

SECAGEM DE PÊRAS EM ESTUFA SOLAR COM CONVECÇÃO FORÇADA

Guiné RPF^{1,2}, Barroca MJ³, Lopes P^{1,4}, Ferreira DMS^{1,2}

¹Escola Superior Agrária de Viseu, IPV.

²CI&DETS, Escola Superior Agrária de Viseu, IPV.

³CERNAS, Escola Superior Agrária de Coimbra, IPC.

⁴Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

RESUMO

Para os ensaios relativos à colheita e secagem de pêra de São Bartolomeu no ano de 2007, foram colhidas pêras no pomar de Venda de Galizes, em 3 fases de maturação, considerando como segunda fase a data de colheita para produção de pêra secada de modo tradicional, de acordo com indicações do produtor de pêra passa em Venda de Galizes. As pêras correspondentes a cada lote de maturação foram secadas na estufa solar da Escola Superior Agrária de Viseu, a qual está equipada com um sistema de ventilação regulável. Durante os ensaios foram registadas as condições de temperatura e humidade relativa a intervalos de 10 minutos, e foram sendo feitas análises para verificar a evolução da humidade dos frutos ao longo do processo, e estimar as velocidades de secagem.

No ano de 2008 as peras foram colhidas uma única vez, tendo esta colheita sido função da evolução do estado de maturação das pêras no pomar de Ervedal da Beira, já que, por falta de produção, não foi possível continuar a utilizar pêras do pomar de Venda de Galizes. O procedimento de secagem foi o mesmo que foi adoptado para o ano de 2007.

1. ENSAIOS DE SECAGEM EM 2007

1.1. Secagem na estufa

As pêras foram colhidas no Pomar em Venda de Galizes, Oliveira do Hospital (Figura 1). Este pomar pertence a um produtor que produz pêra secada pelo método tradicional razão pela qual foi seleccionado para o fornecimento dos frutos.



Figura 1 – Pomar em Venda de Galizes, Oliveira do Hospital.

Para a colheita dos frutos foram seleccionadas 6 árvores em 6 pontos representativos do pomar (Figura 2) e devidamente marcadas para mais tarde serem de fácil identificação. O baixo número de árvores seleccionadas deveu-se ao facto da produção de 2007 ter sido baixa, por razões edafoclimáticas, pelo que o produtor não pôde dispensar um maior número de árvores. Na colheita os frutos foram retirados

dos 4 quadrantes de cada árvore por colheita manual. Depois de colhidas, as pêras foram colocadas numa mala térmica e, quando chegadas ao destino - Escola Superior Agrária de Viseu - foram colocadas a 6 °C até irem para a estufa de secagem.

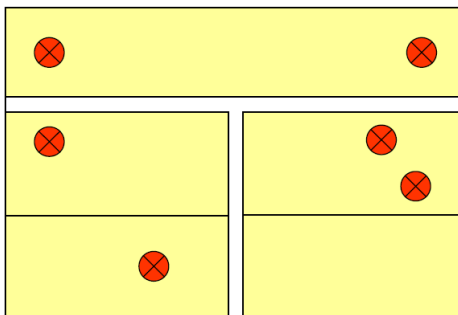


Figura 2 – Esquema representativo do pomar em Venda de Galizes com localização das árvores seleccionadas para colheita das peras de S. Bartolomeu durante as 3 fases da maturação.

Foram efectuadas três secagens em estufa solar, correspondentes a três colheitas em três estágios de maturação distintos: um estado mais prematuro, um estado supostamente adequado e um estado mais avançado.

As peras foram descascadas e colocadas a secar inteiras sobre redes de nylon numa estufa solar existente na ESAV, com vidro de horticultura. Esta possui um ventilador para promover uma mais eficaz extracção de ar (Figura 3), e que funciona a diferentes velocidades de rotação. Para o controlo da temperatura e humidade no interior da estufa foi colocado um termohigrómetro (Lufft – Opus 10) no seu interior. Desta forma, as condições de temperatura e humidade relativa dentro da estufa foram registadas a intervalos de 10 minutos ao longo de todo o processo de secagem.



Figura 3 – Estufa solar localizada na ESAV (esquerda), extractor de ar (centro) e termohigrómetro (direita).

1ª colheita:

A secagem iniciou-se com as duas janelas da estufa abertas e com a extracção de ar na velocidade máxima. As condições climatéricas apresentavam-se favoráveis à secagem com temperaturas máximas exteriores de cerca de 30 °C. Mais tarde, ao segundo dia de secagem, fechou-se uma das janelas da estufa. Ao longo da secagem, e de quatro em quatro horas, retiraram-se 2 peras para análise. Este procedimento foi seguido para a 2ª e 3ª colheita. A secagem teve término no dia 2 de

Agosto de 2007, após 78 horas de secagem, o que corresponde a aproximadamente 3 dias. No final da secagem as pêras foram retiradas da estufa, espalmadas e deixadas 2 horas à temperatura ambiente para depois serem guardadas a 6 °C. Este procedimento foi seguido nas seguintes secagens solares.

2ª colheita:

O tempo no dia 11 de Agosto estava bastante nublado. A secagem iniciou-se com uma das janelas da estufa aberta que foi fechada ao terceiro dia para tentar diminuir a humidade dentro da estufa. Durante esta secagem choveu e nunca esteve uma temperatura tão elevada como na primeira secagem. A secagem foi por isso mais lenta do que no caso da 1ª secagem, com uma duração de cerca de 215 horas de secagem, aproximadamente 9 dias.

3ª colheita:

As pêras foram retiradas da estufa no dia 27 de Agosto com 149 horas de secagem, aproximadamente 6 dias.

Após 76 horas de secagem foram espalmadas quinze peras que se voltaram a colocar na estufa. Verificou-se que a espalmagem a meio da secagem era mais fácil e que as peras depois de espalmadas perdem água mais rapidamente.

Na Figura 4 são apresentados, para o primeiro ensaio respeitante à primeira colheita, os valores de temperatura e humidade dentro da estufa, registados a cada intervalo de 10 minutos, bem como os respectivos valores médios e ainda a evolução da humidade das pêras (em base húmida). Da observação da Figura verifica-se que quando a temperatura da estufa atinge valores elevados a correspondente humidade relativa (HR) é baixa, o que acontece durante os períodos diurnos. Pelo contrário, durante a noite a temperatura baixa e a HR aumenta. É possível verificar ainda que durante os períodos nocturnos a humidade das peras praticamente não baixa, diminuindo acentuadamente durante os períodos diurnos. Entre as 50 e as 60 horas verificou-se uma descontinuidade neste comportamento, que correspondeu a condições climáticas distintas, nomeadamente no que diz respeito à nebulosidade.

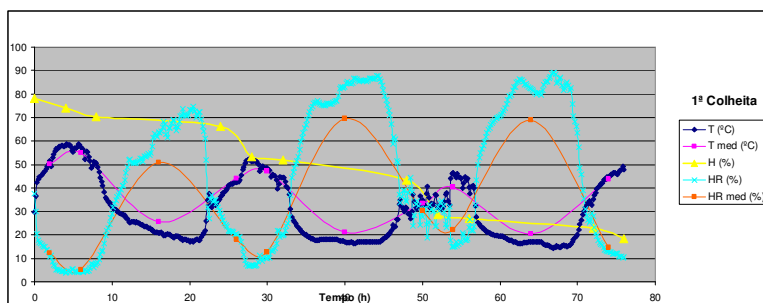


Figura 4 – Registos de temperatura e humidade na estufa e nas peras para o primeiro ensaio de secagem.

Na Figura 5 são apresentadas as variações de temperatura ou HR médias ao longo do tempo de secagem no primeiro ensaio, juntamente com a evolução do teor de humidade, mas expresso em base seca. Verifica-se que a curva de variação de humidade expressa em base seca revela diferenças quando comparada com a curva de evolução de humidade em base húmida constante da Figura 4. Este comportamento está de acordo com a evolução espectável durante um processo de secagem, em que a curva de humidade em base húmida deve apresentar uma forma sinusoidal enquanto a curva de humidade em base seca deve apresentar-se como uma exponencial decrescente.

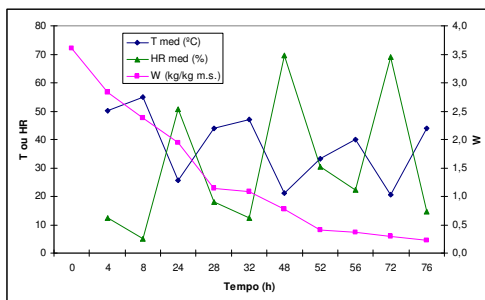


Figura 5 – Evolução da humidade (em base seca) ao longo do primeiro ensaio de secagem.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os gráficos correspondentes às condições na estufa bem como a evolução da humidade (em base húmida), para os segundo e terceiro ensaios de secagem, correspondentes às 2ª e 3ª colheitas, respectivamente. É possível observar comportamentos semelhantes nos três ensaios, mas com particularidades que expressam de algum modo as diferentes condições climáticas verificadas durante os ensaios. Assim, no terceiro ensaio verifica-se uma maior regularidade ao longo dos dias, o que não aconteceu no primeiro ensaio e outra vez no segundo ensaio, entre as 80 e as 120 horas. Por outro lado, notam-se diferenças significativas nas temperaturas máximas alcançadas em diferentes dias, como por exemplo perto de 60 °C no primeiro dia do primeiro ensaio a contrastar com cerca de 20 °C no quinto dia do segundo ensaio. De salientar ainda que o tempo que demorou o segundo ensaio para atingir um conteúdo de humidade de 30 %, ainda superior ao primeiro ensaio (cerca de 20 %), foi cerca do dobro, o que revela a grande dependência deste tipo de secagem face às condições atmosféricas. Por fim, de notar que o terceiro ensaio de secagem deveria ter prosseguido por mais algum tempo, uma vez que o conteúdo de humidade das peras (cerca de 50 %) é muito superior aos 20 % desejados. Contudo, verificou-se que as condições atmosféricas já não estavam a permitir uma perda de água eficiente, dado que a humidade das peras deixou de evoluir como esperado a partir das 50 horas, tendo sido essa a razão pela qual o ensaio foi terminado.

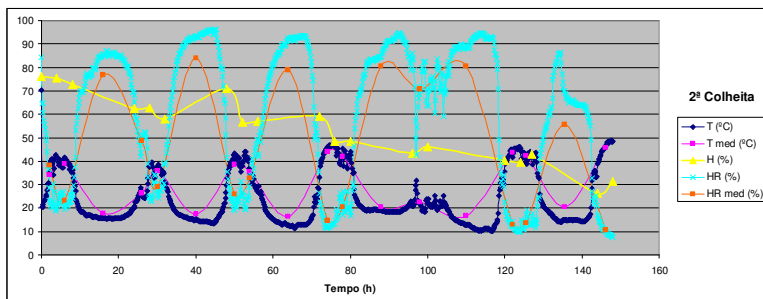


Figura 6 – Registos de temperatura e humidade na estufa e nas peras para o segundo ensaio de secagem.

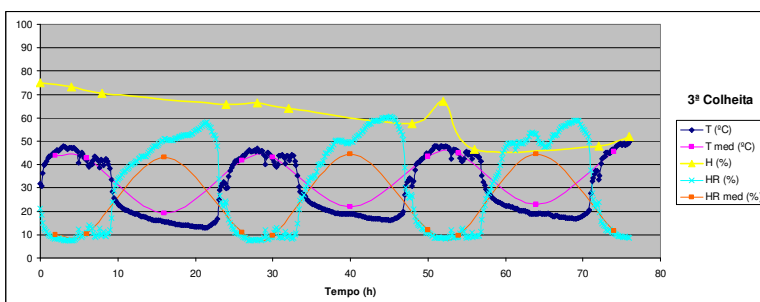


Figura 7 – Registos de temperatura e humidade na estufa e nas peras para o terceiro ensaio de secagem.

Na Figura 8 representa-se a variação da humidade relativa com a temperatura dentro da estufa, para os três ensaios de secagem. Como seria de esperar estas duas variáveis encontram-se linearmente relacionadas, sendo os coeficientes de correlação suficientemente elevados, a variar entre um mínimo de 0.9459 para a primeira colheita e um máximo de 0.9767 para a 3ª colheita.

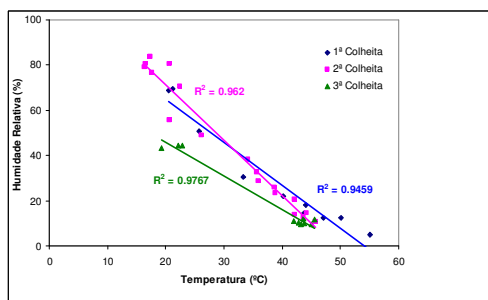


Figura 8 – variação da humidade relativa em função da temperatura, para os três ensaios de secagem.

1.2. Tratamento dos dados cinéticos

Os dados cinéticos de variação da humidade ao longo do tempo de secagem foram ajustados a diferentes modelos cinéticos, que relacionam a razão de humidade $MR = (W - W_e)/(W_0 - W_e)$ com o tempo (Tabela 1). W , W_0 e W_e são a humidade expressa em base seca no tempo t , no tempo t_0 e no equilíbrio, respectivamente.

Tabela 1 – Modelos cinéticos testados (Togrul, 2003).

Modelo	Equação
Newton	$MR = \exp(-k t)$
Henderson e Pabis	$MR = a \exp(-k t)$
Logarítmico	$MR = c + a \exp(-k t)$
Wang e Singh	$MR = 1 + a t + b t^2$

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ajustes feitos aos dados cinéticos para as três temperaturas, com os diferentes modelos. Os resultados incluem os valores dos diferentes parâmetros para cada modelo, bem como o respectivo coeficiente de correlação.

Tabela 2 – Resultado do ajuste aos diferentes modelos cinéticos.

	1ª colheita	2ª colheita	3ª colheita
Newton			
k(dp)	0.0425(0.0033)	0.0185(0.0013)	0.0190(0.0011)
R	0.9818	0.9617	0.9789
Henderson e Pabis			
a(dp)	0.9605(0.0486)	0.9320(0.0453)	0.9712(0.0360)
k(dp)	0.0407(0.0040)	0.0170(0.0015)	0.0182(0.0015)
R	0.9830	0.9662	0.9804
Logarítmico			
c(dp)	-0.0813(0.0865)	0.1302(0.0368)	0.0786(0.0162)
a(dp)	1.0241(0.0825)	0.8610(0.0508)	0.9009(0.1480)
k(dp)	0.0330(0.0075)	0.0272(0.0045)	0.0214(0.0077)
R	0.9852	0.9750	0.9810
Wang e Singh			
a(dp)	-0.0297(0.0021)	-0.0147(0.0011)	-0.0185(0.0015)
b(dp)	0.0002(0.0000)	0.0001(0.0000)	0.0001(0.0000)
R	0.9768	0.9405	0.9821

Nas Figuras 9 a 12 são apresentados os dados cinéticos experimentais juntamente com os ajustes feitos com os diferentes modelos testados. Dos resultados é possível verificar que os quatro modelos testados se apresentam relativamente adequados para descrever a cinética de secagem das peras nos três ensaios realizados. Contudo, o modelo de Wang e Singh é o que se apresenta como sendo ligeiramente menos bom (Figura 12), principalmente na parte final da curva, que deveria apresentar um comportamento assintótico para o valor da humidade de equilíbrio, como acontece com os outros três modelos. Quanto ao modelo que se apresenta melhor é o logarítmico (Figura 11), cujos ajustes apresentam os valores mais altos do coeficiente de correlação para os três ensaios (Tabela 2).

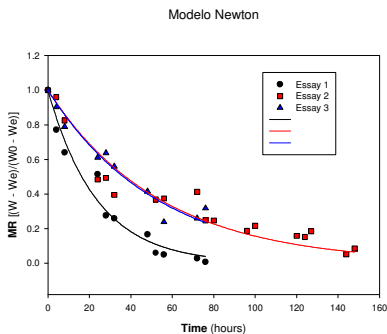


Figura 9 – Ajuste do modelo Newton aos dados cinéticos para os três ensaios.

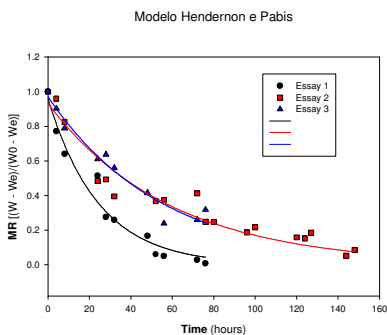


Figura 10 – Ajuste do modelo Henderson e Pabis aos dados cinéticos para os três ensaios.

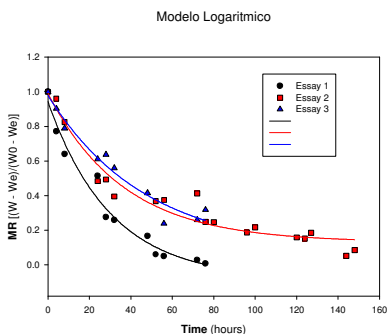


Figura 11 – Ajuste do modelo Logarítmico aos dados cinéticos para os três ensaios.

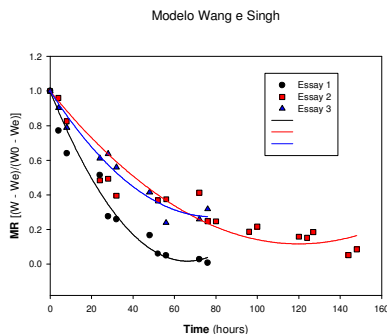


Figura 12 – Ajuste do modelo Wang e Singh aos dados cinéticos para os três ensaios.

2. ENSAIO DE SECAGEM EM 2008

2.1. Secagem na estufa

Em 2008 apenas se secaram pêras de uma colheita, correspondente a valores de maturação que se situaram entre os valores da segunda e da terceira colheitas de 2007. Assim, seguiu-se a evolução da maturação dos frutos no pomar, através do controlo dos parâmetros de maturação físico-químicos, de modo a seleccionar a melhor data de colheita para se obter o produto secado de melhor qualidade. De acordo com os resultados obtidos, a colheita foi efectuada no dia 12 de Agosto de 2008, tendo as peras sido secadas no dia seguinte.

No ano de 2007, as pêras utilizadas na secagem foram provenientes de um pomar em Venda de Galizes, na zona de Oliveira do Hospital. No entanto, dada a baixa produção do pomar em 2008 por razões que se prendem com o elevado pedrado do fruto, entre outras, foi necessário seleccionar um outro pomar. Assim, a colheita de 2008 foi proveniente de um pomar no Ervedal da Beira, na mesma zona de Oliveira do Hospital.

Os critérios de paragem do ensaio foram os mesmos que já haviam sido definidos para a colheita de 2007: a) Redução dos teores de humidade das pêras a 20% em base húmida; b) Massa constante ou com variação desprezável; c) Produto final sem características de pêra secada.

Os frutos foram espalmados no final da secagem, contrariamente ao que sucede pelo método tradicional.

2.2. Tratamento dos dados cinéticos

Depois de em 2007 se ter feito uma análise cinética à secagem solar feita na estufa da ESAV, em 2008 estendeu-se essa análise a outros métodos de secagem, no sentido de fazer a sua comparação em termos de velocidade de secagem. Assim, as peras colhidas em Agosto de 2008 (colheita única) foram secadas sob as seguintes condições:

- Na ESAV, em estufa solar, secagem solar directa com temperatura variável.
- Na ESTV, em secador solar directo, também com temperatura variável.
- Na Universidade de Coimbra, em túnel de ar quente, com temperatura constante de 40 °C.

Para as secagens referidas foi então feita uma análise da cinética de secagem, que incluiu a aplicação de determinados modelos cinéticos a fim de verificar a sua aplicabilidade às situações em estudo.

Os modelos empíricos usados para descrever a cinética de secagem foram 3, e as respectivas equações encontram-se na Tabela 3, onde MR é a razão de humidade ($MR = (W - W_e)/(W_o - W_e)$), sendo W_o , W_e e W , respectivamente, a humidade inicial, a humidade de equilíbrio e a humidade no tempo t, todas expressas em base seca.

Tabela 3 – Modelos cinéticos empíricos usados para ajustar aos dados cinéticos experimentais (Togrul, 2003).

Modelo	Equação
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-k t)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-k t) + c$
Diffusional Approach	$MR = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$

A Figura 13 mostra os pontos experimentais obtidos (MR,t), bem como o ajuste feito com os modelos cinéticos, para as peras secadas ao sol (ESAV e ESTV). Verifica-se que o tempo de secagem é semelhante em ambos os casos e que o modelo logarítmico se apresenta melhor para ajustar os dados experimentais, o que pode ser confirmado através dos valores dos coeficientes de correlação dos ajustes, que são mais elevados no caso do modelo Logarítmico do que para os modelos Henderson e Difusional (ver Tabela 4).

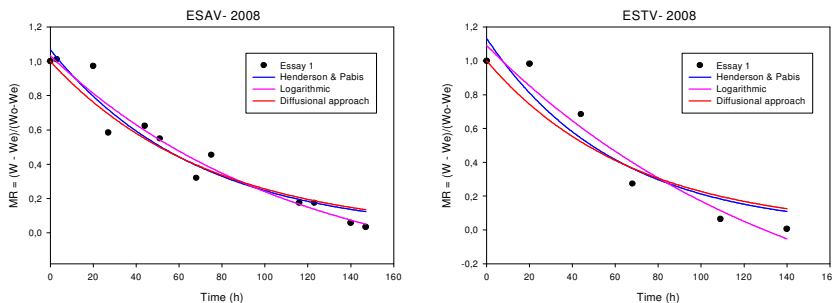


Figura 13 – Cinética de secagem para condições de secagem solar.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes de correlação dos diferentes ajustes.

Modelo	ESAV	ESTV	UC1	UC2
Henderson	0.9678	0.9488	0.9945	0.9952
Logarithmic	0.9744	0.9732	0.9973	0.9995
Diffusional	0.9637	0.9357	0.9920	0.9951

Na Figura 14 são apresentadas as cinéticas de secagem para as condições de secagem em túnel de ar quente, com temperatura constante, efectuadas na UC, conjuntamente com os respectivos ajustes. Neste caso foram realizados dois ensaios, com peras colhidas na mesma data, mas espaçados no tempo. Verifica-se que o

tempo de secagem é semelhante em ambos os casos e que uma vez mais o modelo logarítmico se apresenta ligeiramente melhor para ajustar os dados experimentais. Contudo, verifica-se que de uma forma geral os coeficientes de correlação são bastante mais elevados nos ensaios feitos na UC, quando comparados com os ensaios solares (ver Tabela 4). Isto prende-se com a heterogeneidade das peras, já que na UC as avaliações da humidade ao longo da secagem se fazem por pesagem contínua dos tabuleiros que contêm um maior número de peras (20), enquanto que nos ensaios solares eram retiradas duas peras para a avaliação da humidade em cada tempo. Assim, atendendo a que a massa das peras utilizadas nos ensaios era relativamente variável, com peras maiores e outras mais pequenas, e que a perda de humidade é mais rápida nas peras mais pequenas, é de esperar que num lote de duas peras verifique mais variabilidade do que num lote de 20.

Quando se comparam os gráficos da Figura 13 com os da Figura 14, verifica-se que para a secagem a 40 °C o tempo de secagem é cerca de metade (60 h) do que no caso da secagem solar (140 h).

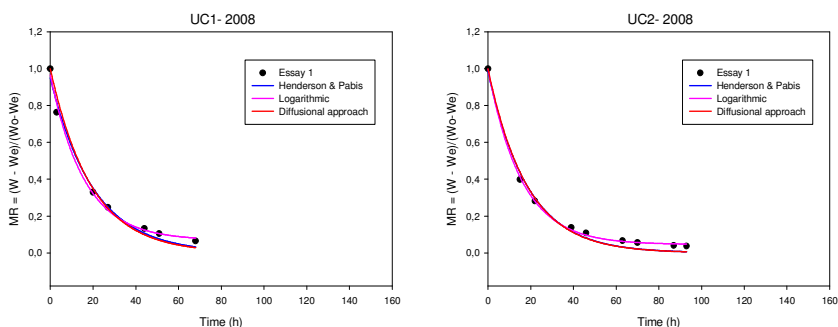


Figura 14 – Cinética de secagem para condições convecção a 40 °C.

Para as peras secadas na estufa solar da ESAV em Agosto de 2008, foram avaliadas algumas propriedades ao longo do processo de secagem, nomeadamente no que respeita à evolução da acidez e do teor de sólidos solúveis (TSS) ao longo do tempo.

Na Figura 15 vê-se que a acidez diminui genericamente ao longo da secagem, embora haja algumas variações no sentido de um aumento, nomeadamente às 20 horas e às 75 horas. A diminuição da acidez é espectável face à evaporação de determinados compostos voláteis ao longo da secagem.

Na Figura 16 pode observar-se que a evolução do TSS apresenta oscilações sem tendência, isto é, os valores finais são aproximadamente iguais aos valores iniciais, quando se esperaria que o TSS crescesse com a secagem.

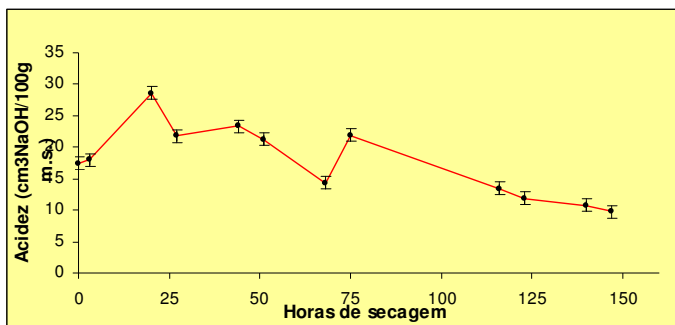


Figura 15 – Evolução da acidez ao longo da secagem feita na estufa solar da ESAV.

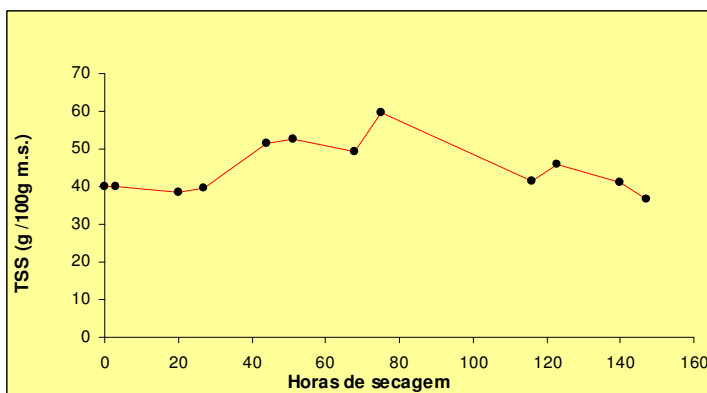


Figura 16 – Evolução do teor de sólidos solúveis ao longo da secagem feita na estufa solar da ESAV.

3. CONCLUSÃO

Através dos registos que foram feitos à temperatura e humidade relativa na estufa durante a secagem das peras verificou-se haver uma correlação muito forte entre estas duas variáveis entre si e por sua vez entre elas e a perda de humidade das peras, de tal forma que altas temperaturas e baixas humidades relativas aceleram a velocidade de secagem, como esperado.

Dos resultados obtidos foi possível verificar que o modelo logarítmico é o que melhor descreve os dados cinéticos para todos os ensaios realizados (3 ensaios na ESAV em 2007 e em 2008 um na ESAV, um na ESTV e dois na Universidade de Coimbra).

Em relação aos tempos de secagem, verificou-se que nos ensaios de secagem solar (da ESAV e da ESTV) as pêras demoraram cerca de 140 horas a atingir conteúdos de humidade de cerca de 20% (critério de paragem), enquanto que para a secagem em túnel a 40 °C (na Universidade de Coimbra) a secagem estava completa

ao fim de 70 horas (no primeiro ensaio) e 90 (horas no ensaio de repetição), sendo este portanto um método significativamente mais rápido.

REFERÊNCIAS

Togrul IT & Pehlivan D (2003) Modelling of Drying Kinetics of Single Apricot, *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.