

Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária

Deficit irrigation as a criterion for irrigation water management with sunflower and maize crops

C. M. Toureiro¹, R. P. Serralheiro¹ & M. R. Oliveira¹

RESUMO

Apresentam-se alguns resultados de um projecto em que se procura integrar, nos critérios de decisão sobre a oportunidade e a dotação de rega, a optimização da produtividade ambiental da água, valorizando-se maximamente a utilização desse recurso escasso. Surge assim a definição de critérios de gestão da rega em que as dotações são “deficitárias”, isto é, em que se fornece à cultura uma quantidade de água inferior à correspondente à ETc calculada.

Durante as campanhas de rega de 2004 e 2005 decorreram ensaios experimentais com “rega deficitária”, em parcelas regadas do Perímetro do Divor: em 2004 avaliou-se e caracterizou-se o comportamento da cultura do girassol, sujeita a diferentes regimes hídricos, com três cenários diferentes de decisão para definir a oportunidade e dotação de rega: 1) considerando como oportunidade de rega (ponto de rega) o limite inferior de gestão (ou défice de gestão permissível), tradicionalmente definido por limite do rendimento óptimo (LRO) na zona da reserva facilmente utilizável do solo; 2) e 3) considerando como oportunidade de rega (ponto de rega) dois limites abaixo do LRO (10 e

30%, respectivamente); em 2005 avaliou-se e caracterizou-se o comportamento da cultura do milho, sujeita a três cenários de gestão da água de rega: 1) regime óptimo de fornecimento de água igual às necessidades hídricas da cultura, traduzidas pela ETc calculada; 2) nível 1 de “rega deficitária” regime de regas 10% abaixo do valor de ETc; 3) nível 2 de “rega deficitária” regime de regas 30% abaixo do valor de ETc. Durante as fases de desenvolvimento da cultura mais sensíveis ao défice de água no solo, as três modalidades de ensaio foram regadas de igual modo (nível de fornecimento de água igual ao valor de ETc).

Verificou-se um nítido potencial de economia de água proporcionável pela gestão da cultura com “rega deficitária”.

ABSTRACT

Some results are presented from a project aiming the water use optimisation from an environmental point of view. This means that the decision criterion in irrigation management is “deficit irrigation”, rather than maximum ETc as the irrigation water amount.

¹ Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora, e-mail: cmct@uevora.pt;

Some experiments with “deficit irrigation” of a sunflower crop (in 2004 irrigation season) and maize (in 2005) were carried out in the Irrigation District of Divor (Alentejo, South Portugal). Crop growth and production parameters were evaluated relative to three experimental irrigation regimes: 1) irrigation opportunity and amount with soil available water equalling “optimum yield level”, this corresponding to a non restrictive water use by the crop, according to current procedure, irrigation amount corresponding to maximum ETc; 2) and 3) levels 1 and 2 of deficit irrigation, considering irrigation opportunity with soil available water respectively 10% and 30% under the “optimum yield level” and irrigation amounts 10% and 30% less than ETc between irrigation events. During the flowering periods normal irrigation for full ETc was practiced in all experiment plots.

Crop yield data and the economic analysis show that a remarkable potential exists for saving water with “deficit irrigation”.

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

A escassez do recurso água que nos últimos anos se tem feito notar em todo o território português, e em particular na região do Alentejo, é na realidade uma condição do nosso clima Mediterrânico tendo implicações severas na produção agrícola, em particular na agricultura de regadio. Neste sentido, os empresários agrícolas devem estar preparados para aplicar medidas que optimizem a eficiência do uso da água na agricultura, utilizando tecnologias agrícolas adequadas, com atitude conservacionista, ainda que empresarial. Utilizando o recurso água de forma estratégica e eficiente, como recurso escasso e limitado que é, assegura-se a sua disponibilidade futura.

O uso racional da água na agricultura passa pela programação e gestão da rega garantindo uma aplicação de água optimizada face às necessidades ao longo do ciclo vegetativo das culturas. Esta aplicação optimizada poderá ser, não em função evapotranspiração total, mas relacionada com níveis de aplicação de água em função dos estádios fenológicos onde se verifica uma maior sensibilidade hídrica. Assim, será necessário verificar as dotações mínimas que, mesmo existindo períodos de “stress hídrico”, garantem bons índices de eficiência de utilização de água pela cultura com produções elevadas, próximas mesmo dos máximos potencialmente verificáveis, assegurando um nível interessante de rendimento do agricultor.

A prática da gestão da água de rega é tradicionalmente feita no sentido da maximização da produção em função de um determinado objectivo, o qual, por sua vez, depende das condições de cada projecto. Assim, o objectivo da gestão da água de rega assenta essencialmente na determinação do volume de água a ser fornecido em cada aplicação e no intervalo entre elas, tendo em conta o défice de gestão permissível previamente fixado, em função da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e do nível de produção pretendido. Nos critérios tradicionais de gestão da rega, o objectivo de optimização é a máxima produção total (biomassa) ou a máxima produção agronómica (produto comercializável), ou o máximo lucro, independentemente da quantidade de água gasta (tomava-se a água como factor não limitado). Num desenvolvimento mais recente, toma-se cada um daqueles objectivos de maximização, mas relativo à unidade (de volume) de água gasta na rega, isto é, máxima produção de biomassa ou frutos por m³ de água gasta na rega, etc. Trata-se de uma produtividade líquida, que introduz, pelo menos em parte, um critério

de natureza ambiental, a maximização da produtividade do recurso escasso.

Nesta perspectiva, a “maximização do lucro” pode tomar-se como um objectivo de optimização económica, que torna o critério de gestão da rega independente da satisfação integral da ETc, habitualmente tomada como “necessidade de rega” da cultura. Passa a fornecer-se menos água que a solicitação de ETc, introduzindo-se o conceito de “rega deficitária”, de acordo com a sensibilidade hídrica, variável com o tipo e os estádios fenológicos da cultura. É uma estratégia de gestão da água de rega que minimiza os impactes ambientais, poupando água.

Os modelos água/produção que, como o seu nome indica, permitem estimar a produção da cultura em função da água por ela utilizada, têm vindo a despertar grande interesse nas últimas décadas pelo importante papel que podem desempenhar como auxiliar de gestão e optimização de recursos escassos, sendo de grande utilidade quando se trata de gerir a rega em condições de carência hídrica.

É objectivo do presente trabalho a definição de critérios de gestão da rega em que as dotações sejam “deficitárias”, isto é, em que se fornece à cultura uma quantidade de água inferior à correspondente à ETc calculada. Este objectivo pode ser realizado, quer apenas considerando a oportunidade da rega quando o teor de água no solo já se situa bastante abaixo do limite inferior de gestão (défice de gestão permissível), ou tradicionalmente definido por limite do rendimento óptimo (LRO), expresso pela fracção de água facilmente utilizável para a cultura, sem que ocorra alguma quebra de produção agrónómica, quer também procedendo a dotações insuficientes, que não repõem à capacidade de campo todo o volume de solo explorado pela cultura.

Durante as campanhas de rega de 2004 e 2005 decorreram ensaios experimentais

com “rega deficitária”, em parcelas regadas do Perímetro do Divor: em 2004 avaliou-se e caracterizou-se o comportamento da cultura do girassol com três cenários diferentes de decisão para definir a oportunidade e dotação de rega: 1) considerando como oportunidade de rega (ponto de rega) o limite inferior de gestão (ou défice de gestão permissível), tradicionalmente definido por limite do rendimento óptimo (LRO) na zona da reserva facilmente utilizável do solo; 2) e 3) considerando como oportunidade de rega (ponto de rega) dois limites abaixo do défice de gestão permissível (LRO) (10 e 30%, respectivamente); em 2005 avaliou-se e caracterizou-se o comportamento da cultura do Milho, sujeita a três cenários de gestão da água de rega: 1) regime óptimo de fornecimento de água igual às necessidades hídricas da cultura, traduzidas pela ETc calculada e a oportunidade de rega considerando como limite inferior de gestão o défice de gestão permissível (LRO); 2) e 3) nível 1 e 2 de “rega deficitária”, regime de regas com oportunidade de rega 10% e 30% abaixo do défice de gestão permissível (LRO) e dotações abaixo do valor de ETc. Durante as fases de desenvolvimento em que as culturas são mais sensíveis ao défice de água no solo, as três modalidades de ensaio foram regadas de igual modo (definindo a oportunidade de rega no défice de gestão permissível e o nível de fornecimento de água igual ao valor de ETc).

Em cada uma das modalidades de ensaio pré-estabelecidas foram observados e monitorizados parâmetros hidrológicos e agrónómicos, com os quais será possível avaliar a resposta das culturas Girassol e Milho, sob os diferentes cenários de gestão da água de rega em experimentação. Realizar-se-á uma breve análise económica entre os diferentes cenários de gestão da rega, considerando os custos dos factores de produção água de rega e energia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das parcelas experimentais

A actividade experimental decorreu no Campo Experimental e de Demonstração do Perímetro de Rega do Divor (38° 44' N, 7° 56' W, 309 m), conduzido por uma equipa de investigação do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, durante duas campanhas de rega (2004 e 2005).

A Figura 1 mostra os valores da precipitação total mensal (Pt) e da evapotranspiração de referência (ET_o), calculados com a fórmula climática de Penman-Monteith, com base nos registos climáticos da estação meteorológica do Campo Experimental, durante os períodos de ensaio.

Importa salientar que, durante os anos hidrológicos 2003/04 e 2004/05, os valores registados de precipitação total anual foram respectivamente 582 e 277 mm, dos quais apenas de 17% e 18% ocorreram durante o período do ensaio.

Os dados apresentados foram a base para o cálculo das necessidades hídricas da cultu-

ra, durante a actividade experimental.

A unidade pedológica que caracteriza as parcelas experimentais é um Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais não Calcários Normal de Quartzodioritos (Pmg (a)) (Cardoso, 1965). O Quadro 1 apresenta a sua caracterização, com dados obtidos por amostragem monolítica na parcela experimental, com uma sonda pneumática, até à profundidade de 80 cm do perfil do solo, tendo sido feitas as seguintes determinações laboratoriais: análise granulométrica, densidade aparente e curvas de tensão-humidade.

Dos resultados obtidos é possível concluir o seguinte: o perfil do solo caracteriza-se por apresentar uma textura predominantemente franco-argilo-arenosa, à excepção das camadas 20-40 cm e 60-80 cm do perfil do solo, que apresentam uma textura argilo-arenosa e franco-arenosa, respectivamente. O perfil do solo analisado apresenta uma capacidade utilizável total, até à profundidade de 80 cm, de 84 mm.

É de salientar que os principais solos regados nos perímetros do Alentejo, os actuais e os previstos no esquema de Alqueva, são do tipo Mediterrâneo, com problemas delicados de manejo hidroagrícola, com

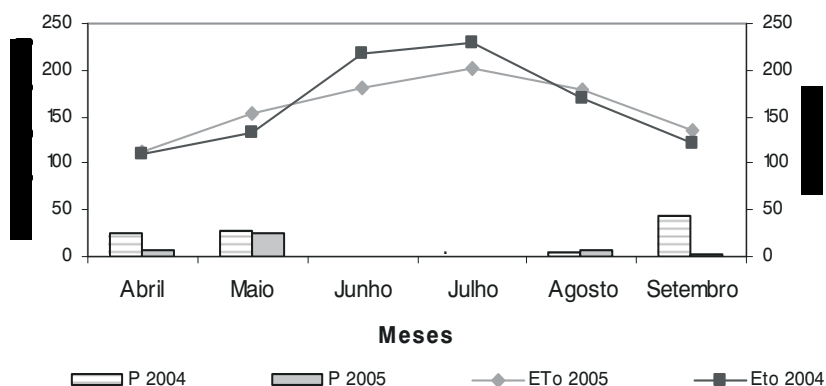


Figura 1 – Evolução dos valores da evapotranspiração de referência e da precipitação total, registados na Estação Meteorológica do Divor, durante a actividade experimental

QUADRO 1 – Caracterização da unidade pedológica onde decorreu a experimentação (0-80 cm)

Prof.	Análise Granulométrica (%)				pF			(%vol.)	(%vol.)	(%vol.)
	A.G	A.F	Limo	Argila	pF 2,0	pF 4,2	dap	Cc	Ce	CU
10	44,61	20,32	9,24	25,84	9,50	3,69	1,72	16,34	6,35	10,00
20	44,03	19,40	9,91	26,66	8,69	3,73	1,81	15,68	6,73	8,95
30	39,44	15,07	9,93	35,56	10,37	4,03	1,77	18,32	7,12	11,20
40	50,28	14,60	7,23	27,88	10,90	4,63	1,76	19,16	8,14	11,02
50	48,96	19,27	8,84	22,94	11,50	6,15	1,81	20,78	11,11	9,67
60	52,83	19,74	8,27	19,16	12,38	6,97	1,64	20,30	11,43	8,86
70	51,99	19,90	8,67	19,44	15,86	8,78	1,72	27,28	15,10	12,18
80	52,00	20,00	8,70	19,30	16,72	9,99	1,79	29,93	17,88	12,05

implicações em potenciais impactes ambientais negativos, e requerem soluções tecnológicas inovadoras, que contribuam para a sustentabilidade do uso hidroagrícola (Projecto POCTI, 1999). Relativamente à prática da rega, estes solos requerem uma gestão da água de rega extremamente cuidadosa, devido às suas características pedológicas resultantes do processo argiluviação que lhes deu origem e do uso não conservativo a que tradicionalmente têm sido sujeitos.

Condução do ensaio experimental

Os trabalhos experimentais decorreram em parcelas regadas do Perímetro de Rega do Divor, exploradas pela Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, durante as campanhas de rega de 2004 e 2005:

- Em 2004, ensaios de carácter preliminar com “rega deficitária” na cultura do Girassol (*Helianthus annuus L. var. SUN-GRO 393*). Semeada a 27 de Abril de 2004, com o compasso de 0,15 m na linha e 0,75 m na entrelinha, e colheita a 13 de Setembro.

Para avaliar e caracterizar o comportamento da cultura do Girassol, segundo os 3 cenários de gestão da água de rega, estabeleceram-se três unidades experimentais, 3 modalidades, com cerca de 550 m² cada: a primeira, designada por CR1 G, considerando como “ponto de rega”, que define a

“oportunidade de rega”, o limite inferior de gestão ou défice de gestão permissível ou tradicionalmente definido por limite do rendimento óptimo (LRO), isto é, a reserva de água no solo durante a campanha de rega oscilará entre o limite máximo de retenção de água no solo e o limite inferior de gestão ou limite do rendimento óptimo (LRO) (definindo a zona da reserva facilmente utilizável do solo); na segunda e terceira modalidade de ensaio (níveis 1 e 2 de “rega deficitária”), designadas por CR2 G CR3 G, respectivamente, considerou-se como “ponto de rega” um limite abaixo do limite inferior de gestão (LRO) (10 e 30%, respectivamente). Supõe-se que em cada rega se repõe a capacidade utilizável do solo na zona de aprofundamento radical.

- Em 2005, ensaios de “rega deficitária” na cultura do Milho-Grão (*Zea Mays L. var. SANCHO – FAO 500*). Semeada a 5 de Maio de 2005, com o compasso de 0,15 m na linha e 0,75 m na entrelinha, e colheita a 15 de Setembro.

Para avaliar e caracterizar o comportamento da cultura do Milho, sujeita a três cenários de gestão da água de rega, estabeleceram-se 3 unidades experimentais: 1) regime óptimo (CR1 M) de fornecimento de água igual às necessidades hídricas da cultura, traduzidas pela ETc calculada; 2) nível 1 de “rega deficitária” (CR2 M) regime de regas 10% abaixo do valor de ETc; 3) nível 2 de “rega deficitária” (CR3 M) regime de

regas 30% abaixo do valor de ETc. Durante as fases de desenvolvimento, em que as culturas são mais sensíveis ao déficit de água no solo, as três modalidades de ensaio foram regadas de igual modo (nível de fornecimento de água igual ao valor de ETc).

As operações culturais que antecederam a sementeira seguiram o sistema tradicional utilizado na região, tendo sido executadas pelo agricultor. As operações de preparação da terra foram uma escarificação e adubação de fundo (250 kg/ha de NPK 28/14/10), seguindo-se uma gradagem. Em 2005 na cultura do Milho procedeu-se à abertura dos sulcos antes da sementeira, para posterior rega de germinação. Seguiu-se a sementeira (à rasa para o Girassol e em cima do camalhão para o Milho). Em 2004, para a cultura do girassol, abertura dos sulcos para rega em 21 de Junho (verificou-se algum atraso na realização desta operação, associado aos problemas de germinação da cultura). Em 2005, para a cultura do milho, procedeu-se à reabertura dos sulcos a 8 de Junho, uma aplicação de herbicida de pós-emergência (*Butril*) dia 4 de Junho e duas aplicações de solução azotada (1000 l/ha de solução 32 N), a primeira dia 22 de Junho e a segunda dia 18 de Julho.

O método de rega de superfície utilizado foi o sistema Cabo-Rega (Shahidian, 2002), em 2004 em terraços rectilíneos (sulcos rectilíneos, 140 m de comprimento) e em 2005 em terraços de contorno (sulcos de contorno, 180 m de comprimento). Na parcela experimental do ano 2004, os trabalhos de regularização do terreno para a prática da rega de superfície, tinham sido executados na campanha de 2001; na parcela experimental usada no ano de 2005, executaram-se alguns trabalhos de regularização.

Para programação do regime de regas, recorreu-se ao programa computadorizado RELREG desenvolvido por Teixeira (1992) e actualizado para ambiente *Windows* em

2004, tendo por base os cenários de gestão da água de rega previamente estabelecidos.

Este modelo simula, com base na evapotranspiração cultural verificada nos últimos dias, o balanço hídrico do solo relativo aos próximos dias, (associando as respectivas condições pedológicas e culturais). Quando o teor de água no solo previsto desce abaixo do limite considerado para o nível inferior de gestão (oportunidade de rega), o programa indica a necessidade de regar e calcula o volume a aplicar (para repor o teor de água na capacidade de campo). No caso de não ser necessário regar, o programa indicará o volume que poderá ser aplicado sem que a capacidade de campo seja excedida, admitindo que o agricultor possa querer realizar uma rega num determinado dia.

Parâmetros a avaliar e metodologias

Foram observados e medidos os seguintes parâmetros, que permitiram avaliar a resposta das culturas do Milho e do Girassol quando sujeitas a diferentes níveis de fornecimento de água, isto é, considerando os diferentes cenários de gestão da água de rega previamente estabelecidos. Assim, observaram-se e monitoraram-se os seguintes parâmetros:

- Parâmetros Hidrológicos: avaliação e caracterização da prática da rega em cada unidade experimental, utilizando o programa ANREGA desenvolvido por Serralheiro (1989); monitorização do perfil hídrico do solo durante a actividade experimental, medindo o armazenamento de água no solo, durante a campanha de rega, permitindo uma representação fiável do estado hídrico do solo em cada momento.

Utilizou-se a sonda capacitiva TDR – TRIME FM. Todas as unidades experimentais estavam equipadas com tubos de acesso à sonda TDR. Estes tubos, de acrílico transparente, instalados no solo até à profundida-

de de 75 cm, permitiram o acesso directo da sonda, para controlo dos teores de água no solo às diferentes profundidades (15, 30, 45, 60, 75 cm) do perfil útil do solo, monitorizando os valores antes e depois de cada rega efectuada.

- Parâmetros Agronómicos da parte aérea: duração dos estados fenológicos (dias após a sementeira - DAS), altura da cultura (tendo como referência a distância desde a superfície do solo até ao ponto de inserção da última folha no caule principal da planta); índice de área foliar (IAF).

Para observação e registo dos parâmetros da parte aérea da cultura, recorreu-se à observação e registo de campo (em estações de controlo estabelecidas - 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 m - com plantas etiquetadas para registo contínuo), ao registo fotográfico e à amostragem de plantas (recolha de 4 plantas em cada observação), intervalos de 10 a 12 dias.

Para determinar o IAF da cultura efectuaram-se registos de comprimento e largura das folhas da planta e em simultâneo as determinações realizadas com o medidor de área foliar - LICOR (*Model Li-3000*), a fim de se poder estimar uma curva de regressão linear para posterior determinação directa do IAF a partir de registos de campo. As equações obtidas para as culturas do Milho e do Girassol foram as seguintes: $y=0,606(x)-5,235$, com um coeficiente de determinação superior a 90% ($r^2=0,97$), para o girassol; e $y=0,7417(x)-3,736$, com um coeficiente de determinação superior a 90% ($r^2=0,94$), para a cultura do milho.

- Produção final (face à quantidade de água aplicada à cultura): no final da actividade experimental fez-se uma amostragem em cada estação de controlo, para posterior determinação laboratorial, a fim de quantificar a produção final das culturas e poste-

rior comparação, face ao esquema de rega praticado durante a campanha.

Os parâmetros quantificados para o girassol foram: quantidade de matéria seca por unidade de área, quantidade de semente por unidade de área, índice de colheita, o peso de 1000 sementes e o nº de sementes por unidade de área; para a cultura do milho quantificou-se a produção de matéria seca por unidade de área, a produção total de grão seco por unidade de área e o índice de colheita.

- Breve análise económica do ensaio considerando os custos em água de rega e energia: custo total água de rega (€/ha); custo total energia (€/ha), custo total (€/ha); produtividade biológica (kg mat. seca/m³); produtividade agronómica (kg grão/m³); custo de água de rega (€/kg de grão); produtividade energética (kg de grão/kW).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados fazem referência aos seguintes parâmetros avaliados e monitorizados, em cada unidade experimental pré-estabelecida: regime de regas praticado nas duas campanhas de rega e em cada cenário de gestão da água de rega considerado, avaliação do comportamento das culturas girassol e milho (parâmetros da parte aérea e produção final) face aos diferentes cenários de gestão da água praticados e no final uma breve análise económica por modalidade de ensaio.

Gestão da água de rega na experimentação

O Quadro 2, apresenta os valores totais de água de rega aplicados por unidade experimental, durante a campanha de rega de 2004 (para a cultura do Girassol) e a campanha de 2005 (para a cultura do Milho).

QUADRO 2 - Quantidade Total de Água de Rega Aplicada por Unidade Experimental

CENÁRIOS DE GESTÃO DA ÁGUA DE REGA	DOTAÇÃO TOTAL (m ³ /ha)	
	2004	2005
	GIRASSOL (var. SUNGRO)	MILHO-GRÃO (var. SANCHO)
CR1 G e CR1 M	5 856	9 497
CR2 G e CR2 M	6 135	8 939
CR3 G e CR3 M	3 080	7 824

Os gráficos das Figuras 2 e 3 apresentam os valores das necessidades totais de rega (NR) para as culturas do girassol e milho, em cada estágio do seu desenvolvimento e os valores totais das dotações de rega (Rt) praticados em cada unidade experimental.

O cálculo das necessidades totais de rega (NR) seguiu os procedimentos da FAO, descritos por Allen *et al.* (1998), utilizando a seguinte expressão:

$$NH = (ET_o.Kc) - (Pt) / Ea$$

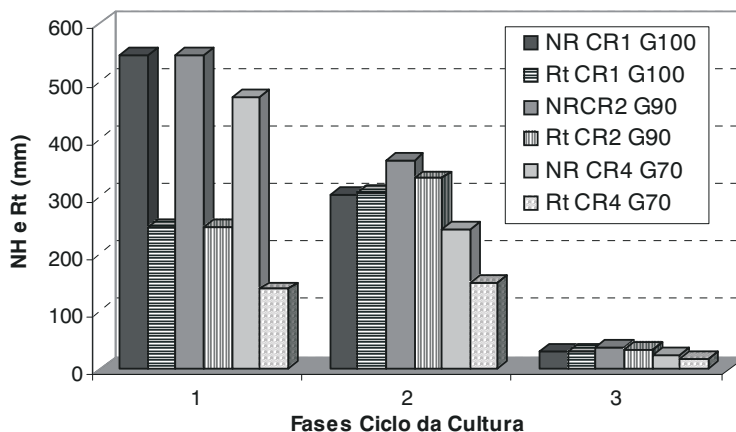
Onde: (ET_o) são os valores da evapotranspiração de referência obtidos com a fórmula climática de Penman-Monteith, durante o ensaio (Figura 1); (Kc) os valores dos coeficientes culturais por estágio de desenvolvimento das culturas girassol e milho; (Pt) os valores da precipitação total registados na Estação Meteorológica do Divor (Figura 1); (Ea) os valores da eficiência da prática da rega por unidade experimental, obtidos com base na avaliação de campo e caracterização da prática da rega com o programa ANRE-GA.

Obtiveram-se os seguintes valores da eficiência de aplicação Ea, por modalidade de ensaio: CR1 G (60%), CR2 G (50%) e CR3 G (75%); em 2005 por modalidade de ensaio: CR1 M (60%), CR2 M (67%) e CR3 M (75%).

Relativamente à prática da rega durante a campanha de 2004, em sulcos retilíneos, com a cultura do girassol, verificaram-se algumas irregularidades: regularização do terreno imprópria para a rega de superfície (declive longitudinal dos sulcos elevado para a prática da rega de superfície) e má conformação dos sulcos de rega (secção

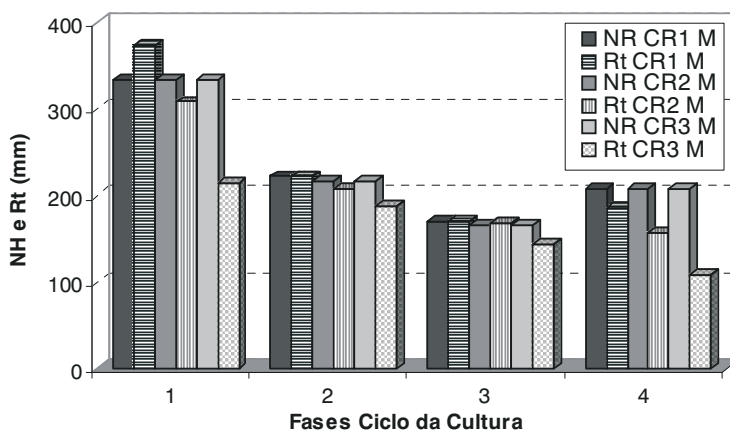
transversal pequena e irregular), condicionando os caudais de rega, o avanço e a infiltração. A unidade experimental que apresentou maiores irregularidades na organização do terreno foi a modalidade CR2 G onde o cenário de gestão da água de rega considera como oportunidade de rega 10% abaixo do considerado LRO (nível 1 de “rega deficitária”), traduzindo-se em valores da eficiência de rega na ordem dos 50%. Verificaram-se eficiências mais elevadas na ordem dos 75%, na modalidade CR3 G, onde se pratica o nível 2 de “rega deficitária”, tendo como oportunidade de rega um nível 30% abaixo do considerado LRO, onde se verificou um maior intervalo entre regas.

Quanto à gestão da água de rega, na cultura do girassol (campanha de 2004), as dotações totais de rega (Rt) praticadas nas três modalidades de ensaio foram significativamente inferiores às necessidades totais de rega (NR), durante o desenvolvimento vegetativo da cultura. A explicação para este facto está no atraso do início da prática da rega (1ª rega no dia 22 de Junho- 56 DAS), associado à tardia abertura dos sulcos para rega. A prática da rega durante as fases 2 e 3 (floração, formação da semente e maturação) seguiu o delineamento experimental predefinido: na modalidade CR1 G (regime óptimo) o volume total de regas (Rt) satisfaz as necessidades totais de rega em 100%; nas modalidades CR2 G e CR3 G (nível 1 e 2 de “rega deficitária”, respectivamente) o volume total de regas (Rt) satisfaz as necessidades totais de rega em 90% e 70%, respectivamente.



1) Desenvolvimento Vegetativo; (2) Floração e Formação da Semente; (3) Maturação

Figura 2 - Necessidades totais de rega (NH) e valores totais das dotações de rega (Rt), por unidade experimental para cultura do girassol em cada estágio do seu desenvolvimento



(1) Desenvolvimento Vegetativo; (2) Floração (3) Formação do Grão; (4) Maturação

Figura 3 - Necessidades totais de rega (NH) e valores totais das dotações de rega (Rt), por unidade experimental para cultura do milho em cada estágio do seu desenvolvimento

Na cultura do milho, (campanha de 2005), foi seguido o delineamento experimental predefinido: na modalidade CR1 M (regime óptimo) o volume total de regas (Rt) satisfaz

as necessidades totais de rega em 100%; nas modalidades CR2 M e CR3 M (nível 1 e 2 de “rega deficitária”, respectivamente) o volume total de regas (Rt) satisfaz as neces-

sidades totais de rega em 90% e 70%, respectivamente. Durante as fases de maior sensibilidade hídrica – floração e formação do grão - o volume de água fornecido à cultura foi ligeiramente superior às necessidades de rega, nas três modalidades de ensaio.

Avaliação do comportamento das culturas girassol e milho: estádios de desenvolvimento, altura média da cultura e índice de área foliar

Para os parâmetros da parte aérea da planta, os estádios de desenvolvimento das culturas verificam-se nos seguintes períodos (DAS – dias após a sementeira):

- Para a cultura do girassol: 0-28 DAS (emergência); 28-86 DAS (desenvolvimento vegetativo); 87-115 DAS (floração e formação semente); 116-139 DAS (maturação fisiológica);
- Para a cultura do Milho: 0-15 DAS (emergência); 15-64 (desenvolvimento vegetativo); 65-80 (Floração); 81-96 DAS (Formação do Grão); 97-133 DAS (maturação).

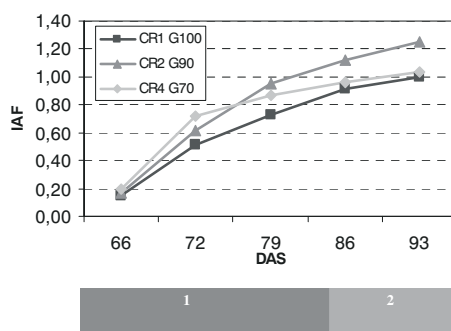
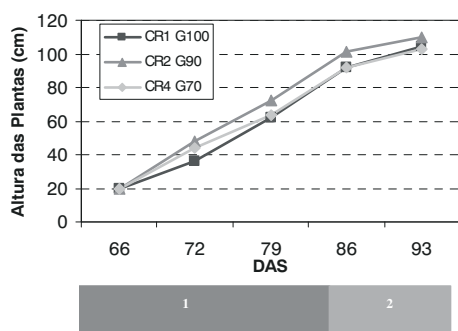
As durações das fases de desenvolvimento das culturas não apresentaram oscilações

distintas entre os diferentes cenários de rega, apesar das plantas nas modalidades sem “rega deficitária” apresentarem um maior desenvolvimento aéreo e uma maior altura (com o mesmo nº de folhas, a longitude entre nós no caule principal era muito maior).

Os parâmetros agronômicos, altura da cultura e índice de área foliar (IAF), para a cultura do girassol, constam na Figura 4 a) e b).

O tratamento estatístico (*anova: factor único*) efectuado aos resultados obtidos mostrou que, quanto à evolução da altura média das plantas, não foram observadas diferenças significativas (Quadro 3) entre modalidades de ensaio. No entanto, o nível 1 de “rega deficitária” (modalidade CR2 G) apresentou sempre valores superiores a partir dos 72 DAS, em relação à modalidade CR1 G (regime óptimo) e CR3 G (nível 2 de “rega deficitária”).

Relativamente ao índice de área foliar (IAF), a modalidade CR2 G (nível 1 de “rega deficitária”) apresentou valores substancialmente superiores aos das modalidades CR1 G (regime óptimo) e CR3 G (nível 2 de “rega deficitária”). Na modalidade onde o nível de “rega deficitária” foi



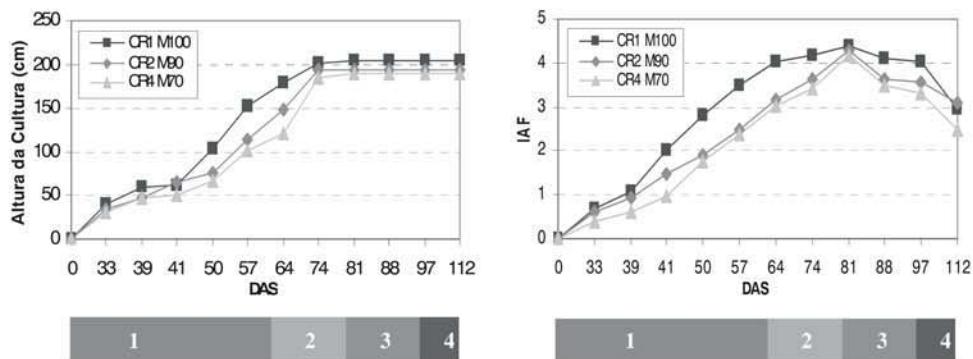
1-Desenvolvimento Vegetativo; 2 – Floração e Formação da Semente

Figura 4 a) e b) - Evolução dos valores médios da altura das plantas e índice de área foliar para a cultura do girassol, nos três cenários de gestão da água em experimentação

QUADRO 3 - Síntese do tratamento estatístico efectuado (anova: factor simples)

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor P	F crítico
Entre Modalidades (Altura Média da Cultura)	151,005	2	75,50	0,059137*	0,943	3,89
Entre Modalidades (LAI médio)	0,0656	2	0,033	0,2366178*	0,793	3,89

* Não existem diferenças significativas ($F < F$ crítico)



1 - Desenvolvimento Vegetativo; 2 - Floração; 3 - Formação do Grão; 4 - Maturação

Figura 5 a) e b) - Evolução dos valores médios da altura das plantas e índice de área foliar para a cultura do girassol, nos três cenários de gestão da água em experimentação

superior, CR3 G, os valores do IAF, durante a campanha de rega não apresentaram diferenças relativamente à modalidade onde não houve a prática de “rega deficitária”, apresentando-se mesmo substancialmente superior durante o período dos 60 a 86 DAS reduzindo essa diferença na fase final da maturação fisiológica da cultura. Esta redução está relacionada com a senescência antecipada das folhas neste modalidade.

Os parâmetros agrónómicos, altura da cultura e índice de área foliar (IAF), para a cultura do milho, constam nas Figuras 5 a) e 5 b).

Os resultados apresentados nas Figuras 5 a) e 5 b), para a cultura do milho, mostram que a evolução da altura média das plantas e do índice de área foliar, se destacou na modalidade CR1 M (regime óptimo), face às modalidades CR2 M e CR3, onde se praticaram cenários com “rega deficitária”, sen-

do o estágio de desenvolvimento vegetativo rápido (41-74 DAS), o período onde foram registadas as maiores diferenças. Contudo, os valores máximos registados, para a altura média da cultura e índice de área foliar, entre modalidades de ensaio, não apresentaram diferenças significativas entre si (Quadro 4).

Produção total das culturas e breve análise económica do ensaio

O Quadro 5 apresenta os resultados obtidos para a produção total da cultura do girassol, por modalidade de ensaio.

Tomando como produções de referência os resultados obtidos por Fereres *et al.* (1986) para a cultura do girassol, variedade SUNGRO – 4 100 (Kg/ha de grão - os valores obtidos na modalidade CR1 G (regime

QUADRO 4 - Síntese do tratamento estatístico efectuado (anova: factor simples)

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor P	F crítico
Entre Modalidades (Altura Média da Cultura)	2852,38	2	1426,19	0,316493*	0,731	3,32
Entre Modalidades (LAI médio)	2,786	2	1,3928	0,87245*	0,428	3,32

* Não existem diferenças significativas ($F < F$ crítico)

QUADRO 5 – Produção total da cultura do girassol: matéria seca, semente, peso de 1000 sementes, nº de sementes e índice de colheita, nas três modalidades de ensaio

Modalidade	Mat. Seca (kg/ha)	Semente (kg/ha)	Peso de 1000 sementes (gr)	Nº Sementes/ha	Índice de Colheita
CR1 G	4431.7	3099.9	56.85	54 103 278	0.7
CR2 G	3665.8	2628.5	54.64	47 494 956	0.7
CR3 G	3477.7	2446.1	53.30	46 302 502	0.8

ótimo) não são significativamente diferentes, mas para as modalidades CR2 G e CR3 G (nível 1 e 2 de “rega deficitária”) as diferenças entre os valores obtidos e a produção média de referência já são significativas.

Não foram observadas diferenças significativas entre modalidades para os parâmetros: matéria seca, nº de sementes/ha, peso de 1000 sementes e índice de colheita. O Quadro 6 ilustra a síntese dos resultados obtidos com o tratamento estatístico realizado (anova: factor simples).

A disponibilidade hídrica no solo durante o período crítico pode, pois, ter sido determinante nos abaixamentos de produção, sugerindo que as não significativas diferenças de produção observadas podiam ainda

ter sido diminuídas, se fosse maior o abastecimento no período crítico identificado.

QUADRO 7 – Produção total da cultura do milho: produção de matéria seca, produção de grão seco e índice de colheita, nas três modalidades de ensaio

Modalidade	Mat. Seca (kg/ha)	Grão (kg/ha)	Índice de Colheita
CR1 M	8996	14132	1.57
CR2 M	8868	12394	1.40
CR3 M	8401	11338	1.35

O Quadros 7 apresenta os resultados obtidos para a produção total da cultura do milho, em cada modalidade de ensaio.

QUADRO 6 - Síntese do tratamento estatístico efectuado (anova: factor simples)

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor P	F crítico
Entre Modalidades (Produção Matéria Seca)	3575592,65	2	1787796,3	1,478*	0,254	3,55
Entre Modalidades (Produção de Semente)	1593739,55	2	796869,8	1,399*	0,272	3,55
Entre Modalidades (Nº Sementes/ha)	2,47 E+14	2	1,236E+14	1,030*	0,377	3,55

* Não existem diferenças significativas ($F < F$ crítico)

QUADRO 8 - Síntese do tratamento estatístico efectuado (anova: factor simples)

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor P	F crítico
Entre Modalidades (Produção Matéria Seca)	19914664,28	2	9957332,14	4,68	0,314	3,89
Entre Modalidades (Produção de Grão Seco)	981613,11	2	490806,558	0,35*	0,713	3,89

* Não existem diferenças significativas (F<F crítico)

A cultura do milho, na modalidade CR1 M (regime óptimo) registou para a produção de grão seco um valor médio de 14 ton/ha. Tomando como referência os valores padrão da região, pode considerar-se um valor satisfatório, de acordo com as características edafoclimáticas em causa.

O Quadro 8 ilustra a síntese do tratamento estatístico realizado (anova: factor simples).

Relativamente às diferenças registadas entre modalidades de ensaio: em termos estatísticos foram observadas diferenças significativas para a produção de produção de grão seco, entre as modalidades CR2 M e CR3 M

(nível 1 e 2 de “rega deficitária”) e a modalidade CR1 M (regime óptimo). Registaram-se diferenças na ordem das 1,7 ton/ha e 2,8 ton/ha de grão. Quanto à produção de matéria seca, não foram encontradas diferenças significativas entre modalidades.

O Quadro 9 apresenta os resultados obtidos com a breve análise económica do ensaio, para os factores de produção água de rega e energia. A base de cálculo foram as características técnicas da estação de bombagem, os dados de campo e a tabela de preços fornecida pelo agricultor (custo da água de rega 0,025 €/m³, custo energia 0,07857 €/kWh).

QUADRO 9 – Breve Análise Económica – água de rega e energia – nas três modalidades de ensaio

Cenário de Gestão da Rega	Água de Rega (m ³ /ha)	Energia (KW/ha)	Custo Total Água de Rega (€/ha)	Custo Total Energia (€/ha)	Custo Total (Euros/ha)
GIRASSOL (2004)					
CR1 G	5856	460	146	35	181
CR2 G	6135	482	153	36	189
CR3 G	3080	242	77	18	95
MILHO (2005)					
CR1 M	9477	563	237	48	285
CR2 M	8399	488	210	42	252
CR3 M	6559	420	164	33	197

QUADRO 10 – Breve Análise Económica e Ambiental - Produtividade da água de rega e da energia

Modalidade	Produtividade biológica kg (mat. seca)/ m ³	Produtividade agrónómica kg (grão)/ m ³	Custos da Água de Rega (€/kg de grão)	Produtividade Energética (kg de grão/kW)
GIRASSOL (2004)				
CR1 G	0,757	0,529	0,0472	6,7
CR2 G	0,598	0,428	0,0583	5,5
CR3 G	1,129	0,794	0,0315	10,1
MILHO (2005)				
CR1 G	0,949	1,491	0,0168	25,1
CR2 G	1,056	1,476	0,0169	18,5
CR3 G	1,281	1,729	0,0145	19,6

O Quadro 10 apresenta os resultados obtidos com a interpretação económica do ensaio, para os parâmetros produtividade biológica, produtividade agronómica, custo da água de rega e produtividade energética.

Da breve interpretação económica do ensaio, conclui-se que a modalidade de ensaio com maior restrição de água (nível 2 de “rega deficitária”), foi aquela que melhor rentabilizou os factores de produção água e energia.

Os resultados obtidos consideram-se meramente indicativos, na medida em que decorreram apenas numa campanha de rega, considerando-se os ensaios de 2004 de carácter preliminar.

CONCLUSÕES

Do trabalho realizado conclui-se o seguinte:

- As culturas girassol e milho desenvolveram mecanismos fisiológicos que lhe permitiram uma resposta adaptativa ao deficit hídrico, salientando-se a verificada capacidade de aprofundamento radical da cultura nas modalidades onde foram praticados os cenários de deficiência hídrica na gestão da rega. Outra capacidade de adaptação da cultura do girassol ao stress hídrico foi a senescência acelerada das folhas da parte inferior da planta, verificada principalmente na modalidade CR3 G, que reduziu desta forma a área foliar e consequentemente as perdas por transpiração.
- Verificou-se um rendimento superior na modalidade com nível 2 de “rega deficitária”, embora com valores de produção mais baixos, a eficiência do uso da água pela cultura é superior.
- Verificou-se um nítido potencial de economia de água proporcionável pela

gestão das culturas com “rega deficitária”.

A utilização de estratégias de gestão da água de rega de carácter deficitário, poderá ser uma mais valia nas condições Mediterrânicas, sobretudo nas situações de seca, tirando o melhor partido possível da reserva de água no solo, no sentido de maximizar a eficiência de utilização do recurso água.

A divulgação dos resultados junto dos agricultores é importante, para melhorar a rentabilidade das culturas e a eficiência da água de rega.

AGRADECIMENTOS

O estudo realizado não teria sido possível sem o apoio financeiro dos projectos de investigação AGRO 217 e PEDIZA 2002.64.002453.1.

Agradece-se à Cooperativa Agrícola do Cabido por ter tornado possível a realização desta experimentação; aos funcionários do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, e ao Professor Shakib Shahidian, toda a ajuda prestada na realização dos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration*. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma.
- Cardoso, C. J. 1965. *Os Solos de Portugal, sua Classificação, Caracterização e Gênese*. S.E. Agricultura, D. G. Serviços Agrícolas, Lisboa.
- Fereres, E., C. Gimenez & J.M. Fernandez 1986. Genetic variability in sunflower

- cultivars under drought. I yield relationships. *Aust. J. Agric. Res.*, **37**:573 – 582.
- Projecto POCTI 34149/AGR/2000. 1999. “*Conservação do Solo e da Água em Condições Particularmente Difíceis dos Regadios Mediterrâneos*”. Anexo Técnico da Candidatura ao Projecto de Investigação. Departamento de Engenharia Rural. Universidade de Évora. Évora.
- Serralheiro, R.P. 1989. *Um Estudo da Rega por Sulcos Num Solo Argiluvado*. Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção de grau de Doutor. Évora.
- Shahidian, S. 2002. *Automação da Rega de Superfície com Retorno, em Tempo Real, da Informação do Campo*. Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção de grau de Doutor. Évora
- Teixeira, J. L. 2004. *RELREG – Programa para Condução da Rega em Tempo Real* – Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.