

MAXIMIZAÇÃO DA ECONOMIA DA ÁGUA EM REGADIO: REGA DEFICITÁRIA CONTROLADA

Toureiro, Célia M. C.¹ & Serralheiro, Ricardo P.¹ & Oliveira, M^a do Rosário²

¹Departamento de Engenharia Rural, ²Departamento de Fitotecnia – Universidade de Évora, Apartado 94 – Pólo da Mitra, 7001 Évora, Telf:+351.266.760823 Fax: +351.266.711189

cmct@uevora.pt e ricardo@uevora.pt e mrol@uevora.pt

Resumo

Nos critérios tradicionais de gestão da rega, o objectivo de optimização era 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. 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 controlada” (RDC), 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.

O trabalho aqui apresentado procura transmitir a experiência adquirida com os resultados obtidos com a prática de estratégias de gestão com “rega deficitária”, nas culturas do girassol e do milho. O presente trabalho insere-se numa linha de estudo que pretende definir o “conceito de água útil para rega”, integrando como cenário possível para a gestão da água de rega a “rega deficitária controlada”. Neste sentido, realizar-se-á uma pesquisa bibliográfica em trabalhos cujo objecto de estudo (componente científica) seja a utilização da água pelas culturas em agricultura de regadio.

Pretende-se, com a concretização dos objectivos propostos nesta linha de trabalho, constituir uma base de dados com informação de base importante para a definição da “dotação óptima” e a “oportunidade ideal” para rega, não só do ponto de vista agronómico, mas também do económico e do ambiental.

Procura-se, com o presente trabalho, adquirir experiência e resultados que aprofundem os conhecimentos científicos e tecnológicos já disponíveis, para que se possa demonstrar e pôr em prática um conjunto de critérios de decisão que apoiem a prática da gestão da água de rega numa óptica sustentável. Procura-se, em particular, definir o papel dos factores ambientais, nomeadamente a disponibilidade de recursos hídricos, como critério de decisão na gestão da rega, naturalmente quantificando-os e inserindo-os nas funções de produção e modelos de gestão. Trata-se, no fundo, de uma tentativa de aprofundar, sistematizar e matematizar o conceito de “rega deficitária controlada”.

Palavras-chave: Gestão da água, Rega Deficitária Controlada, Sustentabilidade em Regadio, Critérios de decisão

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.

Some experiments with “deficit irrigation” of a sunflower crop (in 2004 irrigation season) and maize (in 2005, 2006) 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) levels 1, 2 and 3 of deficit irrigation, considering irrigation opportunity with soil available water respectively 10% and 30% under the “optimum yield level” and irrigation amounts 10%, 20% and 30% less than ETc between irrigation events. In 2006, 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”.

Key words: water management; deficit irrigation; irrigation sustainability; irrigation decision criteria.

1. Introdução e objetivos

A garantia da produção alimentar a nível mundial está directamente relacionada com a disponibilidade do recurso água em todo o planeta (FAO, 2002). Neste contexto, importa referir que a agricultura de regadio é responsável por 40% da produção alimentar mundial, ocupando apenas cerca de 17 % da superfície agrícola mundial; em contrapartida, a agricultura de sequeiro ocupa cerca de 83% da superfície agrícola

mundial, sendo responsável por 60% da produção alimentar mundial (Martín de Santa Olalla, et al., 2005).

Prevê-se que com o aumento populacional, a necessidade de produção alimentar sofra um incremento de cerca de 57 %, entre 1990 e 2025 (Martín de Santa Olalla, et al., 2005). Assim, associada à produção agrícola total estará o aumento da superfície irrigada. Sendo a agricultura de regadio responsável por 70% dos consumos mundiais de água, será necessário e urgente utilizar estratégias que optimizem a utilização deste recurso em regadio.

Neste sentido, a FAO (FAO, 2003) refere que nos próximos 30 anos a utilização de técnicas de eficiência de uso da água em regadio poderá ser a solução mais promissora, podendo-se triplicar a área regada com apenas um incremento anual de 292 km³ de água de rega (2.128 km³ em 1998 para 2.420 km³ em 2030).

Importa também referir que a escassez do recurso água que nos últimos anos se tem feito notar em todo o mundo, e em particular na região do Alentejo, como uma realidade em regiões com clima Mediterrânico, tem 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 controlada” (RDC), 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.

A noção de rega deficitária controlada (RDC) surgiu com os primeiros trabalhos realizados por Mitchell et al. (1984) e Chalmers (1990), os quais fundamentam a utilização de estratégias de redução da quantidade de água fornecida às culturas em função dos estados fenológicos em que o stress hídrico controlado não afectará a quantidade e a qualidade da produção final. Hargreaves e Samani (1984) afirmam que a RDC poderá proporcionar um retorno económico por unidade de superfície, igual ou superior à prática da rega em que a óptica de gestão assenta na maximização produtiva, traduzindo-se em eficiência de uso da água também iguais ou superiores.

A definição de estratégias de gestão com RDC, implica a consideração de determinados factores, os quais poderão mesmo condicionar a sua viabilidade. A Figura 1 ilustra esses factores.

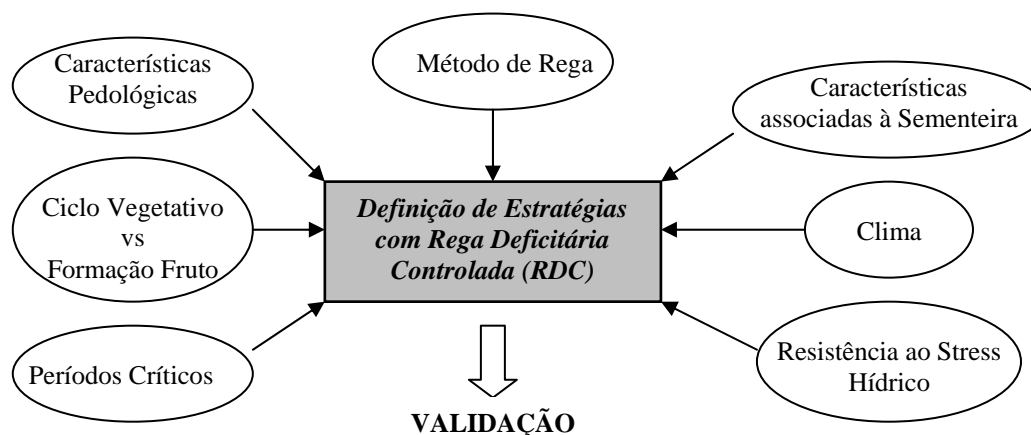


Figura 1: Principais Factores que condicionam a definição de estratégias de Rega Deficitária Controlada (RDC) (Fonte: Martín de Santa Olalla, et al., 2005)

A forma como cada um destes factores condiciona a integração de estratégias de gestão com RDC, é descrita por Martín de Santa Olalla, et al. (2005).

Importa referir alguns trabalhos realizados por um grupo de investigadores da Universidade de Castilla-la-Mancha, que nos últimos anos tem realizado ensaios com Rega Deficitária Controlada (RDC), baseados na introdução de stress hídrico controlado em determinadas fases do ciclo fenológico da cultura, garantido a satisfação plena das necessidades hídricas da cultura nas restantes fases do ciclo, sem que ocorram quebras na produtividade e qualidade na colheita (Fabeiro et al., 2001; Fabeiro et al., 2002; Fabeiro et al., 2003a e 2003b; López Urrea et al., 2002, 2003; Martín de Santa Olalla et al., 2004). Com estes trabalhos, aprofundou-se o conhecimento das necessidades hídricas das culturas, em condições de clima semiárido dos regadios de Albacete,

podendo assim validar, sempre que necessário, os coeficientes culturais publicados pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977, actualizados em Allen *et al.*, 1998).

Salientam-se também outros trabalhos realizados com estratégias de gestão com RDC, em culturas lenhosas: Mitchell e Chalmers (1982); Mitchell et al. (1984, 1986 e 1989); Goldhamer e Shackel (1989); Girona (1992); Girona (1989 e Girona et al. (1990) e Fereres (1983).

A integração de resultados experimentais em ensaios com estratégias de RDC em 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.

Neste sentido, 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 agronómica, quer também procedendo a dotações “deficitárias”, que não repõem à capacidade de campo todo o volume de solo explorado pela cultura.

Pretende-se fundamentar o atrás exposto, com os resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados durante as campanhas de 2004, 2005 e 2006. 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 e 2006, na cultura do Milho, sujeita a quatro 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 (2005); 3) nível 2 de “rega deficitária” regime de regas 20% abaixo do valor de ETc (2006); 4) nível 3 de “rega deficitária” regime de regas 30% abaixo do valor de ETc (2005). Em 2006, durante as fases de desenvolvimento da cultura mais sensíveis ao défice de água no solo, as modalidades de ensaio foram regadas de igual modo (nível de fornecimento de água igual ao valor de ETc).

Em cada uma das modalidades de ensaio foram observados e monitorizados parâmetros hidrológicos e agronómicos, 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 o custo do factor de produção água de rega.

2. Material e métodos

2.1 Caracterização da experimentação e delineamento experimental

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 três campanhas de rega (2004, 2005 e 2006).

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 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.

O trabalho experimental decorreu em parcelas regadas do Perímetro de Rega do Divor, exploradas pela Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, durante as campanhas de rega de 2004, 2005 e 2006:

- Em 2004, ensaios de carácter preliminar com “rega deficitária” na cultura do Girassol (*Helianthus annuus L. var. SUNGRO 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 G100, considerando como “ponto de rega”, que define a “oportunidade de rega”, o limite do rendimento óptimo (LRO), isto é, a reserva de água no solo durante a campanha de rega oscila entre o limite máximo de retenção de água no solo e o LRO (na zona da reserva facilmente utilizável do solo); na segunda e terceira modalidades de ensaio, designadas por CR2 G90 e CR4 G70, respectivamente, considerou-se como “ponto de rega” um limite 10 e 30%, respectivamente abaixo do LRO (níveis 1 e 2 de “rega deficitária”. Supõe-se que em cada rega se repõe a capacidade utilizável do solo na zona de aprofundamento radical.

- Em 2005 e 2006, ensaios de “rega deficitária” na cultura do Milho-Grão (*Zea Mays L. var. SANCHO – FAO 500 em 2005 e var. Evolia (FAO 600) em 2006*). Em 2005, sementeira a 5 de Maio e colheita a 15 de Setembro. Em 2006, sementeira a 9 de Maio e colheita a 4 de Outubro. O compasso utilizado na sementeira foi de 0,15 m na linha e 0,75 m na entrelinha

Para avaliar e caracterizar o comportamento da cultura do Milho, sujeita a quatro cenários de gestão da água de rega, estabeleceram-se 3 unidades experimentais em 2005 e 2 unidades experimentais em 2006: 1) regime óptimo (CR1 M100) de fornecimento de

água igual às necessidades hídricas da cultura, traduzidas pela ETc calculada; 2) nível 1 de “rega deficitária” (CR2 M90) regime de regas 10% abaixo do valor de ETc; 3) nível 2 de “rega deficitária” (CR3 M80) regime de regas 20% abaixo do valor de ETc; 4) nível 3 de “rega deficitária” (CR4 M70) regime de regas 30% abaixo do valor de ETc. Em 2006, durante as fases de desenvolvimento em que a cultura é mais sensível ao défice de água no solo, as 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 e 2006, para a cultura do milho, procedeu-se à reabertura dos sulcos a 8 de Junho e 23 de Junho, respectivamente, uma aplicação de herbicida de pós-emergência (*Butril*) e duas aplicações de solução azotada (1000 l/ha de solução 32 N), a primeira dia 24 de Junho e a segunda dia 24 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 e 2006 em terraços de contorno (sulcos de contorno, 200 m de comprimento).

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.

2.2 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 monitorizaram-se parâmetros hidrológicos e agronómicos.

2.2.1. 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 profundidade 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.

2.2.2. Parâmetros agronómicos: definição da duração dos estados fenológicos da cultura (dias após a sementeira - DAS) e produção final da cultura.

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

Relativamente à determinação da produção final da 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 posterior 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.

2.2.3 Breve análise económica e ambiental do ensaio

Analisaram-se as produtividades biológica e agronómica e o custo da água de rega. A base de cálculo utilizada na breve análise económica do ensaio, para o factor de produção água e o rendimento bruto (receitas obtidas com a venda do produto final, semente de girassol e grão de milho). A tabela de preços base utilizada foi os valores fornecidos pelo agricultor: para o custo da água de rega (0,025 €/m³, preço praticado no Perímetro de Rega do Divor), preço da semente de girassol (0,30 €/kg) e do grão de milho (0,15 €/kg).

3. Resultados e discussão

Os resultados apresentados fazem referência aos seguintes parâmetros avaliados e monitorizados, em cada unidade experimental pré-estabelecida: regime de regas praticado face aos diferentes cenários de gestão da água praticados e no final uma breve análise económica por modalidade de ensaio.

3.1 Gestão da água de rega na experimentação

Os Quadros 2, 3 e 4 apresentam os valores das necessidades totais de rega (NR) para as culturas 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, com base nos parâmetros meteorológicos registados na Estação Meteorológica Automática (EMA) do Divor (www.cotr.pt), durante a experimentação; (Kc) os valores dos coeficientes culturais por estágio de desenvolvimento das culturas girassol e milho; (Pt) os valores da precipitação total registados na EMA; (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 ANREGA (Serralheiro, 1989).

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 e 2006 por fases de desenvolvimento da cultura: desenvolvimento vegetativo (65%), floração e formação do grão (60%); maturação (55%).

Na prática da rega durante a campanha de 2004, em sulcos rectilíneos, com a cultura do girassol, verificaram-se algumas irregularidades topográficas das parcelas, que perturbaram a normal execução das regas, resultando diminuídos os indicadores de qualidade uniformidade e eficiência. A unidade experimental que apresentou maiores irregularidades na organização do terreno foi a modalidade CR2 G90, onde o cenário de gestão da água de rega é o nível 1 de “rega deficitária” (10% abaixo do considerado LRO). Aqui, os valores da eficiência de rega foram 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, com maior intervalo entre regas.

Quadro 1 - Necessidades totais de rega (NH) e valores totais das dotações de rega (Rt), por unidade experimental para a cultura do girassol em cada estágio do seu desenvolvimento

Fases Ciclo da Cultura	Necessidades Totais de Rega (NH) e Volume Total de Rega (Rt)					
	CR1 G100		CR2 G90		CR4 G70	
	NH	RT	NH	RT	NH	RT
1	546,72	247,57	546,72	247,57	473,83	139,00
2	303,31	306,35	363,98	331,67	242,65	151,29
3	31,70	31,70	38,04	34,24	25,36	17,75
Total	881,73	585,62	948,74	613,48	741,84	308,04

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

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 G100 (regime óptimo) o volume total de regas (Rt) satisfaz as necessidades totais de rega em 100%; nas modalidades CR2 G90 e CR4 G70 (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.

Quadro 2 - Necessidades totais de rega (NH) e valores totais das dotações de rega (Rt), por unidade experimental para a cultura do milho em cada estágio do seu desenvolvimento, durante a campanha de 2005.

Fases Ciclo da Cultura	Necessidades Totais de Rega (NH) e Volume Total de Rega (Rt)					
	CR1 M100		CR2 M90		CR4 M70	
	NH	RT	NH	RT	NH	RT
1	333,92	372,67	333,92	308,35	333,92	214,25
2	222,00	220,00	222,00	207,55	222,00	188,70
3	170,00	170,00	170,00	168,00	170,00	144,50
4	208,00	185,00	208,00	156,01	208,00	108,40
Total	933,92	947,67	933,92	839,91	933,92	655,85

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

Quadro 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, durante a campanha de 2006.

Fases Ciclo da Cultura	Necessidades Totais de Rega (NH) e Volume Total de Rega (Rt)			
	CR1 M100		CR3 M80	
	NH	RT	NH	RT
1	325,78	252,00	325,78	153,60
2	156,40	172,80	156,40	172,40
3	174,37	201,60	174,37	201,60
4	133,24	160,00	133,24	98,00
Total	789,79	786,40	789,79	625,60

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

Na cultura do milho, durante as campanhas de rega de 2005 e 2006, foi seguido o delineamento experimental predefinido: na modalidade CR1 M100 (regime óptimo) o volume total de regas (Rt) satisfaz as necessidades totais de rega em 100%; nas modalidades CR2 M90, CR4 M70, CR 3 M80 (nível 1, 2 e 3 de “rega deficitária”, respectivamente) o volume total de regas (Rt) satisfaz as necessidades totais de rega em 90%, 80% 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.

3.2 Produção total e eficiência do uso da água pelas culturas

O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos para a produção total da cultura do girassol, por modalidade de ensaio.

Quadro 4 – 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 G100	4431.7	3099.9	56.85	54 103 278	0.7
CR2 G90	3665.8	2628.5	54.64	47 494 956	0.7
CR4 G70	3477.7	2446.1	53.30	46 302 502	0.8

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 óptimo) não são significativamente diferentes.

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.

O Quadro 5 apresenta os resultados obtidos para a produção total da cultura do milho, em 2005 e 2006, respectivamente, por modalidade de ensaio.

Quadro 5 – Produção total da cultura do milho em 2005: 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
2005	CR1 M100	8996	14132	1.57
	CR2 M90	8868	12394	1.40
	CR4 M70	8401	11338	1.35
2006	CR1 M100	7025	11792	1,68
	CR3 M80	7251	11811	1,63

A cultura do milho, na modalidade CR1 M100 (regime óptimo) registou para a produção de grão seco um valor médio de 14 ton/ha (2005) e 12 ton/ha (2006). Tomando como referência os valores padrão da região, podem considerar-se valores satisfatórios, de acordo com as características edafoclimáticas em causa. O decréscimo de produção verificado em 2006 poderá estar associado à ocorrência de problemas fitossanitários, verificados na modalidade CR1 M100.

Relativamente às diferenças registadas entre modalidades de ensaio: em termos estatísticos não foram observadas diferenças significativas para a produção de matéria seca e produção de grão seco, muito embora as modalidades CR2 M90 e CR4 M70 (níveis 1 e 3 de “rega deficitária”) tenham produzido menos 1,7 ton/ha e 2,8 ton/ha de grão, relativamente à produção da modalidade CR1 M100 (regime óptimo), durante a campanha de 2005. Em 2006, os valores obtidos são muito idênticos, tendo a modalidade CR3 M80, apresentado valores ligeiramente superiores aos verificados na modalidade CR1 M100.

O Quadro 6 apresenta uma interpretação económica do ensaio, com os parâmetros produtividade biológica, produtividade agrónómica e custo da água de rega. A base de cálculo utilizada na breve análise económica do ensaio, para o factor de produção água, foi a tabela de preços fornecida pelo agricultor (custo da água de rega 0,025 €/m³).

Quadro 6 – Breve Análise Económica - Produtividade da água de rega

	Modalidade	Produtividade biológica kg (mat. seca)/ m ³	Produtividade agronómica kg (grão)/ m ³	Custo Água de Rega euros/ kg de grão
2004	CR1 G100	0,76	0,53	0.047
	CR2 G90	0,60	0,43	0.058
	CR4 G70	1,13	0,79	0.032
2005	CR1 M100	0,95	1,49	0.017
	CR2 M90	1,06	1,48	0.017
	CR4 M70	1,28	1,73	0.015
2006	CR1 M100	0,89	1,50	0.017
	CR 3 M80	1,16	1,89	0.013

Da breve interpretação económica do ensaio, é possível concluir que as modalidades com maior restrição de água (níveis 2 (80) e 3 (70) de “rega deficitária”), foram aquelas que melhor rentabilizaram o factor de produção água de rega, tendo-se verificado os valores mais elevados para o parâmetro produtividade agronómica (eficiência do uso da água de rega) 0,79 para a cultura do girassol e 1,73 e 1,89 para a cultura do milho. Importa ainda referir que entre a modalidade CR1, onde o nível de fornecimento de água à cultura era o “regime óptimo”, e a modalidade onde o cenário de gestão era o nível 1 (90) de “rega deficitária”, não foram verificadas diferenças significativas relativamente à eficiência de uso da água.

As Figuras 2 e 3 traduzem os resultados obtidos com a breve análise económica da experimentação, para a cultura do girassol e do milho, respectivamente. O “rendimento bruto” foi obtido em função das receitas obtidas com a venda do produto final (semente de girassol e grão de milho) e os gastos consideraram-se os efectuados com o consumo de água de rega.

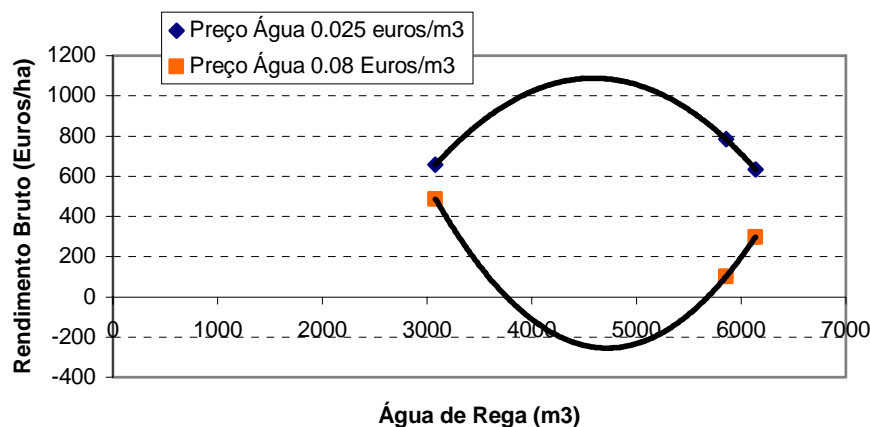


Figura 2: Rendimento bruto em função do volume total de água aplicada (m³), para a cultura do Girassol

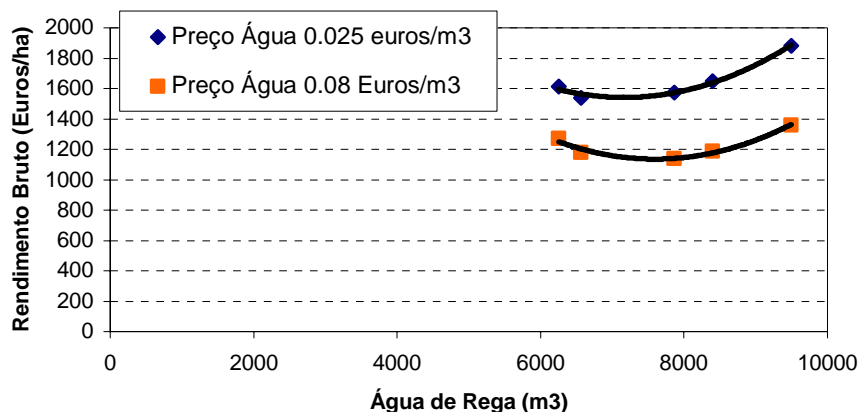


Figura 3: Rendimento bruto em função do volume total de água aplicada (m^3), para a cultura do Milho

Da análise das Figuras 2 e 3, conclui-se que perante um cenário mais pessimista, em que o custo do factor de produção água de rega aumenta, considerando a água como recurso natural escasso e limitado, o rendimento bruto atinge valores consideravelmente mais baixos.

Considerações finais

Do trabalho realizado pode concluir-se o seguinte:

- Verificou-se um rendimento superior nas modalidades com níveis 2 e 3 de “rega deficitária”, embora com valores de produção mais baixos na grande maioria dos casos, pois 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 eficiência do uso da água na rega, aumentando correspondentemente a viabilidade económica e ambiental da agricultura de regadio e o desempenho dos agricultores como guardas do ambiente, conservadores da água.

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 Génese. S.E. Agricultura, D. G. Serviços Agrícolas, Lisboa.

CHALMERS, D. J. (1990). Control del crecimiento de la planta por la regulación de los déficits de agua y la limitación de la zona de humectación. *Frut* 5:369-375.

DOORENBOS E PRUITT (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Roma.

FABEIRO, C., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.J. E DE JUAN, J. A. (2001). Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*, 48: 225-266.

FABEIRO, C., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.J. E DE JUAN, J. A. (2002). Production of muskmelon (*Cucumis leo* L.) under controlled deficit irrigation in a Semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 54: 93-105.

FABEIRO CORTÉS, C., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. E LÓPEZ URREA, R. (2003a). Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 59: 155-167.

FABEIRO, C., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., LÓPEZ, R. E DOMÍNGUEZ, A. (2003b). Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 62:215-227.

FERERES, E. (1983). Short and long-term effects os irrigation on the fertility and productivity of soils. Proc. 17 th Coll. Int. Potash Institute. Bern 283-304.

FERERES, E., C. GIMENEZ E J.M. FERNANDEZ (1986). Genetic variability in sunflower cultivars under drought. I yield relationships. *Aust. J. Agric. Res.*, 37:573 – 582.

GIRONA, J. (1989). Physiological, growth and production responses of late maturing peach (*Prunus persica* L. Batsch) to controlled deficit irrigation. MS Thesis. Univ. California, Davis, 116 p.

GIRONA, J., RUIZ-SÁNCHEZ, M. C., GOLDHAMER, D., JOHNSON, S. Y DEJONG, T. (1990). Late maturing peach pesponse to controlled déficit irrigation: sessional and diurnal patterns of duit growth, plant and soil water status, CO₂ uptake and yield 2 years results. XXIII International Horticultural Congress. Firenze (Italy) 1:284.

GIRONA J. (1992). Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Fruticultura Profesional* 47:38-45.

GOLDHAMER, D.A. Y E SHACKEL, K. (1989). Irrigation cutoff and drought irrigation strategy effects on almond. 17th Annual Almond Research Conference. Modesto. California.

HARGREAVES, G.H. Y SAMANI, Z.A. (1984). Economic considerations of deficit irrigation. *J.Irrigation and Drainage Eng.* 110:343-358.

LÓPEZ URREA, R., LÓPEZ CÓRCOLES, H., LÓPEZ FUSTER, P. FABEIRO CORTÉS, C. MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. J. E MARTÍNEZ CABAÑERO, M. (2002). Anuario Técnico del ITAP 2001. Ensayos de Riego Deficitario Controlado. Albacete, pp. 43-73.

LÓPEZ URREA, R., LÓPEZ CÓRCOLES, H., LÓPEZ FUSTER, P. MONTOSO, A., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. J. E CALERO, J.A. (2003). Anuario Técnico del ITAP 2002. Ensayos dosis de agua y medidas disimétricas. Albacete, pp. 149-184.

MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., DOMÍNGUEZ-PADILLA, A. E LÓPEZ URREA, R. (2004). Production and Quality of the Onion Crop (*Allium cepa* L.) cultivated Under Controlled Deficit Irrigation Conditions in a Semi-Arid Climate. *Agriculture water Management* (in Press).

MARTÍN DE SANTA OLALLA, M., FUSTER, P. L., BELMONTE, C. (2005). *Agua y Agronomía*. Universidade Castilla-La Mancha. Ediciones Mundi-Prensa.

MITCHELL, D. Y CHALMERS, D. J. (1982). The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:853-856.

MITCHELL, P. D., VAN DEN ENDE, B.; JERIE, P.H. Y CHALMERS, D.J. (1989). Responses of “Barlett” pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:15-19.

MITCHELL, P. D., CHALMERS, D.J., Y BURGE, G. (1986). The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:858-861.

MITCHELL, P. D., JERIE, P.H. Y CHALMERS, D.J. (1984). Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:1604-606.

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.