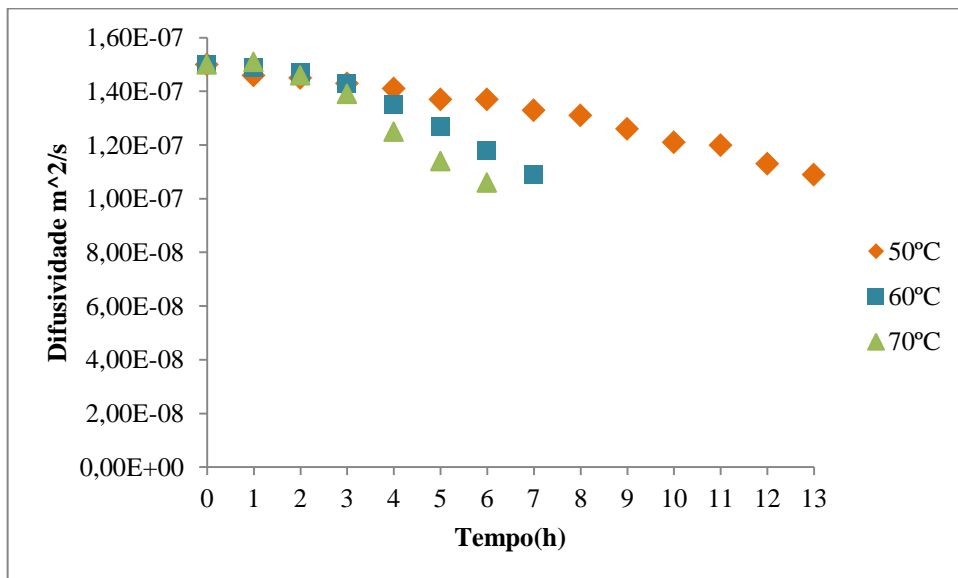
**Figura 47.** Evolução do calor específico ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Verificou-se que ao longo das secagens o calor específico foi diminuindo, isto é, à medida que o teor de humidade diminui o  $C_p$  também diminui, obtendo um valor do  $C_p$  mais elevado quando a amostra apresenta um maior teor de humidade, estando de acordo com diversos autores Choi & Okos (1986) para o suco de tomate, Simões (1997) para polpa de manga, Silva (1997) para a polpa de abacaxi.



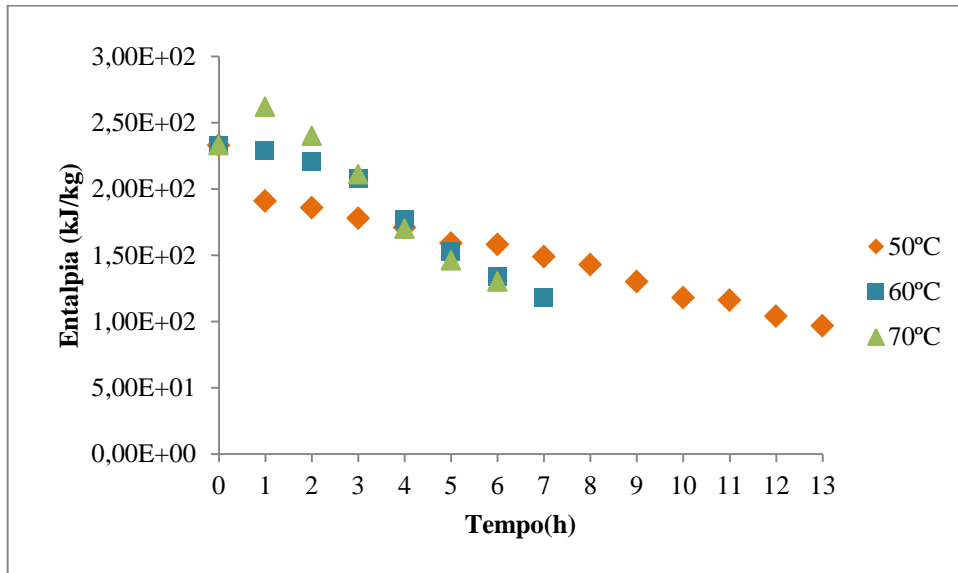
**Figura 48.** Evolução da condutividade térmica ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

A condutividade térmica também diminuiu ao longo das secagens, sendo que a temperatura que causou uma maior diminuição mais acentuada foi a temperatura de 70 °C e a temperatura de 50 °C causou uma menor diminuição. No entanto obtiveram valores finais similares.



**Figura 49.** Evolução da difusividade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

A difusividade também apresentou uma evolução semelhante ao calor específico e à condutividade térmica, no sentido em que diminuiu ao longo da secagem e onde a temperatura de 70 °C causou uma maior diminuição e a temperatura de 50 °C causou uma menor diminuição.



**Figura 50.** Evolução da entalpia ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

A entalpia também diminuiu ao longo da secagem, no entanto a temperatura de 50 °C foi a que apresentou uma diminuição constante. As restantes temperaturas apresentaram uma diminuição mais acentuada, havendo um cruzamento das entalpias na 4ª hora.

### 4.3. Isotérmicas de dessecção

Para a determinação das isotérmicas de dessecção, procedeu-se a uma análise baseada na qualidade das estimativas dos parâmetros da equação de GAB (Equação (21))

A Tabela 23 mostra os parâmetros do modelo de GAB para o ajuste dos dados experimentais das isotérmicas da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

**Tabela 23.** Resultados do ajuste ao modelo de GAB para as diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C).

Modelo	Parâmetro	50°C	60°C	70°C
<b>GAB</b>	$W_m(\pm sd)$	0,0680( $\pm 0,0150$ )	0,2376( $\pm 5,0015$ )	0,0297( $\pm 0,0018$ )
	$C(\pm sd)$	0,3214( $\pm 0,3528$ )	0,0249( $\pm 0,6108$ )	2,0000( $\pm 5,4384$ )
	$K(\pm sd)$	1,0033( $\pm 0,0029$ )	0,9955( $\pm 0,1425$ )	1,0110( $\pm 0,0004$ )
	R	0,9936	0,9372	0,9996
	Teste normalidade (Shapiro-Wilk)	Passou ( $p=0,6728$ )	Passou ( $p=0,7923$ )	Passou ( $p=0,9795$ )
	W-statistic (nível significância $<0,0001$ )	0,9524	0,9570	0,9867

O modelo de GAB baseia-se no conceito do conteúdo de humidade na monocamada do material ( $W_m$ ), sendo considerada a humidade segura para a preservação de alimentos desidratados, enquanto muitos outros modelos não apresentam esse parâmetro (Santos, 2011).

O conteúdo de humidade na monocamada ( $W_m$ ) é a quantidade de água que está fortemente adsorvida em sítios específicos na superfície dos alimentos, sendo considerado de importante valor para assegurar a estabilidade desses produtos (Santos, 2011). Os valores de  $W_m$  obtidos para a cenoura desidratada o variaram de 0,0297 a 0,2376.

De acordo com os resultados da Tabela, observou-se que o conteúdo de humidade da camada monomolecular ( $W_m$ ) do modelo de GAB apresentou flutuações aleatórias dentro da faixa de temperatura estudada, para a cenoura. O aumento da temperatura de 50 °C para 60 °C provocou um aumento de  $W_m$ , no entanto com o aumento para 70 °C este diminuiu. Prado *et al.* (1999) relatam que o valor de  $W_m$  diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura devido à redução de número de zonas ativas como resultado de mudanças físicas e/ou químicas induzidas pela temperatura.

O parâmetro C evidenciou um comportamento oposto, na medida em que diminuiu da temperatura de 50 °C para 60 °C e aumentou na temperatura de 70 °C.

Encontra-se também na Tabela 23 o coeficiente de determinação (R) do modelo ajustado às isotérmicas de dessecamento da cenoura nas três temperaturas estudadas e, de acordo com esses resultados, o modelo descreve com precisão as isotérmicas de dessecamento nas temperaturas de 50 °C e 70 °C, uma vez que apresentou uma boa precisão, com valores do coeficiente de determinação de 0,9936 e 0,9996 respectivamente. No caso da temperatura de 60 °C apresentou um coeficiente de determinação mais baixo de 0,9372, mas também aceitável

Verificou-se que o modelo GAB passou no teste de normalidade para as três temperaturas.

De acordo com Pedro *et al.* (2010) o modelo de GAB apresenta a vantagem de ser um modelo relativamente simples e com parâmetros que têm definição física, além de representar adequadamente os dados experimentais na faixa de atividade de água de maior interesse prático em alimentos (0,10 a 0,90). Lahsasni *et al.* (2004), Oliveira *et al.* (2005) e Medeiros *et al.* (2006) obtiveram bom ajuste pelo modelo de GAB para isotérmicas de pêra, casca de abacaxi, cacau e cupuaçu, respectivamente.

Na Figura 51 estão apresentadas as isotérmicas de dessecamento da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Do gráfico, observou-se que a quantidade de água sorvida a uma determinada atividade de água basicamente aumenta com a diminuição da temperatura, apesar de se ter verificado algumas oscilações. Verificou-se ainda que o aumento da temperatura resultou também em um aumento da atividade de água para o mesmo conteúdo de umidade de equilíbrio. Esses resultados foram também observados por Adam *et al.* (2000), para isotérmicas de sorção de cebola.

Este modelo é amplamente utilizado, para descrever o comportamento de isotérmicas de alimentos por diversos pesquisadores: Kiranoudis *et al.* (1997) ajustaram as isotérmicas de sorção de maçã, pêra, kiwi e banana ao referido modelo; Unadi *et al.* (1998) observaram que GAB foi a equação de sorção mais satisfatória para prever as isotérmicas de dessecamento de tomate; Kechaou & Maalej (1999) verificaram que GAB representou satisfatoriamente as isotérmicas de dessecamento de banana para temperaturas de 35, 50 e 70 °C e valores de atividade de água de 0 a 0,90; Telis *et al.* (2000) obtiveram um bom ajuste de GAB aos dados experimentais de isotérmicas de casca e polpa de uva, para temperaturas de 20 a 70 °C e atividades de água entre 0,02 e 0,85.

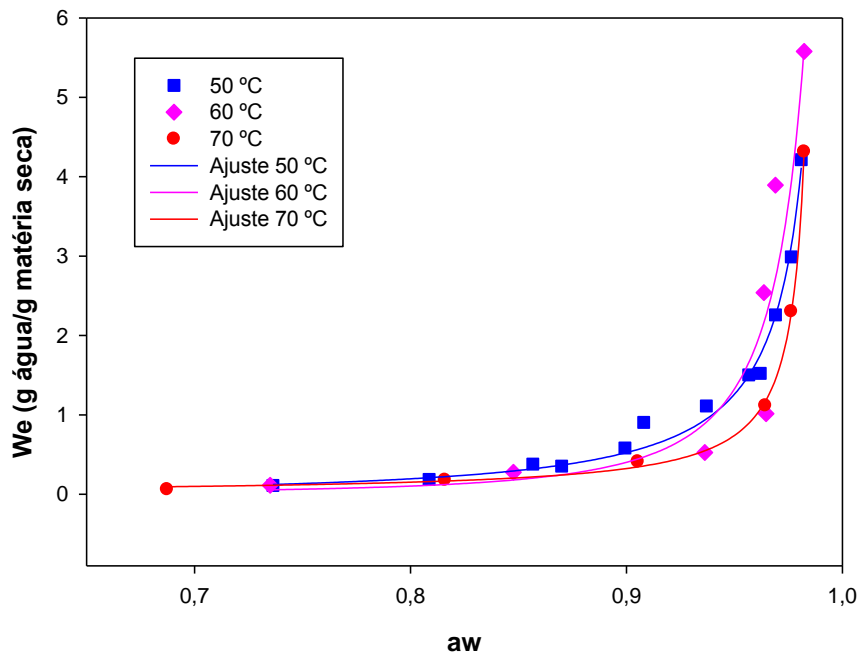
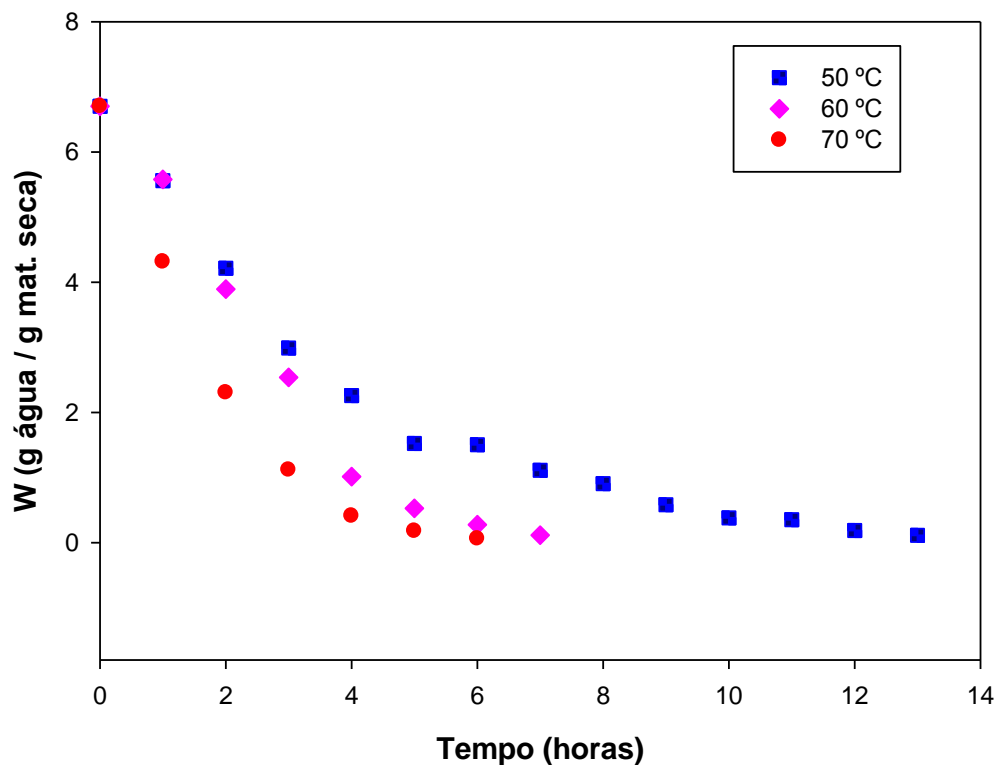


Figura 51. Ajuste ao modelo de GAB.

## 4.4. Cinética de Secagem

### 4.4.1. Curvas de secagem

A representação gráfica de cinética de secagem da cenoura para as temperaturas estudadas, na forma de humidade em base seca em função do tempo pode ser apreciada na Figura 52, em que se observa perda de humidade à medida em que avança o tempo de secagem, para todas as temperaturas estudadas, com redução maior para as temperaturas mais elevadas.



**Figura 52.** Variação da humidade ao longo da secagem a diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Como seria de esperar, verificou-se que a velocidade de secagem é maior para temperaturas de secagem mais altas. Verificou-se que para a temperatura de 50 °C, a secagem da cenoura demora cerca de 13 h, para a temperatura de 60 °C demora 7 h, enquanto que, para a temperatura de 70 °C demora aproximadamente 6 h.

#### 4.4.2. Ajuste aos modelos cinéticos

A fim de melhorar o controle desta operação, é importante dispor de modelos precisos para a previsão das curvas de secagem em diferentes condições. Neste caso para a modelização matemática usaram-se três modelos cinéticos, o de Page, Henderson & Pabis e Logarítmico. Os dados da cinética de secagem foram obtidos para as três temperaturas em estudo (50, 60 e 70 °C) e os resultados foram ajustados aos três modelos, cujas equações estão representadas na Tabela 7. Este ajustamento foi feito usando o software Sigma Plot V8.0 (SPSS, inc), sendo que os resultados se apresentam na Tabela 24.

**Tabela 24.** Resultados do ajuste aos modelos de Page, Henderson & Pabis e Logarítmico.

Modelo	Parâmetro	50 °C	60 °C	70 °C
<b>Page</b>	k(±sd)	2,0922x10 <sup>-5</sup> (±8,5929x10 <sup>-6</sup> )	1,2818x10 <sup>-7</sup> (±9,5059x10 <sup>-8</sup> )	7,0363x10 <sup>-6</sup> (±2,1513x10 <sup>-6</sup> )
	n(±sd)	1,1325(±0,0424)	1,7188(±0,0800)	1,3482(±0,0343)
	R	0,9980	0,9989	0,9998
	Teste normalidade (Shapiro-Wilk)	Passou (p=0,6652)	Passou (p=0,1114)	Passou (p=0,2518)
	W-statistic (nível significância <0,0001)	0,9565	0,8568	0,8855
<b>Henderson &amp; Pabis</b>	a(±sd)	1,0375(±0,0217)	1,0838(±0,0818)	1,0303(±0,0454)
	k(±sd)	7,8118x10 <sup>-5</sup> (±2,6722x10 <sup>-6</sup> )	1,111x10 <sup>-4</sup> (±1,4748x10 <sup>-5</sup> )	1,6350x10 <sup>-4</sup> (±1,3459x10 <sup>-5</sup> )
	R	0,9968	0,9761	0,9934
	Teste normalidade (Shapiro-Wilk)	Passou (p=0,5376)	Passou (p=0,0109)	Passou (p=0,0853)
	W-statistic	0,9485	0,7613	0,8329
<b>Logarítmico</b>	a(±sd)	1,0572(±0,0229)	1,3568(±0,1715)	1,1086(±0,0431)
	k(±sd)	7,1762x10 <sup>-5</sup> (4,3216±x10 <sup>-6</sup> )	6,5538x10 <sup>-5</sup> (1,8533±x10 <sup>-5</sup> )	1,3143x10 <sup>-4</sup> (±1,3834x10 <sup>-5</sup> )
	c(±sd)	-0,0308(±0,0189)	-0,3089(±0,1883)	-0,0926(±0,0402)
	R	0,9975	0,9908	0,9978
	Teste normalidade (Shapiro-Wilk)	Passou (p=0,9988)	Passou (p=0,6502)	Passou (p=0,3933)
	W-statistic (nível significância <0,0001)	0,9885	0,9439	0,9096

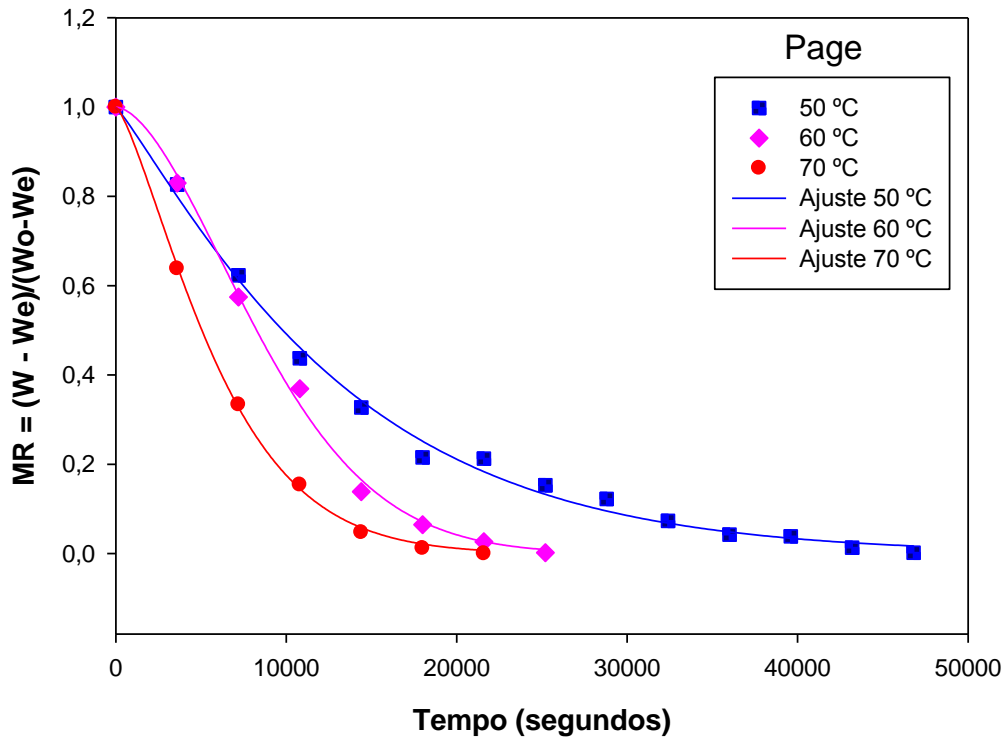
Como se pode verificar, para o modelo de Page o parâmetro  $k$  obteve valores de  $2,0922 \times 10^{-5}$ ,  $1,281 \times 10^{-7}$  e  $7,036 \times 10^{-6}$ , para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. O parâmetro  $n$  obteve valores de 1,1325, 1,7188 e 1,3482 para as referidas temperaturas. Em todas as temperaturas os ajustes são bons, dado os elevados valores de  $R$ . O melhor ajuste para o modelo de Page ocorreu na temperatura de 70 °C, onde obteve um valor de  $R$  de 0,9998 e o pior ajuste ocorreu na temperatura de 50 °C onde obteve um  $R$  de 0,9980.

No que diz respeito ao modelo de Henderson & Pabis, o parâmetro  $k$  apresentou valores de  $7,8118 \times 10^{-5}$ ,  $1,111 \times 10^{-4}$  e  $1,6350 \times 10^{-4}$  para as temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C, respectivamente. Para o parâmetro  $a$  os valores obtidos foram de 1,0375, 1,0838 e 1,0303 para as mesmas temperaturas. Neste caso os valores de  $R$  apresentaram-se mais baixos. Para este modelo o melhor ajuste ocorreu na temperatura de 50 °C onde obteve um valor de 0,9968 e o pior ajuste obteve um  $R$  de 0,9761 para a temperatura de 60 °C.

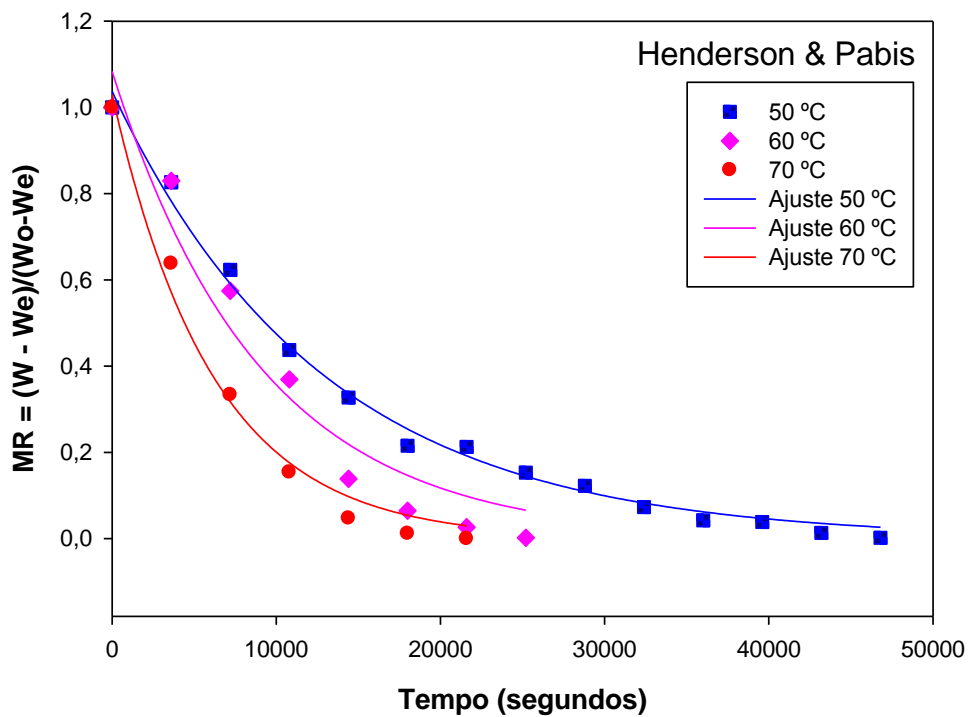
No caso do modelo do Logarítmico, o parâmetro  $k$  para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C obteve de  $7,1762 \times 10^{-5}$ ,  $6,5538 \times 10^{-5}$  e  $1,3143 \times 10^{-4}$ , respectivamente. Para o parâmetro  $a$  obteve os valores 1,0572, 1,3568 e 1,1086. O modelo Logarítmico obteve um melhor ajuste para temperatura de 70 °C onde apresentou um  $R$  de 0,9978, e o pior ajuste foi na temperatura de 60 °C com um  $R$  de 0,9908.

De entre os três modelos o que apresentou melhores resultados foi o modelo de Page, uma vez que foi o que obteve melhores valores de  $R$ .

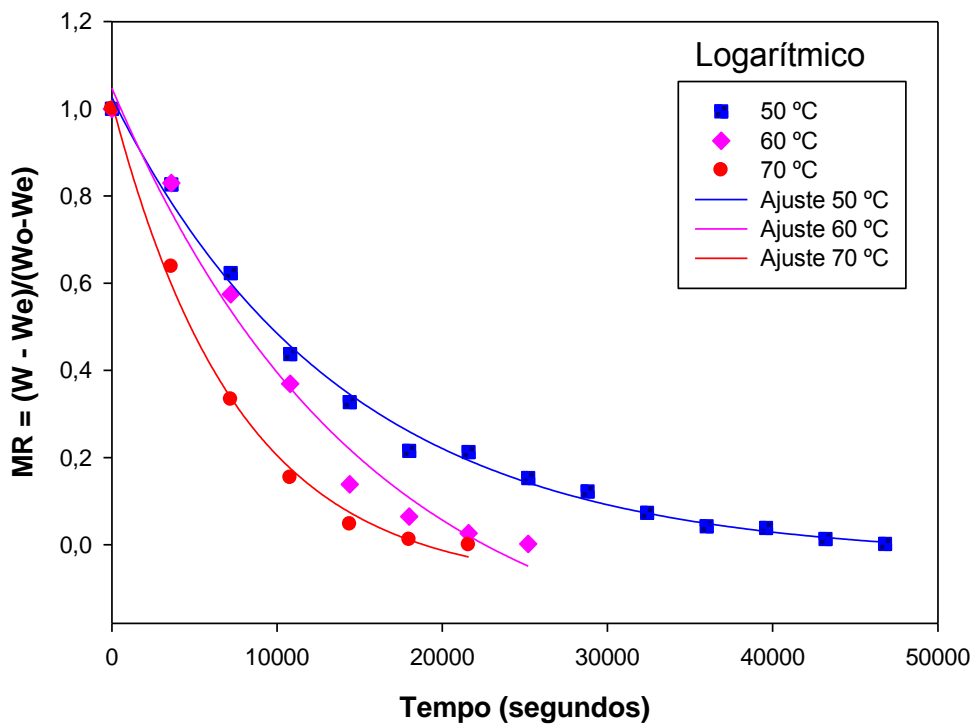
Nas Figuras 53 à 55 estão representadas as curvas de secagem da cenoura para as três temperaturas e para os referidos modelos de ajuste. As Figuras evidenciam um bom desempenho do modelo, descrevendo bem o processo ao longo da secagem, para todas as temperaturas em estudo.



**Figura 53.** Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Page.



**Figura 54.** Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Henderson & Pabis.



**Figura 55.** Curvas de secagem da cenoura para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste ao modelo de Logarítmico.

## 5. Conclusões



O presente trabalho teve como objetivo o estudo do efeito de diferentes temperaturas nas propriedades físico-químicas e termofísicas da cenoura, bem como a sua cinética de secagem.

Relativamente aos resultados das análises químicas, verificou-se que a secagem conduziu à redução mais pronunciada de açúcares redutores e proteínas, sendo essa alteração mais evidente na secagem a 70 °C. O teor de fibra bruta, registou um aumento comparativamente com a amostra em fresco

No que diz respeito à cor, as secagens originaram produtos de cor mais esbatida, uma vez que a luminosidade aumentou, e este parâmetro é influenciado pela temperatura. Verificaram-se elevados valores de diferença de cor sendo este maior na temperatura de 70 °C.

Quanto à textura, constatou-se que a secagem afectou principalmente os parâmetros da dureza, gomosidade e mastigabilidade, que diminuem significativamente.

No caso da porosidade esta é menor com elevados teores de humidade, no entanto com as secagens esta aumentou uma vez que houve uma diminuição da humidade.

As propriedades termofísicas apresentaram resultados similares, uma vez que todos os parâmetros analisados (calor específico, condutividade térmica, difusividade e entalpia) diminuíram ao longo da secagem.

O modelo de GAB produziu ajustes satisfatórios às isotérmicas de dessorção da humidade da cenoura desidratada.

Em relação à cinética de secagem, verificou-se que todos os modelos utilizados apresentaram bons resultados, no entanto, o modelo de Page foi o que se destacou com melhores resultados.

## 6. Bibliografia



Adam E, Muhlbauer W, Esper A, Wolf WF, Spiess W. (2000) Effect of temperature on water sorption equilibrium of onion (*Allium cepa*L.). *Drying Technology*, v.18, n.9, p.2117-2129.

Ahmed J, Shivhare US, Kaur M. (2002) Thermal colour degradation kinetics of mango puree. *International Journal of Food Properties* 5 (2), p.359–366.

Akpınar EK, Bicer Y, Yildiz C. (2006) Thin-layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, v. 59, p. 99-104.

Akubor IP, John Ike EZE. (2012) Quality evaluation and cake making potential of sun and oven dried carrot fruit *International Journal of Biosciences* Vol. 2, No. 10(2), p. 19-27

Alexandre HV, Figueirêdo RMF, Queiroz AJM. (2007) Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7

Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. (2002) Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Institution of Chemical Engineers*, 80: p.120-122

Alves AA, Moreira MAF, Silva DC, Azevedo DMMR. (2011) Avaliação de alimentos para ruminantes no nordeste do Brasil. *Actas do I Congresso Brasileiro de Nutrição Animal*. Passaré, Fortaleza.

Alves DG. (2003) Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p.149

Alves SSV, Negreiros MZ, Aroucha EMM, Lopes WAR, Teófilo TMS, Freitas FCL, Nunes GHS. (2010) Qualidade de cenouras em diferentes densidades populacionais. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 57, n.2, p.218-223.

Antonio GC. (2002) Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de banana nanica (*Musa*

*cavendishi*) e de mamão formosa (*Carica papaya L.*). Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas p.104.

AOAC. (2000) Official methods of analysis (17<sup>a</sup> Edição). Washington, USA, Association of Official Analytical Chemists.

Araújo EM, Menezes HC. (2005) Composição centesimal, lisina disponível e digestibilidade in vitro de proteínas de fórmulas para a nutrição oral ou enteral. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 4, p.768-771

Araújo PGL, Figueiredo RW, Alves RE, Moura CHM. (2004a) Estabilidade da polpa de frutos de novos clones de aceroleira conservada por congelamento. *In: Congresso Brasileiro De Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 19. Recife. Recife: CBCTA.

Araújo PM. (2010) Estudo da desidratação osmótica da cenoura (*Daucus carota L.*) em fatias. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil

Araújo JL, Queiroz AJM, Figueiredo RMF. (2004b) Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. *CiênciaAgrotécnica*, Lavras, v. 28, n. 1, p. 126-134.

Bai Y, Rahman MS, Perera CO, Smith B, Melton LD. (2002) Structural changes in apple rings during convection air-drying with controlled temperature and humidity. *J. Agric. Food Chem.* 50, p.3179–3185.

Baini R, Langrish TAG. (2007) Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. *Journal of Food Engineering*, 79, 330-343.

Baltes W. (1982) Chemical changes in food by the Maillard reaction. *Food Chemistry*, Amsterdam, v.18: 59

Bezerra TS. (2007) Desidratação de Hortaliças: Aspectos Teóricos. Monografia para obtenção do grau de Especialista em Tecnologia de Alimentos. Universidade de Brasília. Brasília p. 37.

Borchani C, Besbes S, Masmoudi M, Blecker C, Paquot M, Attia H. (2011) Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. *Food Chemistry*, 125 p.1194-1201.

Borompichaichartkul C, Luengsode K, Chinprahast N, Devahastin S.(2009) Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. *J. Food Eng.* 93, p.348-353.

Branco IG. (2001) Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com manga, laranja e cenoura. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.

Brod FPR, Alonso LFT, Park KJ. (1999)Secagem de produtos agrícolas. XI SEMEAGRI – Semana de Engenharia Agrícola da Unicamp. Agrológica - Empresa Jr. de Eng<sup>a</sup> Agrícola, Campinas, p.122.

Caliari M, *et al.* (2004)Desidratação osmótica de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34 (1): 15-20.

Camargo GA. (2006) Processo produtivo de tomate seco: novas tecnologias (manual técnico). Workshop. Tomate na Unicamp.

Cañizares A, Bonafine O, Laverde D. (2007) Deshidratación de productos vegetales. *Elaboración de productos agrícolas. INIA Divulga.* 10: 11-15.

Carson JK. (2006) Review of effective thermal conductivity models for food. *International Journal of Refrigeration*, Surrey, v. 29, n. 6, p. 958-967.

Carvalho W *et al.* (2005) Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. *Horticultura Brasileira*, Campinas, v.232 n.3, p.819 825.

Cereda MP. (2003) Raspas, farinha de raspas e derivados. In: (Coord.) Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amilacias Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3 p. 657-681.

Chitarra AB, Chitarra MI. (2005) Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA. p.783.

Choi Y, Okos MR. (1986) Effects of temperature and composition on the thermal properties of the foods. *In* Manguer L, Jelen P. Foods engineering and Process Application. Vol.1, Transport Phenomenon, Elsevier, New York, pp 93-101.

Chong CH, Law CL, Cloke M, Hii CL, Abdullah LC, Daud WRW. (2008) Drying kinetics and product quality of dried chempedak. *Journal of Food Engineering*, 88, 522-527.

Chua KJ, Hawlader MNA, Chou SK, Ho JC. (2002) On the Study of time-Varying Temperature Drying- Effect on Drying Kinetics and Product Quality. *DryingTechnology*, Vol. 20, No. 8, p.1559-1577.

Costa JMC, Medeiros MFD, Mata ALML. (2003) Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris L.*), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 34, n.1.

Cui Z, Xu S, Sun D. (2004) Microwave vacuum drying kinetics of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, v. 65, p. 157-164.

Doymaz I. (2007) The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices, *Journal of Food Engineering*, v. 79, p.243–248.

Doymaz I. (2004) Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61, p.359–364

Duarte GD. (2012) Parametrização do Processo de Secagem de Fruta, Pera e Maçã. Tese de mestrado em Biotecnologia Alimentar. Universidade de Aveiro, Departamento de Química, p.53-55.

Evangelista J. (2003) Tecnologia de Alimentos. Editora Atheneu. São Paulo. p. 571.

Fadhel A, Kooli S, Farhat A, Bellghith A. (2005) Study of the solar drying of grapes by three different processes. *Desalination*, 185, 535-541.

Fellows PJ. (2000) *Food processing technology – Principles and practice* (2<sup>nd</sup> Edition). Woodhead p323-350.

Fellows PJ. (2006) *Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas*. 2ed. Porto Alegre: Artmed, p.602.

Femenia A, Sastre-Serrano G, Simal S, Garau MC, Eim VS, Rosselló C. (2009) Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *LWT - Food Science and Technology*, 42 p.106-112.

Ferreira SMR. (2002) *Controle de qualidade em sistemas de alimentação coletiva I*. São Paulo, SP: Livraria Varela, p.173.

*Food Chemicals Codex, Fourth Edition (1996) First Supplement, National Academic.*

Gava AJ, Silva CAB, Frias JRG. (2009) *Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações*. São Paulo, Nobel: 298-324.

Gava AJ. (2002) *Princípios de tecnologia de alimentos*. São Paulo: Nobel.

Górnicki K.; Kaleta A. (2007) Drying curve modeling of blanched carrots cubes under natural convection. *Journal of Food Engineer*, v. 82, p. 160-170.

Greenfield H, Southgate DAT. (2003) *Food composition data: production, production, management, and use*. 2nd Edition, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Guiné R. (2010) Secagem de pêras, Da tradição à ciência. *CI&DETS - IPV, Viseu*, 1<sup>a</sup> Edição, 101-117; 173-188.

Guiné R, Lopes P, Barroca MJ, Ferreira DMS. (2009) Effect of ripening stage on the solar drying kinetics and properties of S. Bartolomeu pears (*Pyrus communis*L.). International Journal of Academic Research, 1(1), 46-52.

Guiné RPF. (2011) Variation of textural attributes of S. Bartolomeu pears at maturation, storage and drying. International Journal of Food Properties (inpress).

Guiné RPF, Andrade S, Correia AC, Jordão AM, Lopes AD, Ferreira D. (2011) Evaluation of Textural Properties in Apples of Regional Varieties. International Journal of Food Properties, 14 (2): 331-338.

Guiné RPF, Barroca MJ. (2012) Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper) food and bioproducts processing 9 0 p.58–63

Guiné RPF, Castro JAAM. (2002) Pear drying process analysis: drying rates and evolution of water and sugar concentration in space time. Drying Technology, 20 (7): 515-526.

Gunasekaran S, Ak MM. (2003) Cheese Rheology and Texture. CRC Press LLC, Florida: 637.

Harker FR, Redgewell RJ, Hallett IC, Murray SH. (1997) Texture in fresh fruits. Hort. Rev., 20 p.121-224.

Hatamipour MS, Mowla D. (2003) Experimental and theoretical investigation of drying of carrots in a fluidized bed with energy carrier. Drying Technol., 21(1) p.83–101.

Helman DR, Hartel R W. (1997) Principles of Food Processing. In Chapman & Hall, 191-194; 182.

Hii CH, Law CL. (2010) Product Quality Evolution During Drying of Foods, Vegetables and Fruits. In Jangam SV, Law CL, Mujumdar AS. Drying of Foods, Vegetables and Fruits.V1, Singapor.

Hiranvarachat B, Suvarnakuta P, Devahastin S. (2008) Isomerisation kinetics and antioxidant activities of B-carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions. *Food Chemistry*, v.107, p. 1538-1546.

Holland B, Unwin JD, Buss DH. (1991) *Vegetables, herbs and spices: Fifth supplement to McCance and Widdowson's*, London.

Holman, JP. (1986) *Heat Transfer*; McGraw-Hill; New York.

Hossain MD *et al.* (2001) Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. *Journal of Food Engineering*, v. 48, p. 103-107.

Howard LR, Barswell DD, Aselage J. (1996) Chemical composition and color of stained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science*, 61:327–330.

Hunterlab (2008a) CIE L\* a\* b\* color scale. Applications note, v.8, nº7:1-4 Acesso: [http://www.hunterlab.com/appnotes/an07\\_96a.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96a.pdf) consultado em 05 Novembro de 2013.

Hunterlab (2008b) Hunter L, a, b Versus CIE L\* a\* b\* color scale. Applications note, v.13, nº2:1-4 Acesso: [http://www.hunterlab.com/appnotes/an07\\_96a.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96a.pdf) consultado em 05 Novembro de 2013.

Incropera FP, Dewitt DP. (2003) *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, p.698.

Incropera FP, Dewitt DP. (1990) *Fundamentals of heat and mass transfer*. 3ª ed. J:Wiley & Sons; New York.

ISO 11036-1994 Sensory analysis - Methodology - Texture profile.

Jangam SV, Mujumdar AS. (2010) Basic concepts and definitions, *In*: Jangam SV, Law CL, Mujumdar AS. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1* Singapore, p.1-30.

Jayas DS, Cenkowski S, Pabis S, Muir WE. (1991) Review of thin-layer drying and wetting equations, *Dry. Technol.* 9 551–588.

Kaptso KG, Njintang YN, Komnek AE, Hounhouigan J, Scher J, Mbofung CMF. (2008) Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) and bambara groundnuts (*Voandzeia subterranea*) seeds, *J.Food Eng.* 86 91–99.

Kaur G, Jaiswal SP, Brar KS, Kumar JC. (1976) Physico-chemical characteristics of some important varieties of carrot. *Indian Food Pack* 30(2) p.5–8

Kechaou N, Maalej M. (1999) Desorption isotherms of imported banana. *Drying Technology*, v.17, n.6, p.1201-1213.

Keramat J, Nursten HE. (1994). The relationship between the coloured compounds present in the pressed liquor of cane sugar manufacture and those formed in Maillard reactions, in alkaline degradation of sugars, and in caramelisation. *Food Chemistry*, 51(4) p.417-420.

Kim B-J, Lee YK. (2009) Influence of the shade designation on the color difference between the same shade-designated resin composites by the brand. *DentalMaterials*, 25(9) p.1148-1154.

Kiranoudis CT, Tsami E, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. (1997) Drying kinetics of some fruits. *Drying Technology*, v.15, n.5, p.1399-1418.

Koley TK, Singh S, Khemaria P, Sarkar A, Kaur C, Chaurasia SNS, Naik PS. (2013) Evaluation of bioactive properties of Indian carrot (*Daucus carota* L): A chemometric approach, *Food Research International*

Krokida MK, Marinos-Kouris. (2003) Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, v. 57, p. 1–7.

Lahsasni S, kouhila M, Mahrouz M, Jaouhari JT. (2004) Drying kinetics of Prickly Pear Peel (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61, 173-179.

Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M. (2004) Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Energy Conversion and Management*, v.45, p.249-26,.

Lan X, Liu P, Xia S, Jia C, Mukunzi D, Zhang X, Xia W, Tian H, Xiao Z. (2010) Temperature effect on the non-volatile compounds of Maillard reaction products derived from xylose–soybean peptide system: Further insights into thermal degradation and cross-linking, *Food Chemistry*, 120 p.967-972.

Lee KG, Shibamoto T. (2002) Toxicology and antioxidant activities of nonenzymaticbrowning reaction products: review. *Food Rev. Int.* 18 (2), p.151-175

Lewis MJ. (1993) *Propriedades de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Zaragoza: Acribia, p.494.

Lima AS, Figueiredo RW, Maia GA, Lima JR, Sousa PHM. (2004) Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.26, n.1, p.107-109.

Lima KSC, Lima ALS, Freitas LC, Della-Modesta RC, Godoy RLO. (2004) Efeito das baixas doses de irradiação nos carotenóides majoritários em cenouras prontas para o consumo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v.24, n.2, p.183-193.

Lima VLAG, Mélo EA, Guerra NB. (2007) Correlação entre o teor de antocianinas e caracterização cromática de polpas de diferentes genótipos de aceroleira. *Brazilian Journal of Food Technology*. v. 10, n. 1, p. 51-55.

Lopes RP, Silva JS, Rezende RC. (2000) Princípios básicos da psicometria. *In: SILVA, J. S. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 39-62.

Lv B, Li B, Chen C, Chen J, Zhu B. (2009) Comparison of color techniques to measure the color of parboiled rice. *Journal of Cereal Science*, 50(2), p.262-265.

Machado CMM. (2006) Processamento de hortaliças em pequena escala. Brasília: Embrapa informação tecnológica.

Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. (2007) The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering* v.29, p.75-97.

Mahan LK, Escott-Stump S. (1996) Krause: Alimentos, nutrição & dietoterapia. Tradução de Alessandra Favano. 9ª Edição. São Paulo: Roca: 1179.

Martins I, Porto A, Oliveira L. (2006) Tabela da Composição de Alimentos. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa.

Medeiros ML, Ayrosa AMIB, Pitombo RNM, Lannes SCS. (2006) Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of Food Engineering*, v.73, p.402-406.

Minolta (2007) Precise color communication: color control for perception to instrumentation:62. Acesso: [http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf) Consultado em 05 Novembro de 2013.

Miranda M, Maureira H, Rodriguez K, Vega-Galvez A. (2009) Influence of temperature on the drying kinetic, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis Miller*) gel. *J. Food Eng.* 91, p.297-304.

Moretti CL, Mattos LM. (2007) Processamento mínimo de minicenoura. *In: Moretti, C.L. (Ed.). Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças.* Brasília: SEBRAE. p. 399-413.

Mota CL, Luciano C, Dias A, Barroca MJ, Guiné RPF. (2010) Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 115-123.

Mota RV. (2005) Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssego submetidas à desidratação osmótica. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n.1, p. 789-794.

Moura SCSRM; França VCL; Leal MCBL. (2003) Propriedades termofísicas de soluções modelos similares a sucos – Parte I, *Ciência Tecnologia Alimentos*. Campinas, v.23, n.1.

Nahimana H, Mujumdar AS, Zhang M. (2011) Drying and radial shrinkage characteristics and changes in color and shape of carrot tissues (*Daucus carota L*) during air drying. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(68), p.15327-15345

Neto CJF, Figueiredo RMF, Queiroz AJM. (2005) Sensory evaluation and water activity of the seasoned cassava flour. *Lavras*, 29(4), p.795-802.

Nijhuis H. *et al.* (1996) Research needs and opportunities in the dry conservation of fruit and vegetables, *Drying Technology*, 14, v.6, p.1429-1457

Nijhuis HH, Torringa HM, Muresan S, Yuksel D, Leguijt C, Kloek W (1998). Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables . *Food Science & Technology*. 9 p.13-20

Ogungbenle HN. (2003) Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54, p.153–158.

Oliveira MM, Campos ARN, Dantas JP, Gomes JP, Silva FLH. (2006) Isotermas de dessecção da casca do maracujá (*Passiflora edulis Sims*): Determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência Rural*, v.36, n.5, p.1624-1629.

Oliveira MM, Campos ARN, Gomes JP, Silva FLH. (2005) Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus L. Mer.*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.565-569.

Ong SP, Law CL. (2010) Hygrothermal Properties of Various Foods, Vegetables and Fruits, in *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1*, Ed. Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S. Published in Singapore, pp. 31-58.

Ordóñez JA. (2005) *Tecnologia de alimentos – componentes dos alimentos e processos*. artmed. v.1.

Park KJ, António GC. (2006) Análises de Materiais Biológicos. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas.

Park KJ, Yado MKM, Brod FPR. (2001) Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292.

Pastro DC, Porto AG, Silva FS, Sandri DO. (2011) Influência da temperatura de secagem nas características físico-químicas do abacaxi cultivar pérola In: Congresso de Iniciação Científica, 4ª. (JC), Cáceres/MT. Anai. Cáceres/MT: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG. Vol. 7.

Pedro MAM, Telis-Romero J, Telis VRN. (2010) Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.30, p.993-1000.

Perera CO. (2005) Selected quality attributes of dried foods. Dry. Technol. 23, p.717-730.

Pimentel CVMB, Francki VM, Gollücke APB. (2005) Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. SãoPaulo: Editora Varela, p.87.

Pinedo AA. (2003) Secagem a vácuo da cenoura (*Daucus carota* L) e abóbora (*Curvita maxima*): estudo das características do processo. (Tese: Doutorado). Campinas: UNICAMP.

Pinheiro GS. (2004) Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana adicionados de açúcar, Lavras, Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Pinheiro-Santana HM, Stringheta PC, Brandao SCC, Paez HH, Queiroz VMV. (1998) Evaluation of total carotenoids, alpha- and beta-carotene in carrots (*Daucus carota* L.) during home processing. Ciencia e Tecnologia deAlimentos, v18, n1, p.39-44.

Prado MET, Alonso LFT, Sales AF, Park KJ. (1999) Isotermas de sorção de tâmaras: Determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.19, p.143-146.

Prakash S, Jha KS, Datta N. (2004) Performance evaluation of blanched carrots dried by three different dries. *Journal of Food Engineer*, v. 62, p. 305-313.

Rahman MS. (2001) Toward prediction of Porosity in Foods During Drying: A Brief Review. *Drying Technology*, v. 19, n. 1, p. 1-13.

Rahman MS. (2005) Dried Food Properties: Challenges Ahead, *Drying Technology*, 23, pp. 695-715.

Raji AO, Ojediran JO. (2011) Isotermas de sorção de umidade de duas variedades de milho. *Alimentos Processo Bioprod.* 89 (3) p.178-184

Resende JM, Coelho AFS, Castro EC, Junior OJS, Nascimento T, Benedetti BC. (2004) Modificações sensoriais em cenoura minimamente processadas e armazenada sob refrigeração. *Hortic. Bras.* v.22, n.1.

Ribeiro EP, Seravalli EA. (2004) *Química de Alimentos*. São Paulo: Edgard Blucher: Instituto Mauá De Tecnologia. p.184

Roberts JS, Kidd DR, Padilla-Zakour O. (2008) Drying kinetics of grapes seeds. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 460-465.

Rocha AMCN, Ferreira JFFC, Silva ÂMM, Almeida GN, Morais AMMB. (2007) Quality of grated carrot (var. Nantes) packed under vacuum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.87p.447-451.

Rosa JG. (2010) Secagem de cenoura (*Daucus carota L.*) em microondas. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em engenharia química. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP.

Ruiz-LopezII, CordovaAV, Rodriguez- Jimenes GC, Garcia-AlvaradoMA. (2004) Moisture and temperature evolution during food drying: effect of variable properties. *J. Food Eng.*, 63 p.117–124.

Sablani SS. (2006) Drying of Fruits and Vegetable: Retention of Nutritional/Functional Quality, *Drying Technology*, 24, p.123-125.

Sacilik K. (2007) Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo L.*) *Journal of Food Engineering*, 79, 23-30.

Sanga ECM, Mujumdar AS, Raghavan GSV. (2002) Simulation of convection-microwave drying for a shrinking material. *Chemical Engineering and Processing*, 41, p.487–499.

Sanjuán N, Hernando I, Lluch MA, Mulet A. (2005) Effects of low temperature blanching on texture, microstructure and rehydration capacity of carrots. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2071-2076.

Santos IP. (2011) Parâmetros de qualidade na produção de abacaxi desidratado. Tese de mestrado Universidade Estadual de Mostes Claros, Janaúba Minas Gerais Brasil

Santos KA, Karam LM, Freitas RJS, Stertz SC. (2002) Composição química da berinjela (*Solanum melongena L.*). *B. CEPPA, Curitiba*, v. 20, n. 2: 247-256.

Schweiggert U, Mix K, Schieber A, Carle R. (2005) An innovative process for the production of spices through immediate thermal treatment of the plant material. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(2), p.143–153.

Serafini M. (2001) The effects of minimal processing operations on the nutritional components of fresh-cut produce. *In: Second International Conference on Fresh-cut Produce.*

Silva JA. (2000) Tópicos da tecnologia dos alimentos. São Paulo: Livraria Varela.

Silva RN, Monteiro VN, Alcanfor JAX, Assis EM., Asquieri ER. (2005) Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. *Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas*, v. 23, n. 3, p. 337-341.

Silva SB. (1997) Propriedades Termofísicas de Polpa de Abacaxi. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

Simões MR. (1997) Propriedades Termofísicas de Polpa de Manga. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Sousa PHM, Maia GA, Filho MSMS, Figueiredo RW, Souza ACR. (2003) Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabel, v.25, n.3, p. 414-416

Spagnol WA, Park KJ, Sigrist JMM. (2006) Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.26, n.3, p.550-554.

Spoto MHF. (2006) Desidratação de frutas e hortaliças. *In: Oetterer M, Regitano-d'Arce M AB, Spoto MHF (Eds). Fundamentos de ciência e Tecnologia de alimentos*. Brasil, Editora Manole: 565-604.

Sra SK, Sandhu KS, Ahluwalia P. (2010) Effect of processing parameters on physic chemical and culinary quality of dried carrot slices. *Journal of Food Science and Technology*. 48(2) p.159–166.

Srikiatden J, Roberts JS. (2008) Predicting moisture profiles in potato and carrot during convective hot air drying using isothermally measured effective diffusivity *Journal of Food Engineering* 84 p.516–525.

Strumillo C, Adamiec J. (1996) Energy and quality of food drying. *Drying Technology*, v. 14, n. 2, p.443-448.

Sun M, Temelli F. (2006) Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from carrot using canola oil as a continuous co-solvent. *J. Supercritical Fluids*, vol.37, iss. 3, pp. 397-408,

Suvarnakuta P, Devahastin S, Mujumdar AS. (2005) Drying Kinetics and  $\beta$ -caroteno Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes.S: Sensory & Nutritive Qualities of Food.

Szczesniak AS. (2002) Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, Elsevier, v.13, n.4, p.215-225.

Talburt WF, Smith O. (1975) Potato processing. Westport, CT: AVI Publishing Co.

Teixeira LJQ. (2008) Campos Eletricos Pulsados de Alta Intensidade no Processamento de Suco de Cenoura. 149F. Tese (Doutorado em Ciencia eTecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Vicosa, Vicosa.

Telis VRN, Gabas AL, Menegalli FC, Telis RJ. (2000) Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. Thermochemica Acta, v.343, n.1-2, p.49-56.

Topuz A, Feng H, Kushad M. (2009) The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. LWT - Food Science and Technology 42 p.1667–1673.

Unadi A, Fuller RJ, Macmillan RH. (1998) Prediction of the equilibrium moisture content of tomatoes. Food Australia, v.50, n.4, p.200-203.

Verzeletti A, Fontana RC, Sandri IG. (2010) Avaliação da vida de prateleira de cenouras minimamente processadas. Alimentos e Nutrição, Campinas, v.21, nº 1: p.87-92.

Vilela NJ, Henz GP. (2000) Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. Cadernos de Ciências e Tecnologia, Brasília, v. 17, n. 1: 71-89.

Viswanathan R, Jayas DS, Hulasare RB. (2003) Sorption Isotherms of Tomato Slices and Onion Shreds.Biosystems Engineering, 86(4), 465-472.

Wang J, Xi YS. (2005) Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. *Journal of Food Engineer*, v. 68, p. 505-511.

Weaver CM, Daniel JR. (2005) *The Food Chemistry Laboratory: A manual for experimental foods, dietetics and food scientists*. 2ª edição, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.

Zogzas NP, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. (1994a) Moisture Diffusivity Methods of Experimental Determination. A Review. *Drying Technology*, 12(3), 483-515.

Zogzas NP, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. (1994b) Densities, Shrinkage and Porosity of some Vegetables during Air Drying. *Drying Technology*, 12(7), 1653-1666.