

# Efeitos da rega e do regime hídrico em olival super intensivo no Alentejo

## Effects of irrigation and water regime in super-intensive olive orchard in Alentejo

Francisco Lúcio Santos<sup>1</sup>, Maria Manuela Correia<sup>1</sup>, Renato Ruas Coelho<sup>1</sup>, Adélia Sousa<sup>1</sup>, Teresa Afonso do Paço<sup>2</sup> e Luís Santos Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas [ICAAM], Universidade de Évora, Portugal, E-mail: fls@uevora.pt, author for correspondence

<sup>2</sup> Centro de Engenharia dos Biosistemas (Biosystems Engineering) [CEER], Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal

Recebido/Received: 2011.09.08

Aceitação/Accepted: 2013.02.01

### RESUMO

O presente estudo caracteriza os efeitos de uma condução típica de rega em olival superintensivo (1,35 x 3,75 m) na região de Évora (Alentejo) e em solo Cambissolo Êutrico. Analisa-se o regime hídrico praticado em dois tratamentos de rega, normal (FI) e deficitário (DI), este com redução da dotação de rega depois do endurecimento do caroço e seus efeitos sobre a transpiração, a humidade do solo e o potencial hídrico, um parâmetro fisiológico indicador do estado hídrico da cultura. Analisam-se os resultados de transpiração potencial do olival obtidos com o modelo de condutância estomática global da copa de Orgaz *et al.* (2007) aplicado ao modelo "big leaf" de Penman Monteith (Jones, 1992). Analisa-se também a possibilidade de prever a transpiração do olival com os valores do índice de vegetação NDVI estimados de assinaturas espectrais do olival, obtidos por detecção remota através dos sensores instalados nos satélites Landsat Thematic Mapper e Terra.

Em relação ao regime hídrico da rega normal (FI), o regime hídrico da rega deficitária (DI) apresentou progressiva severidade no défice hídrico das oliveiras, com diminuição nos valores da transpiração e redução nos valores da humidade do solo e do potencial hídrico da cultura. A rega normal apresentou também défice hídrico moderado nos meses de julho e agosto, ainda que menos pronunciado que no observado para o tratamento de rega deficitário. Os resultados dos modelos de Orgaz *et al.* (2007) e "big leaf" de Penman-Monteith indicam que uma vez validados poderão ser usados para prever a transpiração potencial do olival super-intensivo no Alentejo. A baixa correlação entre a transpiração e os valores do índice de vegetação NDVI durante o período de rega inviabiliza a possibilidade de se prever a transpiração do olival através da detecção remota de reflectâncias espectrais relacionadas com o NDVI.

**Palavras-chave:** Arbequina, *Olea europaea* Rega, Regime hídrico, relações hídricas

### ABSTRACT

This study characterizes the effects of a typical farmer irrigation management and one of deficit irrigation imposed to a hedgerow olive orchard (1,35 x 3,75 m) in the region of Évora, Southern Portugal on a Eutric Cambisol soil (FAO, 1998). The two irrigation regimes and their effects on tree transpiration, soil water content and stem and leaves water potential, a physiological parameter indicator of plant water stress, are analysed.

With deficit irrigation DI imposed after pit fruit hardening, it was observed a progressive reduction on the values of tree transpiration, stem and leaf water potential and soil water content predominantly towards the end August and September. For the normal irrigation treatment (FI) transpiration values slightly declined for the months of July and August, although less than the ones for treatment DI. Results obtained with the "big leaf" model of Penman-Monteith (Jones, 1992) and bulk canopy conductance model of Orgaz *et al.* (2007) indicate that once validated they can be used to predict the transpiration of non-stressed hedgerow olive orchards in Alentejo. Predicting transpiration with the remotely sensed vegetation index NDVI proved difficult for lack of a strong correlation between the two parameters.

**Keywords:** Arbequina, Irrigation, *Olea europaea*, Water Regime, Water Relations

## Introdução

A importância e modernização da olivicultura no sector agrícola português tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, sendo cada vez maiores as áreas de olival intensivo e super-intensivo plantadas sobretudo no Alentejo. A modernização tem-se principalmente traduzido na plantação de novos olivais em sebe, regime super-intensivo, com espaçamentos muito apertados e na introdução da rega localizada e mecanização das diferentes operações culturais, sobretudo na poda e na apanha. Devido a economias de escala, os custos por unidade de produção são mais baixos em cultivo super-intensivo, o que explica que a condução da oliveira se faça atualmente em regime intensivo e com rega, em detrimento do modo de condução tradicional, com compassos mais alargados entre as árvores e em sequeiro (Santos *et al.*, 2007). A oliveira é uma cultura estratégica da bacia do mediterrâneo, bem adaptada à seca e com produções aceitáveis mesmo quando não regada. No entanto, a rega tem provado ser um importante fator de produção, que aumenta e melhora a qualidade dos frutos (Fernández, 2006; Ramos e Santos, 2010). Daí ser necessário mais conhecimento e melhorias na gestão da rega do olival, principalmente no Alentejo, região de Portugal com escassos recursos hídricos e com clima acentuadamente mediterrânico, onde os verões quentes e secos, de elevada radiação líquida e défices de pressão de vapor do ar, impõem a necessidade da rega. Face aos aumentos consideráveis de área regada, essencialmente de olival e vinha (INE, 2009), uma gestão cuidada das dotações aplicadas e dos tempos de rega é também importante para a maximização dos recursos hídricos disponíveis. Essa gestão cautelosa é também necessária para (Lavee *et al.* 2007) garantir a sustentabilidade do regadio na região, melhorando a eficiência e a produtividade da água (Santos *et al.*, 2007). Práticas de rega deficitária e a sua otimização podem ajudar a maximizar essa eficiência e produtividade e a melhorar os rendimentos e benefícios económicos das explorações agrícolas (Goldhamer *et al.*, 1994; Fereres e Soriano, 2007). Sabe-se (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998) que a introdução de melhorias na gestão da rega, quer em regime normal ou deficitário, passa por um rigoroso conhecimento das necessidades hídricas da cultura, traduzindo-se no conhecimento da evapotranspiração real (ET<sub>c</sub>) e de referência (ET<sub>o</sub>) da cultura e dos mecanismos fisiológicos condicionantes. Face aos diversos e complexos parâmetros de que depende esse conhecimento, tem sido frequente o recurso à modelação, com modelos físicos ou empíricos, para calcular a evapotranspiração (ou transpiração, T) das

plantas (Jones, 1992; Testi *et al.*, 2006; Allen *et al.*, 1998; Hamdy, 2007), ou para a prever a partir de detecção remota de assinaturas espectrais das culturas, avaliadas ao longo do ciclo produtivo e convertidas em índices de vegetação (Glenn *et al.*, 2008; Huete, 2004). Neste estudo usa-se o modelo “big leaf” de Penman-Monteith (Jones, 1992) para caracterizar a transpiração potencial do olival em situação de conforto hídrico. O modelo permite estimar o fluxo de calor latente relacionado com a transpiração e incorpora variáveis micro-meteorológicas e fisiológicas (Jones, 1992). O coberto vegetal é representado por uma fina camada verde (modelo da folha gigante ou “big leaf”), localizada a uma altura característica acima do solo e na qual tem origem o fluxo de vapor de água associado à transpiração. Considera-se que o conjunto das condutâncias estomáticas e aerodinâmicas é adequadamente representado por uma única condutância do coberto  $g_c$ , determinada neste estudo com o modelo de Orgaz *et al.* (2007) em vez da tradicional prática de considerar uma condutância média das folhas e o índice de área foliar (Jones, 1992; Anderson *et al.*, 2000.). O modelo proposto por Orgaz *et al.* (2007), especificamente calibrado e validado para o olival regado (Testi *et al.*, 2006), baseia-se na assimilação de carbono e na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa incidente, facto que permite ter em conta a copa e a densidade de plantação do olival, sugerindo o seu uso para o olival super-intensivo. Caracterizam-se também os efeitos de uma condução típica de rega praticada pelo agricultor em olival super-intensivo (1,35 x 3,75 m) na região de Évora (Alentejo) e em solo Cambissolo Eútrico (FAO, 1998), referida como rega normal (FI), e compara-se com uma condução de rega deficitária (DI) onde, depois do endurecimento do caroço das azeitonas, apenas se reduz o caudal dos gotejadores, de 2,3 l/h para 1,6 l/h, mantendo-se os mesmos tempos e frequência de regas praticados com a rega normal FI. Analisam-se os efeitos destes dois tratamentos de rega sobre a transpiração, a humidade do solo e o potencial hídrico, um parâmetro fisiológico indicador do estado de stress hídrico da cultura. Avaliam-se também os resultados potenciais de transpiração a obter com regas em regime de conforto hídrico, valores esses resultantes do modelo de condutância estomática global da copa de Orgaz *et al.* (2007) aplicados ao modelo “big leaf” de Penman Monteith (Monteith, 1973; Jones, 1992). O mais usado índice de vegetação (VI) baseado na detecção remota das assinaturas espectrais de culturas herbáceas e lenhosas tem sido o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que por sua vez é largamente usado na previsão da transpira-

ção das culturas herbáceas e lenhosas (Nagler *et al.*, 2005a). Os métodos de predição da transpiração com os índices de vegetação (VI) são modificações do método dos coeficientes culturais (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998) para estimar as necessidades hídricas e o uso da água pelas culturas regadas. Baseiam-se na correlação de séries temporais de medições de VI com séries de medições *in loco* de ETc ou T, para desenvolver uma curva VI-ETc (VI-Kc). Uma vez calibradas e validadas para o local, essas curvas podem produzir estimativas muito fidedignas da evapotranspiração (ou transpiração) das culturas (Nagler *et al.*, 2005a, b; Huete, 2004; Glenn *et al.*, 2008). Neste estudo analisa-se também a possibilidade de prever a transpiração do olival super-intensivo com valores do índice de vegetação NDVI estimados através de assinaturas espectrais do olival, obtidos por detecção remota a partir dos sensores Landsat e MODIS instalados nos satélites Landsat Thematic Mapper e EOS-1 Terra. Finalmente avalia-se o efeito dos dois tratamentos de rega na produção de azeitonas.

## Material e Métodos

### Local do ensaio

O presente estudo foi realizado na região de Évora (Alentejo, Portugal) e na Herdade da Zambujeira, num olival super-intensivo de 1976 árvores (*Olea europaea* L. cv. 'Arbequino') plantado em 2006 e com as árvores dispostas no sentido Norte-Sul e num compasso de 1,35 m na linha por 3,75 m na entrelinha. Pertencente à empresa Olivais do Sul (38°24'47.03" N, 7°43'38.36" O), o olival foi submetido de 1 de maio a 14 de outubro de 2011 a dois regimes de rega: regime normal (FI), em que se aplicou água de rega ao olival através de gotejadores de 2,3 l h<sup>-1</sup> e espaçados de 0,75 metros, com dotações (calendarização e tempos de rega) sob a responsabilidade da empresa (agricultor) e outro regime, deficitário (DI), em que, a partir do endurecimento do caroço dos frutos a 14 de julho e em 3 filas de árvores, se substituíram as rampas de rega com gotejadores de 2,3 l h<sup>-1</sup> por rampas debitando 1,6 l h<sup>-1</sup>, mantendo-se os tempos e frequência de rega praticados na modalidade FI e regando-se deste modo até à colheita, em outubro.

### Transpiração e variáveis micro-meteorológicas

Para avaliar a transpiração do olival, em cada tratamento de rega selecionaram-se 4 árvores representativas do olival, em cujos troncos foi instalado um sen-

sor de fluxo de seiva por árvore. Os valores de fluxo de seiva foram obtidos em intervalos consecutivos de 30 min, durante todo o período das regas. Para o cálculo da transpiração diária T do olival em l d<sup>-1</sup> usou-se o método de impulso de calor (CHP), descrito em Fernández *et al.*, (1996) e Green *et al.* (2003), em que os valores médios de fluxo de seiva são integrados no tempo, num total de 48 medições por dia. A evapotranspiração de referência (ETo) no local do ensaio foi calculada com o método da FAO-Penman-Monteith, com os procedimentos descritos em Allen *et al.* (1998). Os dados micro-meteorológicos, bem como a precipitação, foram obtidos por uma estação meteorológica automática situada nas proximidades do local do ensaio. Valores médios horários dos parâmetros meteorológicos velocidade do vento, temperatura do ar, radiação solar, precipitação e humidade relativa foram medidos e avaliados. Valores médios de radiação líquida foram obtidos cada 30 minutos por um sensor colocado no topo das árvores (NrLite net radiometer, Kipp & Konen, Holland) e ligado a um sistema de aquisição de dados (data logger Campbell CR10X, Campbell Scientific, Logan, UT, USA).

### Humidade e características do solo

Para avaliar a humidade do solo na zona molhada dos gotejadores e ao longo da linha e na entrelinha das árvores, nos dois tratamentos, instalou-se perpendicularmente à linha das árvores dois conjuntos de 4 tubos de acesso à sonda TDR (TDR-Trime Imko GmbH, Germany) até 0,7 m de profundidade e espaçados de 0,20 m, 0,50 m, 1,0 m e 1,9 m da linha dos gotejadores. O Quadro 1 apresenta as principais características físicas, químicas e hidrodinâmicas do solo Ppq, lítólico não húmico, pouco insaturado, de quartzodioritos ou rochas afins (Cardoso, 1974) ou CMeu, cambissolo eútrico (FAO, 1998), do local do ensaio, obtidas de amostras no estado natural colhidas de 2 perfis abertos no local (P186 e P187, respectivamente). Medições laboratoriais indicam que o teor volumétrico médio de água no solo ( $\theta$ ), correspondente ao potencial matricial do solo,  $\Psi_m$ , de 0,01 MPa (capacidade de campo) era de 0,390 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> entre 0 e 18/20 cm de profundidade, e de 0,332 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> entre 18/20 e 30/35 cm de profundidade, sendo os valores de  $\theta$  para  $\Psi_m$  igual a -1,5 MPa (ponto de emurchecimento permanente) de 0,122 e 0,114 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente.

### Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e potencial hídrico da folha e ramo

Para avaliar a interceptação da luz fotossinteticamente ativa (PAR), parâmetro indispensável para a mo-

**Quadro 1** – Principais características físicas e químicas do solo (perfil P186).

Perfil	P186	
	0-18/20	18/20-30/35
Profundidade, cm		
Textura	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Elementos grosseiros (EC > 2 mm), %	0,5	5,0
Areia grossa, %	29,3	34,7
Areia fina, %	46,1	42,9
Limo, %	7,9	7,3
Argila, %	16,7	15,1
Densidade aparente, Mg m <sup>-3</sup>	1,60	1,73
Porosidade total, cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,435	0,365
pH (H <sub>2</sub> O)	7,12	7,10
Condutividade elétrica, dS m <sup>-1</sup>	0,20	0,12
Razão de adsorção de sódio (SAR), (meq l <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,74	0,98
Capacidade de troca catiónica, cmol <sub>(c)</sub> kg <sup>-1</sup>	20,36	19,07
Percentagem de sódio de troca (ESP), %	0,54	0,50
Grau de saturação (V), %	94,6	74,2
Condutividade hidráulica saturada (Ks), cm d <sup>-1</sup>	21,4	16,0

delação da transpiração pelo método de Orgaz *et al.* (2007), usou-se um conjunto de 8 sensores (Quantum QPAR-02, Tranzflo, Palmerstone, NZ) sensíveis à luz na banda do visível (400 – 700 nm). Para avaliar a luz incidente, colocou-se um sensor QPAR-02 a 4, 0 m de altura, acima do topo das árvores. Os restantes, destinados a avaliar a quantidade de luz incidente absorvida pela copa, foram colocados ao nível do solo e assim distribuídos: dois sensores na linha dos gotejadores a 0,20 e 0,675 m do tronco e 2 conjuntos de outros 3 sensores perpendiculares à linha das árvores, respectivamente nas direções este e oeste e espaçados de 0,20, 1,0 e 1,88 m do sensor mais próximo do tronco. Os valores de PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) obtidos foram registados e armazenados num sistema de aquisição de dados (data logger Campbell CR1000, Campbell Scientific, Logan, UT, USA).

Em quatro árvores de cada um dos tratamentos de rega mediu-se o potencial hídrico do ramo ( $Y$ , MPa), em pequenos ramos terminais com cinco a dez folhas envolvidos nas duas horas anteriores às leituras por saco de plástico revestido com papel de alumínio (Goldhamer *et al.*, 2001). Foram também efectuadas medições de potencial hídrico da folha, em folhas de ramos terminais, expostos ao sol e à sombra. As leituras foram ao meio dia solar, com o auxílio de uma câmara de pressão (PMS Instruments, Corvallis, USA).

### Assinaturas espectrais

Obteve-se as assinaturas espectrais da superfície do olival em forma de reflectância com cor-

reção atmosférica, através dos produtos MODIS MOD09GQ e MYD09GQ fornecidos pelos sensores instalados nos satélites Terra e Aqua ([https://lpdaac.usgs.gov/about/citing\\_lp\\_daac\\_and\\_data](https://lpdaac.usgs.gov/about/citing_lp_daac_and_data)) e Landsat Thematic Mapper ([http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/TM](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/TM)), respectivamente. As bandas MODIS 1 (620-670 nm) e MODIS 2 (841-876 nm), bem como as bandas 3 e 4 do Landsat TM foram posteriormente usadas para avaliar o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

em que NIR é a banda do infravermelho próximo e R é a banda do vermelho. Aplicou-se a Eq. 1 aos valores das bandas do vermelho e infravermelho próximos, produzindo valores de NDVI pertencentes ao intervalo [-1, 1], com os mais próximos de 1 a indicarem maior absorção na região do vermelho, causada pela clorofila das folhas verdes e mais energia reflectida na região do infravermelho próximo, devido à estrutura celular e à distribuição angular das folhas, bem como outros factores que se prendem com a reflectância bidirecional (Glenn *et al.*, 2008).

### Produção final do olival

Para avaliar o efeito dos dois regimes hídricos, a 25 de outubro de 2011, escolheram-se oito árvores em cada um dos tratamentos, incluindo as providas

com os sensores de fluxo de seiva e efetuou-se a colheita manual dos frutos pelo método tradicional de varejamento. Posteriormente avaliou-se a produção final e o conteúdo em óleo das azeitonas colhidas.

*Modelo de Orgaz et al. (2007)*

O modelo permite o cálculo da condutância estomática da copa  $g_c$  com base na assimilação de carbono e no uso eficiente da radiação fotossinteticamente ativa e aplica os valores de  $g_c$  na obtenção da transpiração potencial do olival em conforto hídrico (Testi *et al.*, 2006; Orgaz *et al.*, 2007) através do modelo "big leaf" de Penman-Monteith (Jones, 1992; Monteith, 1981).

Com as variáveis micro-meteorológicas locais, a temperatura do ar e os valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), bem como a radiação líquida para o período solar do dia, calcularam-se os valores horários de condutância estomática da copa  $g_c$  e a transpiração potencial do olival  $T$ , usando a seguinte expressão de Penman-Monteith com a condutância estomática  $g_s$  a representar a condutividade de estomática das folhas,

$$T = \frac{D(Rn - G) + r_a c_p (D) g_a}{D + g(1 + \frac{g_a}{g_s})} \quad (2)$$

e adequadamente modificada por Monteith (Jones, 1992, Allen *et al.*, 1998), para modelar a transpiração global da copa por substituição de  $g_s$  por  $g_c$  sem contudo o modelar para o olival.

$$T = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a c_p (D) g_a}{\Delta + \gamma(1 + \frac{g_a}{g_c})} \quad (3)$$

em que  $Rn$  ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ ) é a radiação líquida a pressão constante,  $G$  ( $MJ/m^2/d$ ) o fluxo de calor do solo,  $C_p$  ( $MJ/kg/^\circ C$ ) o calor específico a pressão constante ( $1,013 \times 10^{-3}$ ),  $\rho_a$  ( $kg/m^3$ ) a massa volúmica do ar a pressão constante,  $\gamma$  ( $kPa/^\circ C$ ) a constante psicrométrica (0,067),  $\lambda$  ( $MJ/kg$ ) o calor latente de vaporização,  $\Delta$  ( $kPa/^\circ C$ ) o declive da curva de pressão de vapor,  $D$  ( $kPa$ ) o déficit de pressão de vapor,  $g_a$  ( $m/d$ ) a condutância aerodinâmica do ar,  $g_s$  ( $m/d$ ) a condutância estomática das folhas e  $g_c$  ( $m/d$ ) a condutância global da copa.

Para o cálculo de  $g_c$  para o olival super-intensivo usou-se o modelo de cálculo da condutância estomática global da copa proposto para o olival intensivo por Orgaz *et al.* (2007). Sendo a taxa de assimilação de carbono a incógnita principal do modelo,

precisando para o seu cálculo de modelos sofisticados e do conhecimento da atividade fotossintética das oliveiras, Orgaz *et al.* (2007) utilizam com sucesso um modelo de assimilação de carbono baseado na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa incidente, facto que permite a extrapolação das folhas para a copa e ainda ter em conta a densidade de plantação do olival. Calcularam-se então os valores de  $g_c$  para o local do ensaio com a equação,

$$g_c = \frac{\gamma}{\rho C_p} \frac{QR_{sp}}{D} f(T_d) \quad (4)$$

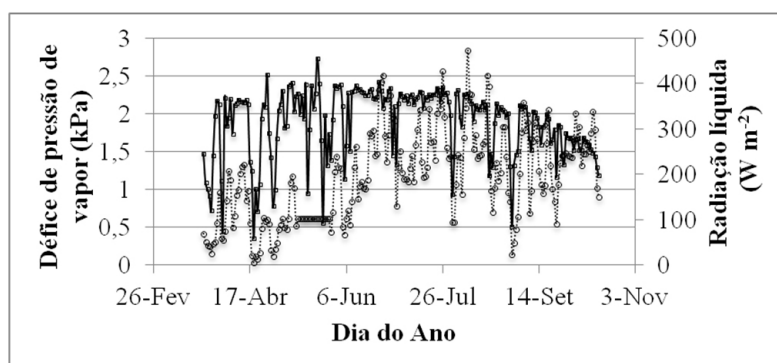
em que  $Q$  é a fração da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR) interceptada pela copa,  $T_d$  ( $^\circ C$ ) a temperatura média durante o dia solar ( $Rn > 0$ ),  $R_{sp}$  ( $W m^{-2}$ ) a radiação PAR incidente,  $D$  ( $kPa$ ) o déficit de pressão de vapor durante o dia solar, parameterizada e validada experimentalmente por Orgaz *et al.* (2007) e (Testi *et al.*, 2006) com a formulação seguinte e onde os termos  $Q$ ,  $\gamma$ , e  $C_p$  foram incluídos nos coeficientes, apresentados na seguinte equação.

$$g_c = \frac{QR_{sp}}{10^3 D} (2,736 T_d - 8,71) \quad (5)$$

## Resultados

### Parâmetros climáticos, radiação líquida e déficit de pressão de vapor do ar

A precipitação média para o mês de maio, com as regas a terem início no primeiro do mês, foi de 63,2 mm, diminuindo progressivamente até setembro. Sem precipitação no mês de julho, a precipitação em junho foi de 14,4 mm, sendo de 31,8 e 43,2 mm em setembro e outubro, respectivamente. O total da precipitação em setembro ocorreu nos três primeiros dias do mês, com 30,6 mm no primeiro dia e os restantes 1,2 mm nos seguintes. A temperatura máxima do ar no mês de maio foi de 24  $^\circ C$ , sendo as de junho, julho e agosto superiores a 30 $^\circ C$ , com as mínimas entre 11 e 16  $^\circ C$ . A evapotranspiração de referência média diária  $ETo$  foi de 4,2  $mm d^{-1}$  em maio e de respectivamente 6,2, 7,0, 5,5 e 3,8  $mm d^{-1}$  nos seguintes meses. A Figura 1 apresenta os valores diários de radiação líquida ( $Rn$ ) e de déficit de pressão de vapor de ar ( $D$ ) para o local do ensaio. A radiação líquida manteve-se elevada, com valores sempre próximos de 400  $W m^{-2}$  durante todo o



**Figura 1** – Déficit de pressão de vapor (tracejado) e radiação líquida (cheio) no local do ensaio durante os meses de março a outubro de 2011 na Herdade da Zambujeira (Olivais do Sul, OS), Monte do Trigo, Alentejo.

período de rega, de maio a agosto e com ligeiro declínio a partir do mês de setembro. O déficit de pressão de vapor manteve-se abaixo de 1,0 kPa até ao mês de junho, aumentando progressivamente até julho e agosto, com valores próximos de 3 kPa. A combinação de baixa precipitação e elevados valores de temperatura do ar, radiação líquida e déficit de pressão de vapor explicam os elevados valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) registados para os meses de verão, tornando a rega indispensável para o adequado desenvolvimento do olival.

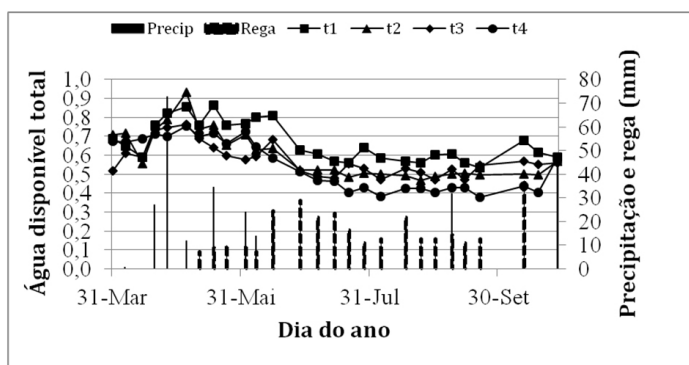
### Evolução da humidade do solo e do potencial hídrico

A Figura 2 apresenta a evolução da humidade do solo no tratamento de rega normal (FI) e ao longo do período de rega. A humidade é elevada (0,7 a 0,8 da água disponível total) durante os meses de março a maio, resultante do armazenamento de água no solo ocasionado pelas chuvas de inverno e outono, diminuindo para os meses de junho a setembro, com valores entre 0,5 e 0,6. Como previsível, os valores mais elevados de água disponível observam-se para os tubos 1 e 2, mais próximos da linha de gotejadores, diminuindo a humidade do solo à medida que se afasta dessa linha. Os valores de humidade do solo disponíveis em setembro acompanham a evolução dos outros meses de verão, reflexo da quase ausência de chuvas nesse mês de grande importância para o olival, quando reativa a atividade fisiológica depois dos meses de estio, altura em que é baixa essa atividade, e cuja precipitação é importante para o enchimento e preparação dos frutos para a colheita. Como consequência da progressiva diminuição do armazenamento de água no solo, registou-se um progressivo déficit e stress hídrico no olival, apresentado na Figura 3 pelos valores de potencial hídrico do ramo e folha, com os valores do potencial a

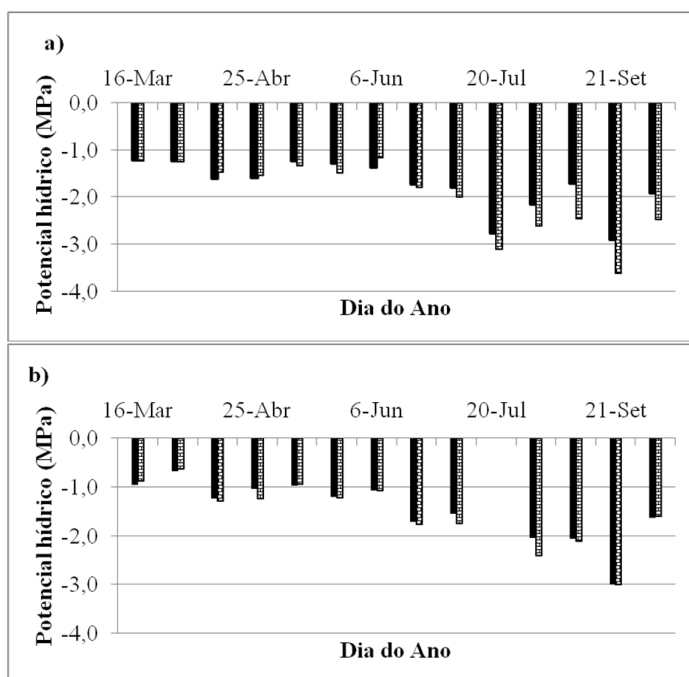
acompanharem essa diminuição, caindo para valores próximos de 3 MPa nos meses de julho a setembro, principalmente no tratamento de rega deficitário (DI). Ainda que o olival seja capaz de suportar valores mais negativos de potencial hídrico (Sofo *et al.*, 2008; Fernandez *et al.*, 1997) e recuperar com os primeiros meses de chuva (Moriana *et al.*, 2007), valores abaixo de 3 MPa são considerados como de stress hídrico (Fernandez *et al.*, 1997), com possíveis consequências negativas na produção de frutos. A Figura 4 apresenta a relação entre a água utilizável e o potencial hídrico da cultura para o tratamento de rega deficitário (DI) onde se observa que, abaixo de 0,5 da água disponível total, o potencial hídrico decresce rapidamente, facto que aconselha manter a água no solo sempre acima de 0,6 para evitar o stress hídrico das plantas.

### Evolução da transpiração, transpiração potencial e rega aplicada

Com o início e final das regas entre 1 de maio e 7 de outubro de 2011, e tendo-se iniciado o regime de rega deficitário (DI) a 14 de julho, aplicou-se no período um total de 305 mm de água no regime de rega normal (FI) e 255 mm no regime deficitário (DI). A transpiração das árvores durante o período foi de 362 mm para o regime de rega normal (FI), 57 mm mais do que o total das regas aplicadas, enquanto que no regime de rega deficitário (DI) foi de 259 mm, com menos 103 mm em relação à transpiração do regime FI, mas com apenas 4 mm de diferença em relação à água aplicada com as regas. Globalmente, a transpiração total observada entre 23 de março e 7 de outubro foi de 437 mm para a rega FI e 440 mm para a rega DI, fruto da mobilização de água das chuvas armazenada no solo para a transpiração das árvores nos meses de abril e de maio e da maior capacidade de uso dessa água pelas árvores sob o



**Figura 2** – Umidade do solo avaliada para o regime hídrico de rega normal (FI) e para os quatro tubos de acesso t1 a t4, distanciados da linha das árvores, em direção à entrelinha. Em colunas, os valores da precipitação e da rega.

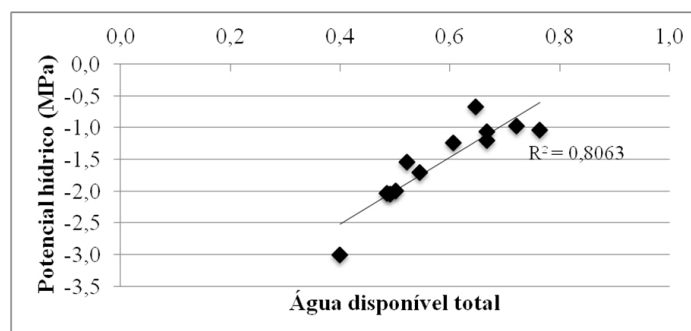


**Figura 3** – a) potencial hídrico da folha ao longo do período vegetativo, incluindo o período de rega, b) potencial hídrico do ramo ao longo do período vegetativo, incluindo o período de rega. Colunas à esquerda indicam valores de potencial hídrico observados no tratamento de rega normal (FI) e as da direita indicam os observados no tratamento de rega deficitário (DI).

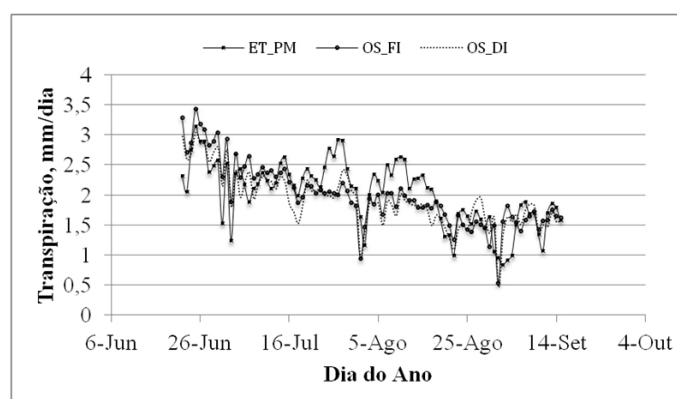
regime de rega deficitário. Entre 22 de junho e 15 de setembro, com a aplicação de 176 mm de rega no regime FI, a sua transpiração foi de 171 mm, com 165 mm para o regime DI e aplicação de 141 mm de água de rega. Os 24 mm de diferença entre a água aplicada com as regas e a usada na transpiração das árvores do regime DI deve-se ao eficiente uso da água das chuvas ocorrida e armazenada no solo nos 3 primeiros dias de Setembro. A Figura 5 apresenta a evolução da transpiração registada no período de 22 de julho a 15 de Setembro.

Com as variáveis micro-meteorológicas locais, a temperatura do ar e os valores de radiação fotosinteticamente ativa (PAR) e radiação líquida, cal-

culou-se com a Eq. 5 de Orgaz *et al.* (2007) os valores horários de condutância estomática global da copa,  $g_c$  e com a Eq. 3 de Penman-Monteith estimou-se os valores da transpiração potencial  $T_{PM}$  para o olival em condições de conforto hídrico, tidos como máximos para satisfação das solicitações atmosféricas vigentes. A evolução de  $T_{PM}$  é apresentada na Figura 5. O valor acumulado de 174 mm para o período em causa é muito próximo do de 171 mm de transpiração observado para o regime de rega normal (FI), diferindo de 9 mm para o registado no regime de rega deficitário (DI). A chuvada de 31 mm em setembro foi ainda assim benéfica para o olival, levando a uma boa recuperação das árvores do re-



**Figura 4** – Relação entre o potencial hídrico do ramo no tratamento de rega deficitário (DI) e a respectiva humidade do solo.



**Figura 5** – Transpiração (ET\_PM) obtida com o modelo “big leaf” de Penman-Monteith e Orgaz *et al.* (2007) e com o método do fluxo de seiva no olival super intensivo da Herdade da Zambujeira (Olivais do Sul, OS) para os tratamentos de rega normal (OS\_FI) e deficitário (OS\_DI) durante o período de rega de 22 de julho a 15 de setembro de 2011.

gime de rega deficitário nessa altura crítica em que o olival recupera a sua atividade fisiológica após o longo descanso estival (Feres e Soriano, 2007), quando fecham os estomas e reduzem a transpiração e a atividade fotossintética (Ramos e Santos 2009; Dias-Espejo *et al.*, 2007).

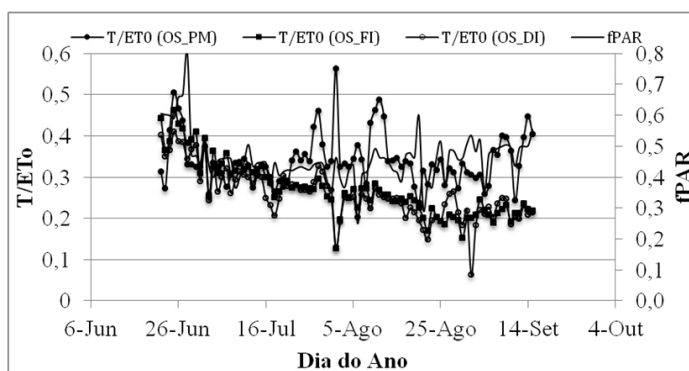
Na Figura 6 apresenta-se a evolução da relação T/ETo para os dois regimes de rega e para o modelo de Orgaz e Penman-Monteith. Para os dois tratamentos, a relação T/ETo, comparável ao coeficiente cultural basal Kcb de Allen *et al.* (1998) e Paço *et al.* (2006), decresce progressivamente a partir do mês de junho e até setembro, com um valor médio de 0,270 para o regime FI e de 0,258 para o regime DI. Os resultados que simulam conforto hídrico, obtidos com a aplicação do modelo, são mais estáveis, sem a quebra observada nos dois tratamentos de rega e com um valor médio de 0,342 para o período. No Quadro 2 apresentam-se os valores de ETo, transpiração e relação T/ETo obtidos com o modelo e no Quadro 3 apresentam-se os valores acumulados de transpiração e de regas praticadas nos períodos acima referidos. A radiação PAR média absorvida pelas árvores foi de 0,462, e com um padrão evolutivo

temporal muito semelhante ao dos valores de T/ETo observados com a aplicação do modelo.

### Evolução das assinaturas espectrais, NDVI e relação com a transpiração

Apresentam-se na Figura 7 os valores do índice de vegetação NDVI calculados para o olival super-intensivo do ensaio. No período das regas, de maio a outubro, os valores permanecem relativamente constantes, entre 0,4 e 0,5, sendo superiores para os meses de outubro a março, normalmente chuvosos e sem rega. Comparam-se na mesma figura os valores típicos de NDVI obtidos de um olival intensivo, que são superiores a 0,6 nos meses de outubro a março e apresentam uma progressiva e acentuada redução nos meses de rega, de junho a setembro, para mínimos abaixo de 0,35. Na Figura 8 apresenta-se a evolução temporal da transpiração do olival em regime de rega normal (FI) e dos correspondentes índices NDVI. De observar a constância dos valores de NDVI durante o período, em contraste com as oscilações nos valores de transpiração, indiciando uma fraca correlação estatística entre os dois parâmetros.





**Figura 6** – Transpiração relativa (T/ETo) obtida com o modelo “big leaf” de Penman-Monteith (OS\_PM) e com o método do fluxo de seiva no olival super intensivo da Herdade da Zambujeira (Olivais do Sul, OS) para os tratamentos de rega normal (OS\_FI) e deficitário (OS\_DI) durante o período de rega de 22 de julho a 15 de setembro de 2011. Incluído os valores de radiação fotosinteticamente ativa incidente e absorvida pela copa (fPAR) no período considerado.

**Quadro 2** – Valores médios mensais de evapotranspiração potencial (ETo) e de transpiração relativa (T/ETo), obtidos com o modelo “big leaf” de Penman-Monteith e Orgaz *et al.* (2007).

Mês	ETo (mm/d)	Transpiração (mm/d)	T/ETo-PM (Kcb)
Junho	6,16	2,97	0,48
Julho	6,98	2,12	0,30
Agosto	5,52	1,65	0,30
Setembro	3,83	1,47	0,38

**Quadro 3** – Valores acumulados de rega aplicada e correspondentes valores de transpiração (T) na rega normal (FI) e deficitária (DI) do ensaio. Inclui-se a evapotranspiração de referência (ETo), a precipitação e a transpiração (T\_PM) obtidos com o modelo “big leaf” de Penman-Monteith e Orgaz *et al.* (2007).

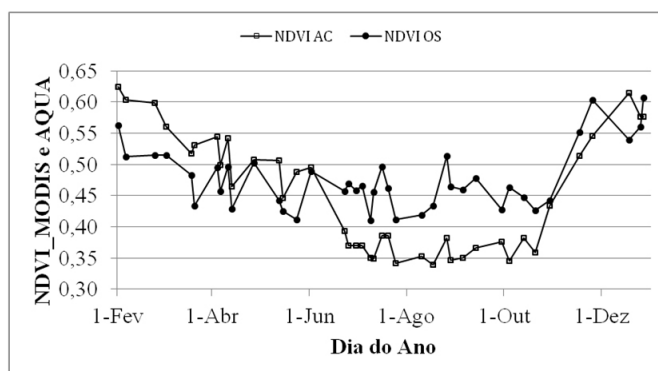
(mm)	Período do ano		
	23 mar-7 out	1 mai-7 out	22 jun-15 set
T_PM			174
T_FI	437	362	171
T_DI	440	259	165
Rega_FI		305	176
Rega_DI		255	141
ETo	550		
Precipitação	232	119	31

## Produção final

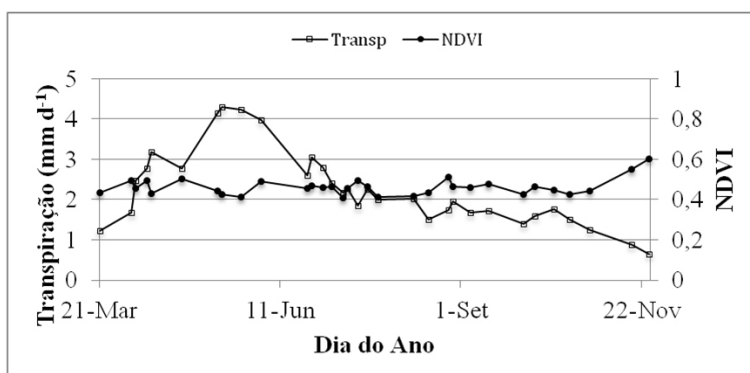
Apresenta-se no Quadro 4 a produção média final de frutos resultante da amostragem de oito árvores nos dois tratamentos de rega, indicando diferenças significativas entre as produções médias ( $p < 0,05$ ). Extrapolando-a para o olival (1976 árvores) estima-se a produção final em cerca de  $18700 \pm 2528$  kg de azeitonas para o regime de rega normal FI e de  $14000 \pm 2042$  kg para o regime deficitário DI.

## Discussão

De acordo com a Eq (3), diferenças na transpiração das plantas serão atribuíveis a diferenças nos factores micro-meteorológicos, radiação líquida ( $R_n$ ), fluxos de calor do solo ( $G$ ) ou déficit de pressão de vapor ( $D$ ) a que as plantas estão sujeitas, ou à intercepção da PAR pelas folhas e à “eficiência” com que usam essa radiação. Sendo as condições micro-meteorológicas semelhantes para os dois tratamentos de rega em causa, depreende-se que



**Figura 7** – Valores do índice de vegetação NDVI calculados para o olival super-intensivo do ensaio (1976 árvores) na Herdade da Zambujeira, propriedade da empresa Olivais do Sul (NDVI OS) e para um olival intensivo (300 árvores) na Herdade Álamo de Cima (38°24'47.03" N, 7°43'38.36" O), pertencente à empresa Fundação Eugénio de Almeida (NDVI AC) e situada próxima do local do ensaio (38° 29' 49,44" N, 7° 45' 8,83" O), a partir de radiações espectrais na banda do infravermelho e do vermelho, obtidas do sensor MODIS instalado na plataforma dos satélites Terra e Aqua.



**Figura 8** – Evolução da transpiração do olival super-intensivo na Herdade da Zambujeira (Olivais do Sul, OS) com o regime de rega normal (FI), avaliado com os sensores de fluxo de seiva e os correspondentes valores do índice de vegetação NDVI para o período do ensaio.

**Quadro 4** – Produção média de fruto e teor em óleo na matéria seca nos regimes hídricos de rega deficitário e normal do olival em estudo (n = 8). Letras diferentes na mesma coluna indicam haver diferenças significativas entre médias (p<0,05).

Olival	Tratamento de rega	Produção média (kg frutos /árvore)	Teor de óleo na matéria seca (%)
Super-intensivo (Arbequina)	Deficitário, DI	7,13 ± 1,04 <sup>b</sup>	41,1
	Normal, FI	9,47 ± 1,28 <sup>a</sup>	42,0

as diferenças de transpiração registadas dependam, conforme a Eq (5), da condutância estomática global da copa,  $g_c$ , controlada principalmente pela fração da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR) interceptada pela copa e das limitações de água disponível no solo impostas pela rega ou pela falta de chuvas. Défices de água no solo provocam o fecho dos estomas e a redução nos

valores da condutância estomática (Bacelar *et al.*, 2007), com diminuição da transpiração do copado. Igualmente limitam a produção, controlada principalmente pela capacidade fotossintética líquida da planta, reduzida com o fecho dos estomas e menor radiação fotossinteticamente ativa interceptada e usada (Tognetti *et al.*; 2005, Grattan *et al.*, 2006; Dias-Espejo *et al.*, 2007).

## Disponibilidade de água no solo e potencial e regime hídrico dos olivais regados

A oliveira, secularmente cultivada em Portugal sob condições de secura prolongada no verão, desenvolveu nesse ambiente adverso mecanismos fisiológicos de tolerância ao stress hídrico (Bacelar *et al.*, 2007). Sofo *et al.* (2008) e Dias-Espejo *et al.* (2007) indicam que oliveiras sujeitas a regimes hídricos deficitários diminuem o teor de água dos tecidos celulares, constroem elevados gradientes de potencial hídrico entre as folhas e as raízes e, progressivamente, reduzem a sua atividade fotossintética e a transpiração. Sugerem que a redução e a eventual inibição da intensidade da fotossíntese começa muito cedo e é imediatamente acompanhada de diminuição da transpiração, o que os leva a crer que o défice hídrico em olivais wafete os mecanismos e processos fotoquímicos, principalmente pelo fecho estomático das folhas (Jarvis e McNaughton, 1986), que é gradual mas relevante para valores de potencial hídrico inferiores a 2,5 MPa.

A boa correlação estatística obtida entre a água utilizável no solo e o potencial hídrico da folha (Figura 4) e os baixos valores de água utilizável no solo no final do ciclo de desenvolvimento dos frutos, de julho a setembro (Figura 2), indicam que o olival sob rega normal (FI) esteve em défice hídrico muito moderado, tendo o regime de rega deficitário (DI) estado em défice hídrico mais acentuado, o que originou as reduções nos valores de transpiração e de produção observados.

## Evolução e predição da transpiração do olival com o índice de vegetação NDVI

As previsões dos modelos de Orgaz *et al.* (2007) e “big leaf” de Penman-Monteith maximizam os valores da transpiração (Fig. 5) esperados em olivais bem regados e em conforto hídrico (rega plena). Assim, os valores da relação  $T/ET_0$  de cerca de 0,3 (Fig. 6) indicam esse potencial esperado e sugerem a possível existência de défice hídrico e redução da taxa de transpiração nos dois tratamentos, principalmente no sujeito ao regime de rega deficitário. Os valores de  $T_{PM}/ET_0$  acompanham o padrão temporal de evolução da PAR no local do ensaio, o que não acontece com os valores de  $T/ET_0$  do regime de rega deficitário (DI), sugerindo que a redução de produção verificada para este último se deve a ineficiências na captação e uso da PAR, resultantes do défice hídrico e consequente fecho de estomas.

Os métodos de predição da transpiração a partir de dados de deteção remota baseiam-se normalmente no

balanço de energia da superfície ou no uso de índices de vegetação VI (Glenn *et al.*, 2008). Os primeiros tipicamente estimam os fluxos de calor latente através de diferenças entre a temperatura do ar e da superfície, obtidas por deteção remota (Nagler *et al.*, 2005a, b), sendo a transpiração final estimada por combinação de valores de fluxo de calor latente com os de energia disponível no local do ensaio. Os méritos e limitações do método são apresentados em Glenn *et al.* (2008), entre outros. Os segundos, baseados nos VI, são empíricos por natureza e dependem da relação entre a densidade das folhas e a transpiração potencial,  $T$  e também das condições micro-meteorológicas (Huete, 2004; Nagler *et al.*, 2005a, b) vigentes. Geralmente os valores de refletância nas bandas do vermelho e dos infravermelhos, adquiridos a frequentes intervalos de tempo, são convertidos no índice NDVI (Eq. 1) e relacionados com correspondentes medições de parâmetros micro-meteorológicas e de transpiração das árvores obtidas *in loco* por diversos métodos (balanço de água no solo, fluxo de seiva, método das flutuações instantâneas, entre outros). Para o olival tradicional e intensivo, o padrão temporal típico da curva de NDVI apresenta a forma de U (Santos e Ramos, 2011), com valores mais elevados de NDVI nos meses de janeiro a abril e decrescentes daí até agosto, retomando a tendência ascendente de setembro a dezembro. Apresentando a transpiração do olival uma curva em U invertida (Fig. 7) para o mesmo período, tal permite que a correlação entre a transpiração e o índice NDVI seja normalmente robusta, podendo-se daí desenvolver uma relação inequívoca entre os dois parâmetros capaz de ser usada para prever a transpiração do olival, conhecidos os valores de NDVI (Santos e Ramos, 2011).

Os resultados do estudo indicam que os valores de NDVI do olival super-intensivo em consideração se mantêm praticamente constantes (Figs. 7 e 8) ao longo dos meses de rega, de maio a setembro, não apresentando o esperado padrão em U típico do obtido para os olivais tradicionais e intensivos. Com a transpiração a seguir o tradicional padrão em U invertido (também observado para o olival tradicional e intensivo), tal origina fraca correlação estatística entre os dois parâmetros, inviabilizando a hipótese de predição da transpiração do olival super-intensivo com os valores de NDVI obtidos por deteção remota.

## Conclusões

Obteve-se uma diferença significativa de produção do olival com os dois regimes hídricos de rega estudados. A contínua diminuição de água disponível

no solo resultante da redução de água aplicada ao olival em regime de rega deficitário (DI) terá sido o principal factor condicionante da sua atividade fotossintética e limitante do crescimento do fruto nas últimas fases do seu ciclo de desenvolvimento. A elevada correlação entre o potencial hídrico da planta e a água utilizável do solo indicia dever-se usar o potencial hídrico como instrumento de avaliação, controlo e previsão do défice de água no solo. A constância dos valores de NDVI durante o ciclo de rega, geralmente próximos de 0,5, inviabiliza a possibilidade de serem usados para modelar e prever a transpiração do olival super-intensivo. Mais estudos são necessários para “fixar” o padrão de comportamento do índice de vegetação NDVI e de com ele prever a transpiração do olival super-intensivo. O modelo de condutância global da copa de Orgaz *et al.* (2007) aplicado ao modelo “big leaf” de Penman-Monteith mostrou-se aplicável ao olival super-intensivo, com os resultados da transpiração potencial daí obtidos a poderem ser usados, uma vez validados, para avaliar o uso de água do olival em situação de conforto hídrico, ou ainda para programar as suas necessidades hídricas. Perante esses valores de transpiração potencial e a produção obtida com o regime de rega normal FI, recomenda-se que o regime de rega deficitário DI seja praticado apenas em condições de limitação de água disponível para a rega ou em anos chuvosos, com considerável precipitação durante os meses de setembro e outubro. Em aberto fica a possibilidade de se aplicar a rega deficitária, a partir do endurecimento do caroço dos frutos até fins de agosto, retomando daí a rega normal. Igualmente, perante os valores de transpiração potencial e o moderado défice hídrico do regime de rega normal FI, fica em aberto a hipótese de a produção final de um olival bem regado poder ser superior ao observado. Ainda que sem diferenças significativas no teor médio de óleo na matéria seca, a maior produção do regime de rega normal indicia uma quantidade final em óleo superior à que se obterá da produção de frutos do regime de rega deficitário, reforçando a prudência necessária na adopção desta alternativa de rega para o olival super-intensivo.

## Agradecimentos

São devidos a Carlos Alexandre (Departamento de Geociências e ICAAM, Universidade de Évora) e J. Casimiro Martins, Ângela Prazeres, Adélia Varela, Tiago Ramos, Sara Rodrigues, Maria de Lurdes Cravo, Ana Maria Neves, Maria Clara Pegado e

Teresa Vales (UIARN-pólo de Oeiras, Departamento de Solos), pela descrição dos perfis de solo e supervisão e execução das determinações analíticas efectuadas no pólo de Oeiras da UIARN. São ainda devidos ao financiamento por fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e à FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito dos Projetos Estratégicos PEst-C/AGR/UI0115/2011 e FCOMP-01-0124-FEDER-014137, ref<sup>a</sup> FCT PTDC/AGR-PRO/111717/2009, e à empresa Olivais do Sul pela disponibilização das instalações na Herdade da Zambujeira em Monte do Trigo, Évora e por demais apoios concedidos na instalação e realização dos ensaios.

## Referências Bibliográficas

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes D. e Smith, M. (1998) - *Crop Evapotranspiration: Guide-lines for Computing Crop Water Requirements*. Rome, FAO. (Irrigation and Drainage Paper 56).
- Anderson, M.C.; Norman, J.M.; Meyers, T.P. e Diak, G.R. (2000) - An analytical model for estimating canopy transpiration and carbon assimilation fluxes based on canopy light-use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101: 265–289.
- Bacelar, E.A, Santos, D.L.; Moutinho-Pereira, J.M.; Lopes, J.L, Gonçalves, B.C.; Ferreira, T.C. e Correia, C.M. (2007) - Physiological behaviour, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. *Plant and Soil*, 292: 1-12.
- Cardoso, J.C. (1974) - A classificação de solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos*, Lisboa, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 17: 14-46.
- Diaz-Espejo A.; Nicolás E. e Fernández J.E. (2007) - Seasonal evolution of diffusional limitations and photosynthetic capacity in olive under drought. *Plant, Cell and Environment*, 30: 922-933.
- Doorenbos, J. e Pruitt, W. (1977) - Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. In: *Irrigation and Drainage Paper*. 24 Rev. Rome, FAO. FAO [Food And Agriculture Organization of The United Nations] (1998) - *World Reference Base for Soil Resources*. Rome, FAO. (World Soil Resources Report 84).
- Fereres, E. e Soriano, M.A. (2007) - Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2: 147-159.
- Fernández, J.E. (2006) - Irrigation management in olive. In: Caruso T.; Motisi A.; Sebastiani L. (Eds.) - *Biotechnology and Quality in Olive: Recent*

- Advances in Olive Industry*. Marsala, Italy, p. 295-272.
- Fernández, J.E.; Moreno, F.; Clothier, B.E. e Green, S.R. (1996) - Aplicación de la técnica de compensación de pulso de calor a la medida del flujo de savia en olivo. In: *Actas Del XIV Congreso Nacional de Riegos*. Aguadulce, Almeria, 11-13 Junio, p. 1-7.
- Fernández, J.E.; Moreno, F., Girón, I.F. e Blásquez, O.M. (1997) - Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant Soil*, 190: 179-192.
- Glenn E.P.; Huete A.R.; Nagler P.L. e Nelson, S.G. (2008) - Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8, 4: 2136-2160.
- Goldhamer, D.A., Dunai, J. e Ferguson, L. (1994) - Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Hort*. 356: 172-175.
- Goldhamer, D.A.; Salinas e Fereres, E. (2001) - Simplified tree water status measurements can aid almond irrigation. *Calif. Agric*. 55 (3), 32-37.
- Grattan, S.R.; Berenguer, M.J.; Connell, J.H.; Polito, V.S. e Vossen, P.M. (2006) - Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management*, 85, 133-140.
- Green S. R.; Clothier B. E. e Jardine, B. (2003) - Theory and practical application of heat-pulse to measure sap flow. *Agronomy Journal*, 95, 1371-1379.
- Hamdy, A. (2007) - Water use efficiency in irrigated agriculture: an analytical review. *Options méditerranéennes, Series B*, 57: 9-19.
- Huete, A.R. (2004) - Remote sensing for environmental monitoring. In: Artiola J.F., Pepper I.L. e Brusseau, M. (Eds.) - *Environmental monitoring characterization*. San Diego, CA, Elsevier Academic Press, Chapter 11, pp. 183-206.
- INE [Instituto Nacional de Estatística] (2009) - *Recenseamento geral da agricultura*. Lisboa, Portugal, Instituto Nacional de Estatística.
- Jarvis, P.G. e McNaughton, K.G. (1986) - Stomatal Control of Transpiration - Scaling up from Leaf to Region. *Advances in Ecological Research*, 15, 1-49.
- Jones, H.C. (1992) - *Plants and microclimate*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Lavee, S.; Hanoch, E.; Wodner, M. e Abramowich, H. (2007) - The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. 'Muhasan' olives (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae*, 112: 156-163.
- Monteith J.L. (1973) - *Principles of environmental physics*. Edward Arnold, London.
- Monteith, J.L. (1981) - Evaporation and Surface-Temperature, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107: 1-27.
- Moriana A.; Pérez-López D.; Gómez-Rico A.; Salvador M.D.; Olmedilla N.; Ribas, F. e Fregapane, G. (2007) - Irrigation scheduling for traditional, low-density olive orchards: Water relations and influence in oil characteristics. *Agricultural Water Management*, 87: 171-179.
- Nagler P.L.; Cleverly J.; Glenn E.; Lampkin D.; Huete A. e Zhengming, W. (2005a) - Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation indices and meteorological data. *Remote Sensing of the Environment*, 94: 17-30.
- Nagler P.L.; Scott R.L.; Westenburg C.; Cleverly J.R.; Glenn E.P. e Huete, A.R. (2005b) - Evapotranspiration of western U.S. rivers estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. *Remote Sensing of the Environment*, 97: 337-351.
- Orgaz, F.; Villalobos, F.J.; Testi, L. e Fereres, E. (2007) - A model of daily mean canopy conductance for calculating transpiration of olive canopies. *Functional Plant Biology*, 34: 178-188.
- Paço, T.A.; Ferreira, M.I. e Conceição, N. (2006) - Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: Comparison between eddy covariance measurements and estimates by the FAO 56 approach. *Agricultural Water Management*, 85: 305-313.
- Ramos, A.F. e Santos, F.L. (2009) - Water use, transpiration, and crop coefficients for olives (cv. Cordovil), grown in orchards in Southern Portugal. *Biosystems Engineering*, 102: 321-333.
- Ramos, A.F. e Santos, F.L. (2010) - Yield and olive oil characteristics of a low-density orchard (cv. Cordovil) subjected to different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97: 363-373.
- Santos, F.L. e A.F. Ramos, A.F. (2011) - *Transpiration and crop coefficients for irrigated olives based on remotely sensed vegetation indices and ground-based temperature data*. Olivebioteq2011, International Conference for Olive Tree and Olive Products. Crete, Chania.
- Santos, F.L.; Valverde, P.C.; Ramos, A.F., Reis, J.L. e Castanheira, N.L. (2007) - Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosystems Engineering*, 98: 102-114.
- Sofa A.; Manfreda S.; Fiorentino M.; Dichio B. e Xiloyannis, C. (2008) - The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12: 293-301.

- Testi, L., Villalobos, F.J., Orgaz, F. e Fereres, E. (2006) - Water requirements of olive orchards: I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrigation Science*, 24: 69-76.
- Tognetti, R., d'Andria, R., Morelli, G. e Alvino, A. (2005) - The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. *Plant Soil*, 273: 139-155.
- van Genuchten, M.Th. (1980) - A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898.