

## DETECÇÃO REMOTA NA GESTÃO DA ÁGUA DE REGA À ESCALA REGIONAL

Toureiro, Célia M. C. <sup>1</sup> & Serralheiro, Ricardo P. <sup>1</sup> & Oliveira, M<sup>a</sup> do Rosário <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Rural, <sup>2</sup>Departamento de Fitotécnia – Universidade de Évora, Apartado 94 – Pólo da Mitra, 7001 Évora, Telf:+351.266.760823 Fax: +351.266.711189

[cmct@uevora.pt](mailto:cmct@uevora.pt) e [ricardo@uevora.pt](mailto:ricardo@uevora.pt) e [mrol@uevora.pt](mailto:mrol@uevora.pt)

### Resumo

A utilização das novas tecnologias, como a teledeteção, mediante a utilização de imagens de satélite e sensores aerotransportados (radiómetros, espectroradiómetros, etc.), revela-se uma técnica fundamental na recolha de informação base para a gestão eficiente da água de rega à escala regional, ultrapassando as limitações impostas pela variabilidade e dispersão que caracterizam as parcelas de rega a esta escala.

A monitorização de parâmetros relacionados com a cultura, como a temperatura do coberto vegetal e a resistência estomática, obtidos pela medição directa, poderão ser óptimas ferramentas para gestão sustentável da água em agricultura de regadio, uma vez que integram os efeitos do clima e da disponibilidade de água no solo em cada instante. Alguns estudos já realizados (Jackson, R. D. 1982; Erdem, T. et al., 2006; González-Dugo, M. P., 2005; Liming Wang et. al., 2005; Suat Irmak, et. al., 2000; Yazar A., et. al., 1999) mostram que as técnicas de termometria de infravermelhos para determinar a temperatura do coberto vegetal, poderão ser óptimos indicadores (CWSI, *Crop Water Stress Index*) do estado hídrico da cultura em tempo real, mostrando no entanto que as técnicas de determinação utilizadas não terão sido as mais expeditas para avaliar o estado hídrico da cultura ao nível de uma parcela de rega, com uma resolução temporal e espacial adequada, que seja o suporte para a gestão integrada da água de rega à escala regional. A utilização remota destas tecnologias poderá ser a solução que assegure a integração na prática da gestão da rega em grandes áreas de regadio.

A presente comunicação faz referência a algumas questões de natureza técnica e científica relacionadas com o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados com utilização remota, para a gestão da água de rega à escala regional, tendo por base o controlo da temperatura da superfície cultural, por termometria de infra-vermelhos (temperatura radiante da folhagem na banda do IV), com a qual se pretende identificar o estado hídrico da cultura, directamente relacionado com a disponibilidade de água no solo.

Pretende-se que no final do trabalho se possa concluir acerca da operacionalidade do sistema de aquisição de dados de termometria, como uma metodologia prática e fiável na gestão da água ao nível do Perímetro de Rega.

Palavras-chave: Perímetro de Rega; Gestão da Rega, Termometria, Detecção Remota, Índice de Stress Hídrico.

## **Abstract**

Canopy temperature measured with infrared thermometers or other remote infrared sensors is an important tool for detecting crop water stress. The crop water stress index (CWSI) is the most often used index which is based on canopy temperature to detect crop water stress.

Remote sensing of crop temperature is used in this work to map crop and soil water status and to schedule irrigation at the scale of the irrigation district.

Therefore, a system for data acquisition with remote sensing was developed and applied to irrigation management in a regional scale, based on the control of canopy temperature by means of infra-red (IV) thermometry, referring the crop water stress index with soil available water contents.

Finally, the conclusion should be stated that the methodology developed can be a practical and accurate tool for irrigation management in the Irrigation District.

Keywords: Irrigation District, Irrigation Management; Canopy temperature; Remote Sensing, CWSI.

## **1. Introdução e objectivos**

A prática de uma agricultura de regadio sustentável está directamente relacionada com a utilização de tecnologias de gestão da rega à escala regional, cuja finalidade é racionalizar a disponibilidade do factor água, no sentido da sua optimização, tendo em vista a maximização dos rendimentos, com minimização dos custos de investimento e de exploração, bem como a redução dos custos de impacte ambiental que estão inerentes à intensificação agrícola.

A promoção de práticas de rega eficientes – como a condução da água de rega em tempo real numa determinada área - requer o conhecimento de parâmetros de base: meteorológicos, pedológicos e culturais. A este tipo de informação está naturalmente associada uma grande variabilidade temporal e espacial.

A utilização de tecnologias, como a detecção remota, mediante a utilização de imagens de satélite e sensores aerotransportados (radiómetros, espectroradiómetros, etc.), revelou-se nos últimos anos uma peça fundamental na recolha de informação base para a gestão eficiente da água de rega à escala regional, ficando assim ultrapassadas as limitações impostas pela variabilidade e dispersão que caracterizam as parcelas de rega a uma escala regional. Os sensores remotos permitem recolher informação sobre variáveis importantes que caracterizam a superfície terrestre e os processos que sobre ela ocorrem, com carácter espacialmente distribuído e com alta-frequência temporal.

A monitorização de parâmetros relacionados com a cultura, como a temperatura da superfície cultural, resistência estomática e o potencial de água na folha obtidos pela medição directa, poderão ser óptimas ferramentas para gestão sustentável da água em

agricultura de regadio, uma vez que integram os efeitos do clima e da disponibilidade de água no solo em cada instante. Alguns estudos já realizados (Idso, et al., 1981; Jackson, R. D. 1982; Erdem, T. et al., 2006; González-Dugo, M. P., 2005; Liming Wang *et. al.*, 2005; Suat Irmak, *et. al.*, 2000; Yazar A., *et. al.*, 1999; Orta *et al.*, 2003; Yuan G. *et. al.*, 2004) mostram que a utilização de técnicas de termometria de infravermelhos para determinar a temperatura do coberto vegetal poderão ser óptimos indicadores (CWSI, *Crop Water Stress Index*) do estado hídrico da cultura em tempo real, mostrando no entanto que as técnicas de determinação utilizadas não terão sido as mais expeditas para avaliar o estado hídrico da cultura ao nível de uma parcela de rega, com uma resolução temporal e espacial adequada, que seja o suporte para a gestão integrada da água de rega à escala regional. A utilização remota destas tecnologias poderá ser a solução que assegure a integração na prática da gestão da água de rega em regadio.

A tecnologia de gestão a desenvolver prevê a integração de novas tecnologias que permitam uma melhor monitorização espacial e temporal da utilização da água pelas culturas, procurando fornecer indicação da disponibilidade da água no solo em cada momento e, também, o momento exacto de aplicação (oportunidade de rega) do volume de água (dotação) estritamente necessário à melhor resposta das culturas, poderá vir a ter um resultado promissor para a economia de água pelas culturas, otimizando-se a utilização do recurso “Água” no regadio.

O sistema de gestão desenvolvido tem as características de um sistema de agricultura de precisão. Baseia-se na cartografia detalhada e frequente do estado hídrico das culturas, utilizando medições da temperatura radiante (banda do infravermelho, IV) da superfície foliar, que se relacionam com o estado hídrico da planta e do solo. As medições da temperatura radiante (TIV) e a respectiva cartografia serão feitas com frequência de várias vezes por semana, numa malha densa de pontos do terreno de cultura, sendo a localização rigorosa dos pontos feita com sistema GPS sincronizado com o sensor de infravermelhos ligado ao mesmo datalogger, tudomontado solidariamente numa viatura todo o terreno, que percorre determinados itinerários entre as parcelas de rega. A carta e a utilização posterior serão efectuadas num SIG. Em simultâneo, será instalado um termo-higrómetro de referência, acima da superfície da cultura, com o qual será possível conhecer as variáveis atmosféricas de referência: temperatura do ar e humidade relativa.

Pretende-se avaliar com o maior rigor possível, quais as potencialidades que o sistema de gestão desenvolvido terá para apoiar a gestão da água de rega à escala regional, neste caso concreto no Perímetro de Rega do Divor, e na cultura do milho.

Para determinar as relações entre a temperatura radiante (TIV) da folhagem e os parâmetros de gestão da rega - as necessidades hídricas da cultura – serão monitorizados o solo e a planta, aquele mediante controlo do estado hídrico por sonda TDR, esta por medição dos parâmetros fisiológicos relacionados com o potencial hídrico na planta: abertura estomática, trocas gasosas, potencial hídrico da folha.

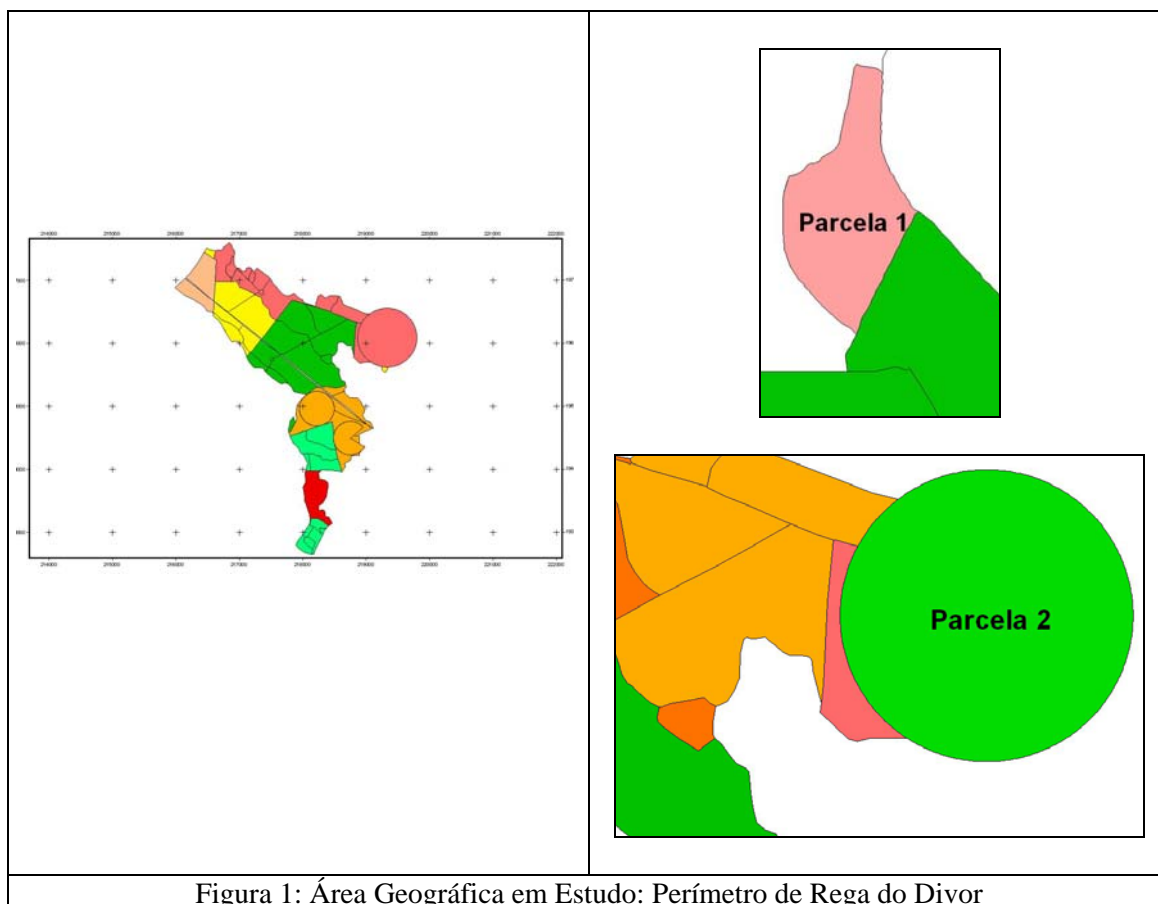
São ainda objectivo identificar os procedimentos mais correctos na utilização da termometria de infravermelhos: metodologia, factores de variação, oportunidade de leitura, calibração e ajustamentos necessários.

Pretende-se que no final do trabalho se possa concluir acerca da operacionalidade de um sistema de aquisição de dados de termometria de infra-vermelhos, como metodologia prática e fiável na gestão da água à escala regional.

## 2. Material e métodos

A actividade experimental da presente linha de investigação decorrerá no Perímetro de Rega do Divor (38° 44' N, 7° 56' W, 309 m), em parcelas regadas do agricultor. Durante a campanha de rega de 2006, foram realizadas as primeiras leituras, com o sistema de aquisição de dados desenvolvido: controlo remoto da temperatura da superfície foliar na cultura do milho.

A Figura 1, ilustra as parcelas de rega beneficiadas pelo Perímetro de Rega do Divor, assim como a parcela experimental, onde decorreram os primeiros ensaios, durante a campanha de 2006.



As parcelas experimentais onde decorreram os primeiros ensaios de monitorização com a tecnologia desenvolvida caracterizam-se da seguinte forma: parcela 1 (área aproximadamente 2 ha; cultura instalada (milho, *Zea mays L.*); método de rega (cabo-rega); família de solo (mancha de solo predominante, solo mediterrâneo pardo normal, de granitos e dioritos, Pmg); parcela 2 área (aproximadamente 63 ha; cultura instalada (milho, *Zea mays L.*); método de rega (center-pivot); família de solo (mancha de solo predominante, solo mediterrâneo pardo normal, de granitos e dioritos, Pmg).

### 2.2.1. Descrição da tecnologia desenvolvida

O sistema de aquisição de dados desenvolvido é constituído por:

- Um sensor EVEREST 4000.3ZL ([www.everestinterscience.com](http://www.everestinterscience.com)), com as seguintes características técnicas: 4° field of view; 8 a 14 µm; calibrado para uma emissividade de 0,98; tempo resposta na ordem do décimo de segundo;
- Um Sistema GPS Trimble 5700;
- Um Datalogger (DT800 DataTaker);
- Estrutura de suporte para montagem do sistema na viatura todo o terreno.

Caracteriza-se da seguinte forma: o sensor Everest que faz a leitura da temperatura radiante na banda do IV, da superfície cultural, programado para fazer leitura com a resolução temporal de 0,25 segundos, acoplado ao sistema GPS, o qual faz o registo do posicionamento em cada instante, estando sincronizado com o sensor EVEREST. Todo este sistema encontra-se ligado ao mesmo datalogger (DT800 DataTaker), onde fica armazenada a informação recolhida. Em simultâneo regista-se a temperatura do ar e a humidade relativa do ar, acima da superfície cultural, mediante a utilização de um termo-higrómetro de referência. A tecnologia descrita utilizar-se-á montada solidariamente numa viatura todo o terreno, que percorrerá itinerários predefinidos entre as parcelas de rega. Quanto à informação obtida, será tratada em SIG, obtendo-se uma cartografia detalhada e frequente do estado hídrico das culturas.

A estrutura de suporte que é utilizada para montar o sistema na viatura todo o terreno, deverá apresentar robustez e precisão, quanto ao posicionamento do sensor. Neste sentido, é constituído por sistema que nos permite regular o ângulo de inclinação do sensor em relação à vertical.

Durante a campanha de rega de 2006, foram efectuadas monitorizações em duas parcelas de rega do agricultor (Fig.1), duas vezes por semana. Quanto aos procedimentos a seguir aquando da monitorização: altura do sensor (variável de acordo com a altura da cultura, a cerca de 40 cm da superfície foliar, oportunidade de leitura (entre as 12:00 e as 14:00 horas), inclinação do sensor (45° com a horizontal). Seguiram-se os princípios descritos em bibliografia: Jackson, R. D. 1982; Erdem, T. et al., 2006; González-Dugo, M. P., 2005; Liming Wang et. al., 2005; Suat Irmak, et. al., 2000; Yazar A., et. al., 1999).

### 2.2.2. Interpretação da informação obtida

De acordo com Yuan *et al.* (2004), a determinação do Índice de Stress Hídrico (*Crop Water Stress Index, CWSI*), mediante a utilização da temperatura da superfície cultural, parece ser o indicador que melhor traduz o estado hídrico das culturas. Assim, informação obtida com o controlo remoto da temperatura radiante na banda do IV da superfície cultural, utilizando a tecnologia desenvolvida, será analisada e interpretada com base na determinação do Índice de Stress Hídrico da Cultura (CWSI), mediante a utilização de três metodologias distintas: Idso *et al.* (1981, 1982); Jackson *et al.* (1981, 1988) e Alves e Pereira (2000). Avaliando assim qual a metodologia que melhor traduz o estado hídrico da cultura, mediante a utilização da tecnologia desenvolvida, para as condições particulares do Perímetro do Divor.

O cálculo do CWSI assenta na determinação de duas linhas de base: o limite superior, que traduz a linha de máximo stress hídrico, e o limite inferior, que traduz a linha com ausência de stress hídrico.

De acordo com a metodologia de Idso *et al.*(1981), a definição do índice de stress hídrico da cultura (CWSI) com base em observações da diferença de  $T_c - T_a$  ( $T_c$ , temperatura da superfície cultural;  $T_a$ , temperatura do ar) e do défice de pressão de vapor (DPV).

Assim, será necessário estabelecer a relação linear entre as temperaturas da superfície cultural e do ar ( $T_c - T_a$ ), em °C, com o défice pressão de vapor de água (DPV), em KPa, para uma condição em que os teores de água do solo estejam junto à capacidade de campo, representada na eq.1, por  $(T_c - T_a)_{ll}$  e para uma condição em que os teores de água do solo estejam ao nível do coeficiente de emurchecimento, quando a cultura está em condições de máximo stress, representada na eq. 1, por  $(T_c - T_a)_{ul}$ . Para cada observação em tempo real a cultura vai exibir uma certa diferença entre a sua temperatura e a do ar,  $(T_c - T_a)$ , podendo-se calcular o valor de CWSI, segundo a metodologia de Idso *et al.* (1981), equação 1:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde  $(T_c - T_a)_{ll}$  é obtido pela expressão de regressão linear, obtida para a cultura bem abastecida de água, qual seja:  $(T_c - T_a)_{ll} = A + B \text{ DPV}$ , onde A e B são, respectivamente, os coeficientes linear e angular da recta de regressão e o DPV (KPa) é o défice pressão de vapor do ar, obtido com base nos registos psicrométricos; e  $(T_c - T_a)_{ul} = a + b \text{ VPG}$ , onde VPG define a diferença entre pressão de saturação de vapor à temperatura do ar e a temperatura  $T_a + a$ .

Jakson *et al.* (1981) descrevem uma outra metodologia para fundamentar o cálculo CWSI, com base nos valores da temperatura da superfície cultural, com suporte no balanço de energia. Esta metodologia necessita de um maior número de variáveis meteorológicas e culturais, tornando-se um pouco mais complexa que a anteriormente descrita. Sendo:

$$(T_c - T_a)_{ll} = \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} \frac{\gamma(1 + rcp / ra)}{\Delta + \gamma(1 + rcp / ra)} - \frac{DPV}{\Delta + \gamma(1 + rcp / ra)} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:  $R_n$ , radiação líquida ( $\text{W m}^{-2}$ );  $G$ , fluxo de calor do solo ( $\text{W m}^{-2}$ );  $\rho$ , densidade do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );  $cp$ , calor específico a pressão constante ( $\text{J kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ );  $\gamma$ , constante psicrométrica ( $\text{Pa °C}^{-1}$ ),  $\Delta$ , declive da curva pressão de vapor ( $\text{Pa °C}^{-1}$ );  $ra$ , resistência aerodinâmica ( $\text{sm}^{-1}$ );  $rcp$ , resistência da cultura ( $\text{sm}^{-1}$ ) e DPV, défice de pressão de vapor (KPa).

A metodologia proposta por Alves e Pereira (2000), baseia-se na definição de Jackson (1981), introduzindo a variável temperatura do bolbo húmido ( $T_w$ ), para a determinação do limite inferior  $(T_c - T_a)_{ll}$ , sendo:

$$(T_c - T_a)_{ll} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} + T_w - T_a \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo:

$$T_{sw} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} + T_w \quad (\text{Eq. 5})$$

Então:

$$(T_c - T_a)_{ll} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} - \frac{DPV}{\Delta + \gamma} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = \frac{ra(Rn - G)}{\rho cp} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:  $T_{sw}$ , temperatura do bolbo húmido da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_w$ , temperatura do bolbo húmido do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $Rn$ , radiação líquida ( $\text{W m}^{-2}$ );  $G$ , fluxo de calor do solo ( $\text{W m}^{-2}$ );  $\rho$ , densidade do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );  $cp$ , calor específico a pressão constante ( $\text{J kg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$ , constante psicrométrica ( $\text{Pa }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\Delta$ , declive da curva pressão de vapor ( $\text{Pa }^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $ra$ , resistência aerodinâmica ( $\text{sm}^{-1}$ ) e  $DPV$ , défice pressão de vapor (KPa).

É também objectivo deste estudo avaliar qual a metodologia de cálculo que melhor se ajusta à definição do CWSI, para a cultura do milho nas condições ambientais do Perímetro de Rega do Divor.

### 2.2.3. Validação da informação obtida

#### 2.2.3.1 Monitorização do estado hídrico do solo

Monitorização do armazenamento de água no solo, durante a campanha de rega, permitindo uma representação fiável do estado hídrico do solo em cada momento, permitindo assim correlacionar a informação da temperatura radiante das culturas (cartografia detalhada) e o estado hídrico do solo.

A monitorização dos teores de água no solo seguiu um calendário semelhante ao controlo remoto da temperatura de infravermelhos, duas vezes por semana, em vários pontos das parcelas de teste. Cada estação de controlo era constituída por um tubo de acesso à sonda TDR (TRIME – FM 3), instalado até cerca de 80 cm de profundidade. Para cada unidade experimental, foi efectuada uma calibração da sonda TDR, recolhendo-se amostras gravimétricas de solo.

A curva de calibração estabelecida para a Parcela Experimental 1 ( $y=0,98x-4,67$ ,  $n=134$ ,  $r^2=0,80$ ) e para a Parcela Experimental 2 ( $y=0,94x+0,89$ ,  $n=52$ ,  $r^2=0,78$ ).

### **2.2.3.2 Monitorização dos parâmetros agronómicos e fisiológicos**

Observaram-se os seguintes parâmetros agronómicos: duração dos estados fenológicos, índice de área foliar (LAI), altura da cultura, evolução da biomassa vegetal; e fisiológicos relacionados com o potencial hídrico na planta: abertura estomática (transpiração), trocas gasosas (CO<sub>2</sub>), potencial hídrico da folha.

A monitorização dos parâmetros agronómicos e fisiológicos foi feita com uma periodicidade quinzenal, fazendo-se coincidir com o ciclo de passagem do sistema de aquisição de dados de termometria.

Estabeleceram-se 9 estações de controlo, em cada unidade experimental, constituídas por 9 plantas cada, devidamente etiquetadas.

Pretende-se estabelecer uma correlação entre a informação (temperatura radiante) obtida com as técnicas de detecção remota (controlo terrestre, sensores aerotransportados e imagem de satélite), e a monitorização directa do estado hídrico das culturas.

## **3. Alguns resultados preliminares**

A informação obtida durante a campanha de rega de 2006, revelou-se insuficiente para concluir acerca da operacionalidade do sistema de aquisição de dados de termometria de infra-vermelhos, como metodologia prática e fiável na gestão da água do Perímetro de Rega do Divor.

Não foi ainda possível completar o cálculo CWSI, mediante a utilização dos procedimentos descritos no ponto 2.2.2, por falta de informação de base devidamente validada, pelo facto de se ter trabalhado à escala regional, em parcelas do agricultor. Pretende-se obter esta informação durante a campanha de rega de 2007, em ensaios de pequena dimensão, em pequenos talhões experimentais.

Assim, os resultados apresentados reportam apenas alguns testes de correlação entre a informação obtida com o controlo remoto do estado hídrico da cultura, mediante utilização da tecnologia desenvolvida e a disponibilidade de água no solo monitorizada.

Importa salientar que a informação obtida com o sensor Everest (calibrado para uma emissividade de 0,98) - temperatura radiante na banda IV, para a cultura do milho - foi validada mediante os procedimentos descritos por Jackson (1982), o qual explica a necessidade de ajustar os valores obtidos, mediante um incremento máximo de 2°C, quando o valor da emissividade é igual à unidade. Para o nosso caso concreto, 0,98 de emissividade, o incremento máximo foi 1,85 °C, para uma temperatura do ar na ordem dos 30°C.

Traduzindo a correlação apresentada por Idso et al. (1981), entre a diferença de temperaturas (T<sub>c</sub>-T<sub>a</sub>) e o défice de pressão de vapor do ar (DPV), a Figura 2 ilustra a curva de correlação entre a diferença de temperatura radiante da cultura do milho (TIV), monitorizada com o sensor *Everest* e a temperatura do ar (T<sub>a</sub>), registada no termo-



higrómetro e o défice de pressão de vapor do ar, obtido mediante o cálculo com base na temperatura e humidade relativa do ar.

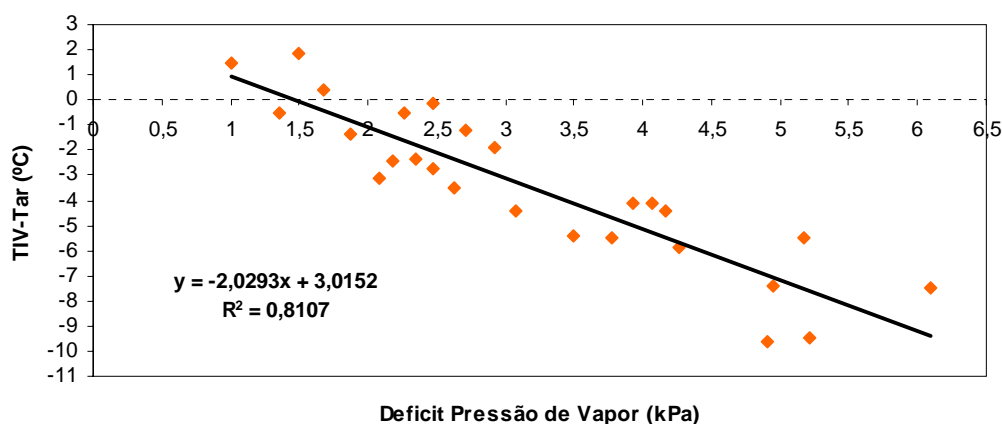
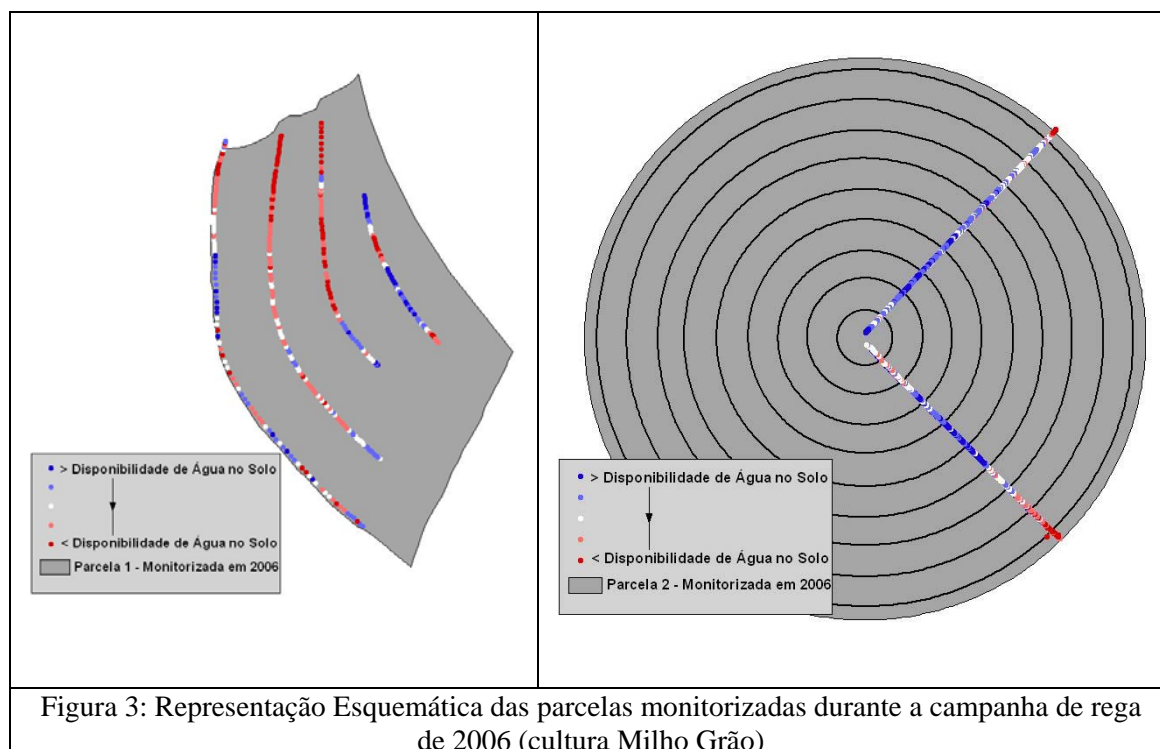


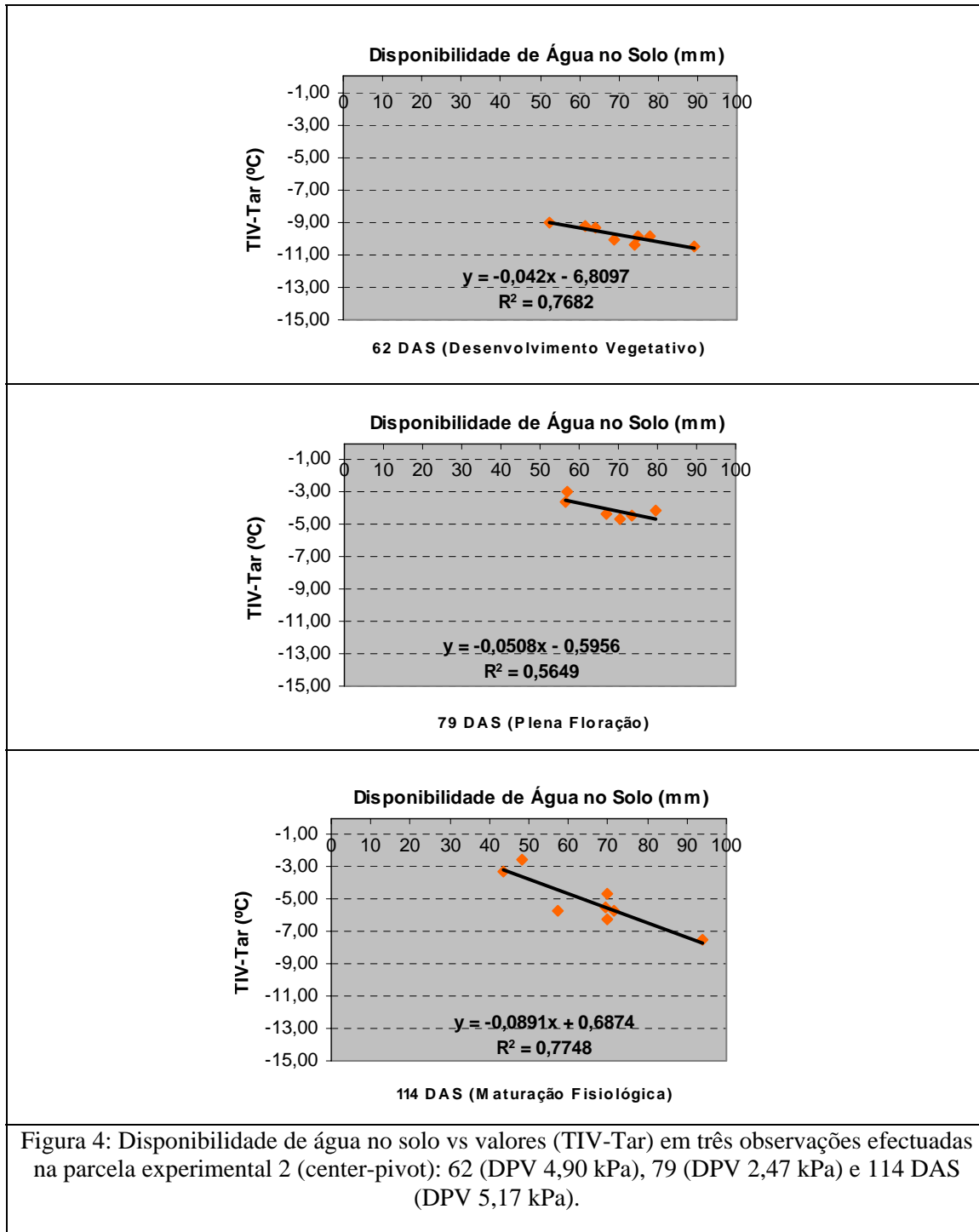
Figura 2: Correlação entre a (TIV-Tar) e o déficit pressão de vapor do ar, para a parcela experimental 2.

A Figura 3, ilustra a informação obtida com a tecnologia de gestão desenvolvida, nas duas parcelas monitorizadas em 2006, após exportação para software SIG (*Arcview*).



A Figura 4, ilustra os valores médios da disponibilidade de água no solo (mm), monitorizados com a sonda TDR, e o défice diário de temperatura (TIV-Tar), sendo TIV a temperatura da superfície cultural registada pelo sistema de aquisição de dados, em °C, e Tar a temperatura do ar, registada no Termo-higrómetro.

Os valores apresentados correspondem a três recolhas de dados efectuadas na parcela experimental 2 (center-pivot), nas principais fases de desenvolvimento da cultura: desenvolvimento vegetativo rápido, plena floração e maturação fisiológica.



Importa referir que a informação apresentada é apenas exemplificativa, pois a informação obtida durante a campanha de 2006 carece ainda de melhor análise,

interpretação e validação, para que se possa traduzir em níveis de stress hídrico (definição CWSI “*Crop Water Stress Index*”) e definição de oportunidade de rega.

As rectas de regressão obtidas entre os valores da disponibilidade de água no solo e a diferença entre a temperatura da superfície cultural (obtida com a monitorização do sistema de aquisição de dados) e a temperatura do ar (registada pelo termo-higrómetro de referência) traduzem um comportamento semelhante, com tendência decrescente, isto é, menor disponibilidade de água no solo é traduzida com valores mais elevados de (TIV-Tar). Importa, no entanto, salientar que se verificou um valor mais baixo para o coeficiente de determinação obtido aos 79 DAS, em que o défice de pressão de vapor do ar apresentava também um valor mais baixo, na ordem dos 2,47 kPa. Este facto poderá justificar-se com a provável existência de nuvens, situação desfavorável para a utilização da tecnologia desenvolvida.

No entanto, os resultados apresentados mostram que a informação obtida com o controlo remoto da termometria de infra-vermelhos da superfície cultural traduz com fiabilidade o estado hídrico do solo.

#### **4. Considerações finais**

O controlo remoto da termometria de infra-vermelhos da superfície cultural, mediante a utilização do sistema de aquisição de dados desenvolvida, poderá ser uma ferramenta com elevado potencial, para a gestão da água de rega, fornecendo informação com elevada resolução espacial e temporal.

Deverão ser objecto de estudo mais aprofundado a identificação dos procedimentos mais correctos na utilização com o controlo remoto da termometria de infravermelhos: factores de variação, oportunidade de leitura, calibração e ajustamentos necessários.

O trabalho aqui apresentado pretende contribuir para a consolidação de uma “nova cultura da água” nos regadios do Alentejo, onde este recurso seja crescentemente valorizado não só pela sua importância para o desenvolvimento económico mas também para a preservação do meio ambiente, no espírito do conceito de desenvolvimento sustentável. Pretende-se caminhar no sentido de desenvolver e pôr em prática um conjunto de metodologias, com suporte em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de detecção remota, que fundamente e dê corpo a um relacionamento de cooperação estreita entre os gestores dos perímetros de rega e os respectivos agricultores regantes, com empenhamento comum na conservação do solo e da água.

Define-se assim uma estratégia para a implementação de um sistema global de gestão água de rega, com a participação dos agricultores regantes. Aplica-se ao Perímetro do Divor (Alentejo, Portugal), mas pretende-se que seja generalizável, tanto quanto possível, a outros regadios.

## Referências bibliográficas

ALVES, I., PEREIRA, L.S. 2000. Non-water-stressed baselines for irrigation scheduling with infrared thermometers: a new approach. *Irrig. Sci.* 19:101-106.

ERDEM, T; EDEM, Y.; ORTA, A.; OKURSOY, H. 2006. Use of a Crop water Stress Index for Scheduling the Irrigation of Sunflower (*Helianthus annus L.*). *Journal of Agriculture and Forestry TUBITAK*, Vol.30, 11-20.

GONZÁLEZ-DUGO, M. P., MORAN, M.S., MATEOS, L., BRYANT, R. 2005. Canopy temperatura variability as an indicador of crop water stress severity. *Irrigation Science*. In revision.

HEILMAN, J. L., HEILMAN y D. G. MOORE (1982). Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance. *Agron. J.* 74:967.-971.

IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER Jr., P. J., REGINATO, R.J., HATFIELD, J.L. 1981. Normalizing the stress degree day for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24:45-55.

JACKSON, R. D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in irrigation*, Vol. 1, Academic Press, New York, 43-85.

JACKSON, R. D., KUSTAS, W.P., CHOUDHURY, B.J. 1988. A re-examination of the crop water stress index. *Irrigation Sci.* 9: 309-317.

LIMING WANG, GUO YU QIU, XIYING ZHANG, SUYING CHEN. 2005. Application of a new method to evaluate crop water stress index. *Irrigation Science* 24: 49-54.

SUAT IRMAK, DOROTA Z. HAMAN AND RUHI BASTUG, 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Journal Agronomy*, 92:1221-1227.

YAZAR, A. HOWELL, T.A., DUSEK, D. A., COPELAND, K. S.. 1999. Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. *Irrigation Science* 18:171-180.

YUAN, G., LUO, Y. ; SUN, X. ; TANG, D. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 64:29-40. [www.elsevier.com/locate/agwat](http://www.elsevier.com/locate/agwat).