

VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011
Universidade de Évora | Portugal



Necessidades de água e produtividade económica da rega de milho em condições de escassez

G.C. Rodrigues¹, P. Paredes¹, R.D. Rosa¹, F.G. da Silva, L.S. Pereira¹

1. CEER-Centro de Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Emails: pparedes@isa.utl.pt, gc.rodrigues@live.com.pt, ricrosa1@hotmail.com, fgsilva@isa.utl.pt, lsperreira@isa.utl.pt

Resumo

A identificação das necessidades de rega do milho, uma das principais culturas regadas em Portugal Continental, constitui uma medida de preparação para enfrentar as secas e a escassez de água. Definiram-se várias estratégias de rega com o objectivo de redução da procura de água de rega com impactos aceitáveis na produção. O modelo de balanço hídrico e de simulação de calendários de rega SIMDualKc, anteriormente calibrado e validado para a cultura do milho em Portugal, foi utilizado para simular as necessidades de água para condições de seca severa e extrema. Este estudo foi realizado para milho regado por aspersão e aplicado a várias localidades: Vila Real, Bragança e Miranda do Douro no Norte, Coimbra e Viseu no Centro, e Beja, Évora e Elvas no Sul. As alternativas de rega foram avaliadas tendo em consideração a poupança de água de rega e o impacto nas produções; para inferir a viabilidade económica da rega deficitária foram determinados indicadores da produtividade física e económica da água recorrendo a dados sobre o valor da produção e desempenho de sistemas. Os resultados mostram que as estratégias de rega deficitárias poderão ser viáveis quando os défices hídricos forem muito baixos. Como alternativa poder-se-á optar pela satisfação das necessidades totais da cultura mas diminuindo a área cultivada.

Abstract

The water irrigation requirements identification of the maize, a main crop in Portugal is a strategy to cope with water scarcity and droughts. Several deficit irrigation strategies were design with the goal of reducing water demand with acceptable impacts on yields as part of the preparedness measures required to cope with drought and water scarcity. The water balance and irrigation scheduling simulation model SIMDualKc, which was previously calibrated and validated for the maize crop in Portugal, was used to simulate various irrigation schedules under severe and extreme drought conditions. Strategies include full irrigation and moderate and high deficit irrigation to cope with water scarcity conditions. This study applies to the maize crop under sprinkler irrigation in several regions of Portugal; Vila Real, Bragança and Miranda do Douro in North, Coimbra and Viseu in Center, and Beja, Évora and Elvas in South. The alternative irrigation schedules are assessed taking into consideration the reduction in demand for irrigation water (water savings), related impacts on yields and physical and economical water productivity. Results show that deficit irrigation strategies for maize may be feasible only when the irrigation deficit is small. Otherwise, the best practice is to fully satisfy crop needs while reducing the cropped area.

Palavras chave: modelação, secas, rega deficitária, gestão da rega, análise económica, Portugal Continental

INTRODUÇÃO

Em situação de carência de água a gestão desta em agricultura desempenha um papel fundamental no restabelecimento do equilíbrio ambiental e na manutenção dos recursos hídricos (Pereira, 2004). A gestão de recursos em condições de seca centra-se na água e na prioridade para a eficiência de utilização desta, i.e., na produtividade da água. O desafio deste tipo de estratégias de gestão é produzir mais utilizando menor quantidade de água. No entanto, como analisado por Rodrigues *et al.* (2010), é muito importante aferir as relações económicas da produção.

A gestão da procura para combater a escassez de água, ao nível da exploração agrícola, engloba quer a adopção de práticas de rega apropriadas que conduzam a poupança de água, quer a determinação do calendário de rega optimizado para condições de aplicação de volumes de água limitados (Pereira *et al.*, 2009). Se o objectivo é, no entanto, a maximização dos benefícios da produção, a gestão da rega requer uma abordagem diferente. A maximização da produção implica que se efectue a rega necessária a suprir as necessidades totais de água das plantas; se o objectivo for, no entanto, maximizar os benefícios ou o lucro tal pode significar a adopção de rega deficitária controlada, ou seja, regar deliberadamente abaixo do nível de máxima produção que corresponda ao óptimo económico (Pereira, 2004; Pereira *et al.*, 2002).

O milho é uma cultura com elevada exigência de água, mas é também uma das mais eficientes na produção de matéria seca e no uso da água. Em condições óptimas, a produção de milho está estreitamente relacionada com a água disponível. No entanto, a sua qualidade e quantidade está dependente da ocorrência de stress nas fases críticas do seu desenvolvimento, i.e. na floração, frutificação e no enchimento do grão (Doorenbos e Kassam, 1979).

A programação e a condução da rega desempenham um papel importante na gestão da rega em condições de escassez de água, dado permitirem determinar quando e quanto regar de forma a maximizar o uso de água pelas culturas e a minimizar as perdas por excesso de aplicação. Existem vários modelos de simulação do balanço hídrico que constituem ferramentas preciosas para a determinação das necessidades de rega e para a condução da rega. Neste estudo foi utilizado o modelo SIMDualKc (Rosa *et al.*, 2010).

A avaliação de calendários de rega alternativos em termos de poupança de água e produtividade física (WP , kg m^{-3}) e económica da água (EWP , € m^{-3}) pode mostrar-se útil no apoio à decisão quer dos agricultores quer de gestores de projectos de rega. Assim, desenharam-se e avaliaram-se diferentes estratégias de rega em termos de poupanças de água e redução da produção e os seus impactos económicos (WP e EWP). A aplicação foi efectuada em 8 localidades de Portugal Continental: Beja, Elvas e Évora no Sul, Coimbra e Viseu no Centro e Vila Real, Bragança e Miranda do Douro no Norte.

MATERIAIS E MÉTODOS

Modelação

A evapotranspiração cultural (ET_c , mm d^{-1}) em condições padrão é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura que se desenvolve numa extensa área de solo, com um teor de humidade óptimo, sujeita a uma gestão excelente e com as condições ambientais mais adequadas de modo a que a sua produção potencial seja atingida (Allen *et al.*, 1998; Pereira, 2004). Os factores que induzem um crescimento vegetativo deficiente, tais como a salinidade do solo, a baixa fertilidade do solo, a aplicação insuficiente de fertilizantes, a presença de camadas impermeáveis no perfil do solo, a insuficiência do controlo de pragas e doenças, a gestão inapropriada (mobilização) do solo e práticas agrícolas inadequadas, assim como rega que não satisfaça por completo as necessidades da planta, levam a uma diminuição da ET_c que passa a ser referida como evapotranspiração cultural real ou ajustada (ET_a ou $ET_{c\text{adj}}$) (Allen *et al.*, 1998; Pereira, 2004).

O modelo SIMDualKc (Rosa *et al.*, 2010) utiliza a aproximação dual e a ET_c é calculada pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o , mm d^{-1}) e a soma dos coeficientes cultural basal (K_{cb}) e de evaporação do solo (K_e), sendo que o primeiro é ajustado pelo coeficiente de stress ou de défice de humidade do solo (K_s) no caso de existir stress (Allen *et al.*, 1998; Pereira, 2004; Allen *et al.*, 2005, 2007).

$$ET_c = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (1)$$

A ET_o define-se como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, a qual se assume ter uma altura de 12 cm, uma resistência de superfície constante (70 s m^{-1}) e um albedo também constante (0.23), semelhante à evapotranspiração de um coberto extenso de relva verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água; a ET_o foi assim calculada utilizando a equação de Penman-Monteith para períodos diários (Allen *et al.*, 1998; Pereira, 2004). Sempre que a velocidade do vento foi medida a uma altura superior a 2.0 m efectuou-se a respectiva correcção.

As séries de dados de temperatura e precipitação foram primeiramente analisadas quanto à sua homogeneidade e os dados em falta foram preenchidos utilizando o método MOVE.4 (Maintenance Of Variance Extension) o qual recorre a técnicas de extensão de dados com preservação da variância. Nos casos em que não havia observação da humidade do ar, radiação solar ou velocidade do vento, recorreu-se aos processos de estimação propostos por Allen *et al.*, (1998), comprovados por Adaxo (1999) e Popova *et al.* (2006b).

Calendarização da rega

Os factores que devem ser considerados quando se elabora um calendário de rega são: quantidade de água disponível, limitações nas disponibilidades de água, estado de desenvolvimento da cultura e rendimento potencial, precipitação e evapotranspiração, método de rega e limitações do sistema de rega, e conteúdo de água do solo (Pereira, 2004). Na condução da rega, e se esta se faz de forma a evitar que ocorra défice hídrico, a data limite para realizar a rega será quando o teor de água do solo (θ , $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) atinja o limiar $\theta_i = (1-p)(\theta_{FC} - \theta_{WP}) + \theta_{WP}$, onde θ_{FC} e θ_{WP} são respectivamente o teor de água do solo à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento e em que p é a fracção da capacidade máxima de armazenamento (TAW , mm) que pode ser extraída sem produzir stress hídrico. Este procedimento, tomando como limiar a fracção p , é assumido quando se pretende evitar stress hídrico e atingir a produção potencial. A quantidade de água facilmente disponível para as plantas (RAW , mm) é a fracção a fracção descrita pelo produto $p TAW$.

A rega pode ser conduzida para um limiar diferente, o qual traduz a extracção desejada em termos de gestão (MAD , "management allowed depletion"). Toma-se $MAD < p$ quando se pretende diminuir o risco de ocorrência de stress ou as incertezas ligadas à gestão da rega. Ao contrário, toma-se $MAD > p$ quando se assume intencionalmente a gestão da rega com stress em determinados períodos, ou quando os recursos hídricos disponíveis são insuficientes para que a rega se pratique em conforto hídrico. Em ambos os casos, a dotação (I , mm) a aplicar para restabelecer a água do solo à capacidade de campo é $I_{ni} = 1000 z_{ri} (\theta_{FC} - \theta_{WP})$, correspondendo à maior quantidade a aplicar sem que ocorra percolação. Podem utilizar-se dotações mais pequenas, seja definindo um valor máximo para θ inferior à capacidade de campo, seja adoptando uma dotação fixa conforme o método de rega utilizado. A dotação bruta a aplicar deverá ser $G = I_{ni} / E_a$, em que E_a é a eficiência de aplicação, podendo esta ser corrigida para casos de remoção de sais acumulados no perfil conforme Pereira (2004).

Necessidades líquidas de rega (NIR) – são calculadas mediante o balanço hídrico para todos os anos das séries meteorológicas disponíveis (precipitação e evapotranspiração de referência) determinando uma nova série referente às *NIR* e efectuando uma análise de frequência para esta série. A esta série é geralmente ajustável uma função de distribuição normal que permite estimar as necessidades de rega para o ano de seca severa (correspondente a uma probabilidade de não excedência de 80%) e para o ano de seca extrema (correspondente a uma

probabilidade de não excedência de 95%). O balanço hídrico é depois simulado para as condições climáticas dos anos correspondentes a estes níveis de procura climática.

Rega para maximização da produção - a prática mais generalizada na agricultura de regadio, consistindo em maximizar o rendimento da cultura por unidade de terra aplicando a quantidade de água necessária a suprir as necessidades da cultura.

Rega deficitária - é uma estratégia de optimização na qual as culturas são deliberadamente sujeitas a um certo grau de défice de água e de redução de rendimento (English e Raja, 1996). A cada estratégia de rega deficitária corresponde uma evapotranspiração relativa ET_d/ET_c que induz uma diminuição do rendimento da cultura $Q_y = (1 - Y_d/Y_c)$, em que ET_c e ET_d são respectivamente a evapotranspiração potencial da cultura e a ET real deficitária, e Y_c e Y_d são respectivamente os rendimentos das culturas correspondentes a ET_c e ET_d . A adopção da rega deficitária implica a adopção de calendários apropriados construídos após validação dos modelos de simulação (e.g. Teixeira *et al.*, 1995; Popova *et al.*, 2006a; Rosa *et al.*, 2010).

Nas estratégias de rega definidas neste estudo optou-se por considerar uma dotação fixa $I = 15$ mm e fixar os limiares θ_{MAD} como segue: (a) $MAD = p$; (b) $MAD = 1.10 p$; $1.20 p$, $1.05 p$; $1.20 p$, respectivamente para as fases inicial, de desenvolvimento, média e final do ciclo cultural; e (c) $MAD = 1.10 p$; $1.30 p$, $1.05 p$; $1.30 p$ para as mesmas fases do ciclo.

De modo a determinar as quebras de produção decorrentes do stress hídrico utilizou-se o modelo água-produção descrito por Stewart *et al.* (1977), divulgado por Doorenbos e Kassam (1979). Baseia-se no conhecimento do factor de resposta da cultura à água (K_y), que exprime a relação linear entre o défice relativo de evapotranspiração sazonal ($1-ET_d/ET_c$) e as perdas relativas de produção ($1-Y_d/Y_m$), onde Y_a e Y_m representam a produção real e a potencial, respectivamente. No presente estudo utilizou-se $K_y = 1.25$ (Alves e Pereira, 1998).

Produtividade física e económica da água

Não existe acordo no uso do termo produtividade da água, WP . Como analisado com referência a vários estudos, WP pode expressar quer uma razão física entre a produção e a água utilizada, quer uma razão económica entre o valor da produção e a água utilizada. Os conceitos podem ser aplicados a diferentes escalas, desde a parcela até à bacia. Seguindo a análise proposta por Pereira *et al.* (2009), definem-se apropriadamente os conceitos utilizados neste estudo. WP é definida como a razão entre a produção real da cultura e o total de água utilizado, expressa em kg m^{-3} :

$$WP = \frac{Y_a}{TWU} \quad (2)$$

onde Y_a é a produção real, em kg, e TWU é o total de água utilizado incluindo a precipitação, em m^3 , para alcançar Y_a . Quando considerada a água utilizada ao nível da parcela (TWU_{Farm}), incluindo a precipitação, armazenamento de água no solo, ascensão capilar e rega, a produtividade da água na parcela (WP_{Farm}) é definida como:

$$WP_{Farm} = \frac{Y_a}{TWU_{Farm}} \quad (3)$$

É importante considerar as questões económicas relativas à produtividade da água já que o objectivo do agricultor é alcançar o melhor retorno possível. Substituindo o numerador das equações anteriores pelo valor monetário da produção obtida, a produtividade económica da água (EWP) é expressa em € m^{-3} e definida por:

$$EWP = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{TWU_{Farm}} \quad (4)$$

A economia da produção pode ser melhor compreendida quando o numerador é expresso em termos de margem bruta ou do retorno líquido relativo à cultura considerada (Rodrigues *et al.*, 2003), mas estas aproximações requerem uma informação económica muito exigente.

Para os diferentes calendários de rega deficitária, e recorrendo ao modelo Stewart, os valores de Y_a foram calculados para cada cenário. Os valores de NIR foram posteriormente convertidos em dotações brutas de rega (GID) utilizando uma eficiência potencial de aplicação média obtida através de avaliações de sistemas de rega em funcionamento. Assim, os valores de WP e EWP foram determinados para a combinação produção – rega bruta sazonal. Rodrigues *et al.* (2010) avaliaram o efeito da variação do desempenho dos sistemas de rega sobre a WP e EWP .

Características climáticas, da cultura e solo

A criação de calendários de rega foi aplicada às seguintes localidades do país: Beja, Elvas e Évora no Sul, Coimbra e Viseu no Centro e Vila Real, Bragança e Miranda do Douro no Norte (Paredes e Rodrigues, 2010). Na Fig. 1 apresentam-se as características climáticas médias (ET_o e precipitação) de cada local. A ET_o foi determinada pelo método FAO-PM referido atrás (Allen *et al.*, 1998). Analisando a Fig. 1 verifica-se que em todas as regiões estudadas, nos meses de Verão, a ET_o é muito superior à precipitação pelo que a rega é condicionante para que se atinjam as produções potenciais. Os parâmetros característicos da cultura constam da Tabela 1.

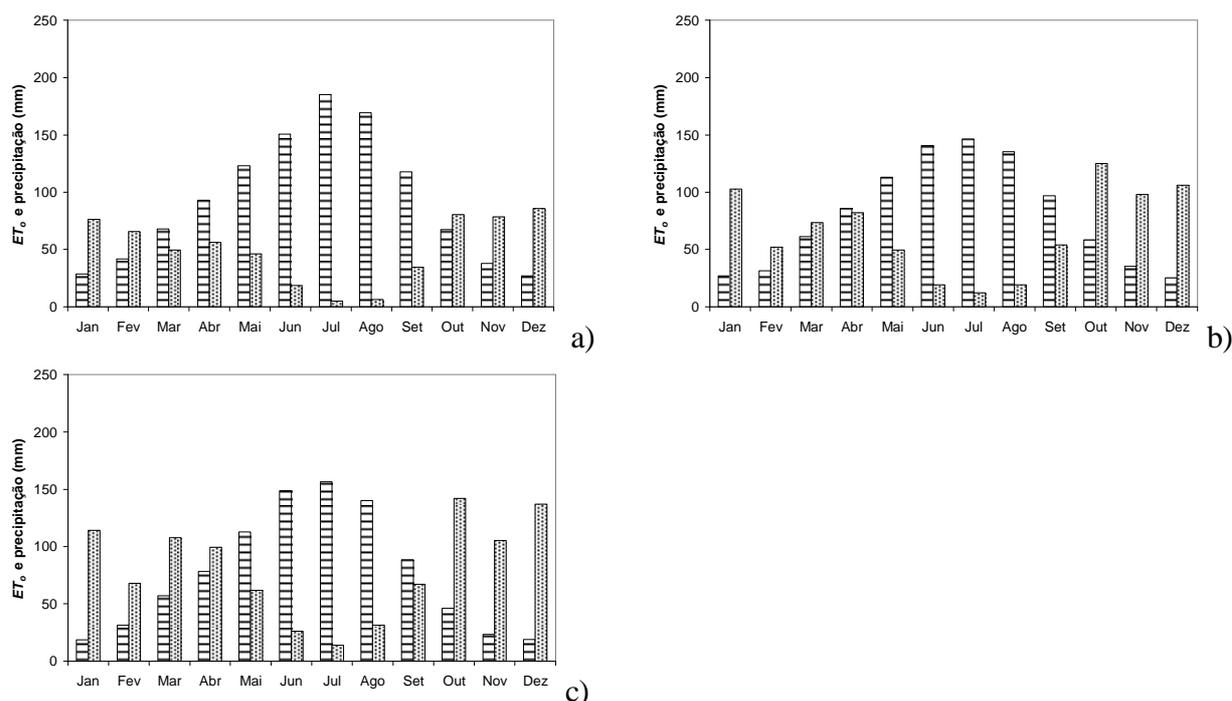


Figura 1. ET_o (□) e precipitação (▨) (mm) médias para as estações meteorológicas do Sul, Évora (a), do Centro, Coimbra (b), e do Norte Vila Real (c).

Para evitar que os resultados fossem afectados pela natureza do solo nos diversos locais, optou-se por realizar todas as simulações para um solo franco-limoso com uma capacidade de campo (θ_{FC}) de $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e um coeficiente de emurchecimento (θ_{WP}) de $0.10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Descrição detalhada é apresentada em Paredes e Rodrigues (2010). O solo apresenta uma quantidade de água disponível total, $TAW = 253 \text{ mm}$, tendo-se considerado que a camada evaporativa tem 0.15 m , com um teor total de água evaporável $TEW = 38 \text{ mm}$ e um teor de água facilmente evaporável $REW = 12 \text{ mm}$.

Tabela 1. Coeficiente cultural basal (K_{cb}) e fracção de água do solo esgotável sem causar stress hídrico (p) e datas das fases de desenvolvimento da cultura do milho

Parâmetros culturais	Estágios de desenvolvimento da cultura			
	Período inicial	Período de .cresc rápido	Período intermédio	Período final
Coeficiente cultural basal, K_{cb}	0.40	0.40-1.15	1.15	1.15-0.35
Fracção p	0.50	0.50-0.50	0.50	0.50-0.50
Datas	25-05 a 10-06	11-06 a 17-07	18-07 a 03-09	04-09 a 13-10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calendários de rega

A simulação da rega em condições de disponibilidade de água limitada foi estudada tomando em consideração dois níveis de procura climática, forte e a muito forte, correspondendo a seca severa e seca extrema. Estes níveis estão directamente relacionados com as reservas de água do solo e com as necessidades de rega da cultura. Na Fig. 2 são apresentadas as séries das necessidades de rega para a cultura do milho para as diferentes localidades, as quais serviram para identificar os anos de seca severa e extrema a simular. Verifica-se que as necessidades de rega do milho são mais elevadas nas regiões do Sul onde a ET_c é mais elevada e a precipitação mais reduzida; as NIR variam entre 392 e 797 mm nos anos de seca severa e 467 a 830 mm nos anos de seca extrema. De salientar que, para todos os casos, o ano de seca severa foi o de 2005, com excepção de Elvas pois a série de dados utilizada é mais curta não contemplando o ano de 2005.

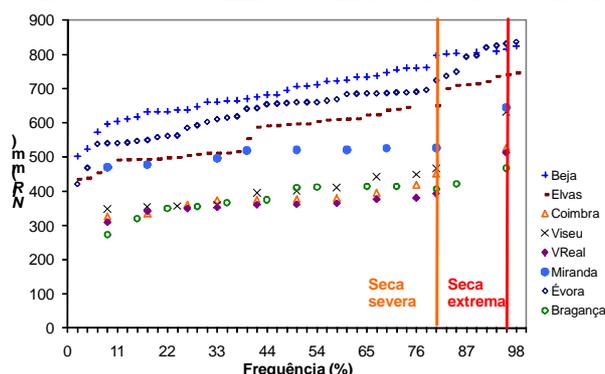


Figura 2. Necessidades líquidas de rega do milho em várias localidades de Portugal identificando-se as necessidades para as condições de seca severa e extrema.

Tabela 2. Características dos anos de seca severa e extrema para as localidades estudadas

Local	Procura climática	Anos	Prec. sazonal (mm)	ET_c (mm)	NIR (mm)
Beja	Severa	1991	38	892	797
	Extrema	2005	43	893	810
Elvas	Severa	1965	175	752	650
	Extrema	1991	32	805	740
Évora	Severa	2008	61	832	723
	Extrema	2005	66	921	830
Coimbra	Severa	2006	153	619	450
	Extrema	2005	79	620	525
Viseu	Severa	2001	155	643	466
	Extrema	2005	107	759	631
Vila Real	Severa	2001	150	545	392
	Extrema	2005	81	611	513
Bragança	Severa	1986	142	545	406
	Extrema	1994	54	563	467
Miranda do Douro	Severa	2000	92	655	526
	Extrema	2005	33	724	645

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados das alternativas de calendários de rega para todas as regiões estudadas, incluindo os valores de WP_{Farm} e EWP para os diferentes cenários. Os resultados foram obtidos considerando as GID obtidas para uma eficiência de aplicação de 75%, valor que representa um desempenho de um sistema com uma manutenção algo regular.

Tabela 3. Resultados das simulações da rega do milho para diferentes localidades em condições de seca severa e extrema e várias estratégias de rega ($I = 15 \text{ mm}$).

Local	Procura climática	Est. rega	ΔASW (mm)	Prec. (mm)	NIR (mm)	ET_a (mm)	Perda relativa de produção (%)	WP_{Farm} (kg m^{-3})	EWP (€ m^{-3})
Beja	Severa	a	-45	38	795	880	2	0.83	0.17
		b	-65		705	794	14	0.80	0.16
		c	-86		645	755	19	0.80	0.16
	Extrema	a	-27	43	810	880	2	0.94	0.19
		b	-46		690	780	16	0.92	0.19
		c	-62		645	736	22	0.89	0.18
Évora	Severa	a	-44	61	720	823	1	0.99	0.20
		b	-58		630	731	15	0.95	0.20
		c	-81		570	695	21	0.94	0.19
	Extrema	a	-19	66	825	910	2	0.96	0.20
		b	-40		705	811	15	0.94	0.19
		c	-56		660	767	21	0.91	0.19
Elvas	Severa	a	79	175	645	744	1	1.09	0.22
		b	54		540	661	15	1.07	0.22
		c	41		495	629	20	1.06	0.22
	Extrema	a	-25	32	735	794	2	1.07	0.22
		b	-53		630	701	16	1.03	0.21
		c	-64		585	668	21	1.02	0.21
Coimbra	Severa	a	-13	153	450	614	1	1.27	0.26
		b	-33		375	559	4	1.37	0.28
		c	-57		345	539	16	1.23	0.25
	Extrema	a	-13	79	525	617	1	1.19	0.24
		b	-39		435	553	13	1.18	0.24
		c	-52		405	521	20	1.13	0.23
Viseu	Severa	a	-16	155	465	637	1	1.05	0.22
		b	-44		390	590	10	1.05	0.21
		c	-59		360	575	13	1.05	0.22
	Extrema	a	-12	107	630	749	2	1.09	0.22
		b	-48		510	665	15	1.09	0.22
		c	-58		480	630	21	1.06	0.22
Vila Real	Severa	a	-33	150	390	543	1	1.24	0.25
		b	-51		330	500	10	1.23	0.25
		c	-70		300	489	13	1.23	0.25
	Extrema	a	-15	81	510	607	1	1.24	0.25
		b	-27		435	544	14	1.21	0.25
		c	-41		390	512	20	1.21	0.25
Bragança	Severa	a	-4	142	405	542	1	1.04	0.21
		b	-35		330	499	11	1.04	0.21
		c	-38		315	486	14	1.03	0.21
	Extrema	a	-44	54	465	560	1	0.95	0.20
		b	-81		390	506	13	0.92	0.19
		c	-85		360	480	18	0.91	0.19
Miranda Do Douro	Severa	a	-33	92	525	651	1	1.00	0.20
		b	-51		435	578	15	0.97	0.20
		c	-66		405	548	20	0.95	0.19
	Extrema	a	-6	66	645	719	1	1.03	0.21
		b	-31		540	638	15	1.01	0.21
		c	-39		495	601	21	1.00	0.21

Nota: ΔASW é a variação da água disponível no solo

Verifica-se por análise dos resultados constantes da Tabela 3 que em condições de seca severa, a cultura do milho para ser gerida sem carência hídrica (estratégia a) requer uma dotação total de rega de 645 a 795 mm, nas localidades do Sul de Portugal; em contraste, nas localidades do Norte necessita apenas de 390 a 525 mm; no Centro necessita de 450 mm. No que toca à WP os valores apresentam uma variação de 0.83 a 1.09 kg m^{-3} para o Sul do País, de 1.00 a 1.24 kg m^{-3} para o Norte e 1.05 a 1.27 kg m^{-3} . Já a EWP apresenta uma variação de 0.17 a 0.22 € m^{-3} nas localidades mais a Sul e de 0.22 a 0.25 € m^{-3} e 0.20 a 0.26 € m^{-3} nas localidades do Norte e Centro, respectivamente. Verifica-se que os valores de WP e EWP são maiores na localidades do Centro face às necessidades serem inferiores nesta região.

Numa mesma óptica de gestão, em condições de seca extrema o milho necessita de 735 a 810 mm no Sul, 525 mm no Centro e 465 a 645 mm no Norte. Para as mesmas condições de procura climática, a WP_{Farm} varia nos intervalos 0.94 – 1.07 kg m^{-3} , 0.95 – 1.24 kg m^{-3} e 1.09 – 1.19 kg m^{-3} para o Sul, Norte e Centro, respectivamente. A EWP , para as mesmas regiões, varia nos intervalos 0.19 – 0.22 € m^{-3} , 0.20 – 0.25 € m^{-3} e 0.22 – 0.24 € m^{-3} . Contrariamente ao que acontece para os anos de procura climática severa, para condições de seca extrema a região com maiores produtividades física e económica é a do Norte, traduzindo uma menor sensibilidade ao aumento das necessidades hídricas.

Se, no entanto, se optar pela utilização de rega deficitária moderada (estratégia c) ou seja com perdas relativa de produção (Q_y) $\leq 16\%$, verifica-se uma poupança para os anos de seca severa que varia entre 11 e 19% da água utilizada para os calendários de rega em conforto hídrico, i.e., 6 a 8 regas; se seleccionarmos a mesma estratégia nos anos de seca extrema a poupança de água de rega varia então entre 14 e 15% a Sul, 17 a 19% no Centro e 15 a 16% no Norte.

Na Fig. 3 apresenta-se a aplicação das estratégias (a) e (c) no ano de seca extrema para o caso de Elvas. O exemplo da Fig. 3 corresponde a uma poupança de água de 150 mm (10 regas) quando se opta pelo calendário de rega deficitária; porém correspondem-lhe 21% de perdas de produção (Tabela 3). A WP_{Farm} apresenta um decréscimo de 1.07 para 1.02 kg m^{-3} e a EWP de 0.22 para 0.21 € m^{-3} . Este facto traduz que a poupança de água não justifica as perdas de produção que daí advêm.

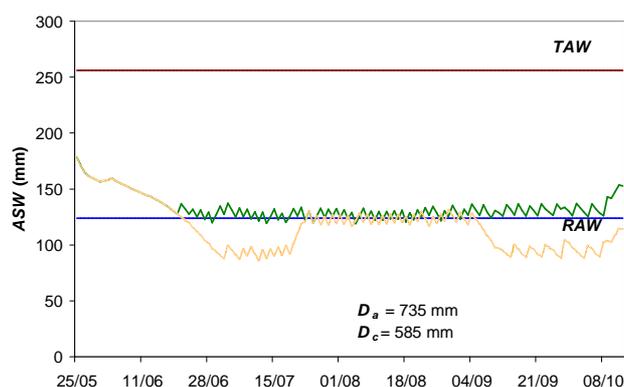


Figura 3. Variação do teor de água disponível no solo (ASW) para as condições de seca extrema, Elvas, para dois calendários de rega da cultura do milho: a) em conforto hídrico (a verde), b) em rega deficitária controlada - estratégia c (a laranja) (nota: D_a e D_c são as dotações totais de rega para cada uma das estratégias).

Os resultados gráficos da aplicação das estratégias (a) e (b) para Coimbra em ano de seca extrema são apresentados na Fig. 4. Neste exemplo, observa-se uma poupança de água de rega correspondente a 5 e 6 regas respectivamente quando se opta pelo calendário de rega em conforto hídrico e deficitária, que correspondem respectivamente a 4 e 13% de perdas de produção (Tabela 3). Considerando o ano de seca severa a WP_{Farm} aumenta de 1.27 para 1.37 kg m^{-3} e a EWP aumenta de 0.26 para 0.28 € m^{-3} . Já no ano de seca extrema a WP_{Farm} sofre um decréscimo de 0.01 kg m^{-3} ; contudo a EWP mantém-se. Conclui-se que, face a um

aumento dos indicadores, a gestão de rega deficitária poderá ser eficaz num ano de procura climática severa; contudo o mesmo não é claro num ano de seca extrema.

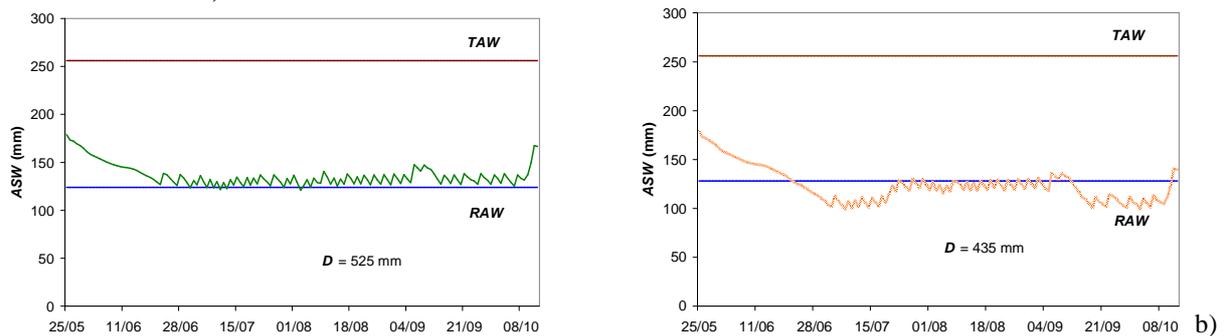


Figura 4. Variação do teor de água disponível no solo (ASW) para a cultura do milho em Coimbra regada em conforto hídrico (esq.) e utilizando a estratégia b (dir.) para condições de seca extrema.

Comparando as Figs. 3 e 4 percebe-se bem que as grandes diferenças entre as NIR no Sul e no Centro se devem à precipitação durante o período do ciclo da cultura. Tal ocorrência de precipitação pode viabilizar a rega deficitária, mas não é certo que isso aconteça.

CONCLUSÕES

Para uma adequada programação e condução da rega, com o objectivo de gerir recursos hídricos escassos, devem ser utilizados modelos, como o modelo SIMDualKc, para simular o comportamento das culturas face a diferentes estratégias de rega. A aplicação daquele modelo, após se ter procedido à sua calibração e validação para a cultura do milho em Portugal, efectuou-se com o intuito de gerir eficientemente a água disponível. Procedeu-se à selecção de estratégias de rega em condições de carência hídrica, as quais se basearam na optimização das disponibilidades de água associada a uma quebra de produção relativamente pequena que permitisse maximizar o uso da água de rega.

Verificou-se que em condições de disponibilidade de água limitada, a selecção de uma estratégia de rega que optimize as disponibilidades de água em relação à menor quebra de produção possível depende não só da cultura e do local onde esta é praticada, mas ainda das condições de seca (severa e extrema) a que está sujeita. Os resultados mostram que as estratégias que conduzem a maiores poupanças de água (6 a 11% da dotação total de rega em conforto hídrico) levam a perdas de produção que variam entre 6 e 10%, o que na conjuntura actual de preços do milho e torna muito difícil a sua adopção pelos agricultores.

A análise das produtividades da água *WP* mostra que depende fortemente da região, tendo a ser maior na região centro. Os resultados mostram também que a *WP* diminui quando a procura climática aumenta, como é o caso dos anos de seca extrema. A produtividade económica da água (*EWP*) varia de forma similar à da *WP*. Contudo, os valores de produção actuais poderão não cobrir os custos de produção se se mantivesse ao nível presentemente praticado, e se não se verificarem melhores desempenhos de rega. Assim, considera-se que em situação de seca severa e extrema a melhor opção será a adopção quer de défices muito pequenos ou quer da rega para satisfação das necessidades totais do milho mas reduzindo a área cultivada.

Verificou-se que o modelo SIMDualKc comprovou ter capacidade para apoiar eficientemente o gestor na prática da rega, tanto em conforto hídrico como na rega deficitária.

AGRADECIMENTOS

Os resultados apresentados são parte das teses de doutoramento de Gonçalo Rodrigues (SFRH/BD/65912/2009) e Paula Paredes (SFRH/BD/62339/2009), pelo que o apoio da FCT é aqui reconhecido.

BIBLIOGRAFIA

- Adaixo, M.S., 1999. Validação de Metodologias de Cálculo da Evapotranspiração de Referência. Tese de Doutoramento, ISA, UTL, Lisboa, 249 p.
- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L.S., 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2): 1-34.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith M., 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrig. and Drain. Paper N°56, FAO, Rome, 300 p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J Irrig. Drain. Engng.* 131: 2-13
- Alves, I., Pereira, L.S., 1998. Relações água-produção. Caso da rega em condições de carência hídrica. Comunicações. IICT, Série Ciências Agrárias No 2, 37-41
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. *Yield Response to Water*. FAO Irrig. and Drain. Paper N°33, FAO, Roma.
- English, M.J., Raja, S.N., 1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agr. Water Manage.* 32: 1-14
- Paredes, P., Rodrigues, GC, 2010. Necessidades de água para a rega de milho em Portugal continental considerando condições de seca. In: Pereira, LS, Mexia, JT, Pires, CA (Eds) *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*. Edições Colibri e CEER, Lisboa, pp. 301-319.
- Pereira, L.S., 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publ. Europa-América, Lisboa, 313 p.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57: 175-206.
- Pereira, LS, Cordery, I, Iacovides, I, 2009. *Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges*. Springer, Dordrecht, 382 p.
- Popova, Z., Eneva, S., Pereira, L.S., 2006a. Model validation, crop coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosystems Engineering* 95(1): 139-149.
- Popova, Z., Kercheva, M., Pereira, L.S., 2006b. Validation of the FAO methodology for computing ETo with missing climatic data. Application to South Bulgaria. *Irrig. Drain.*, 55(2): 201-215.
- Rodrigues, G.C., da Silva, F.G., Pereira, L.S., 2010. Análise económica e da produtividade da água em rega em condições de seca: Aplicação às culturas de milho e trigo no Regadio da Vígia. In: Pereira, LS, Mexia, JT, Pires, CA (Eds) *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*. Edições Colibri e CEER, pp. 321-344
- Rosa, R.D., Paredes, P., Rodrigues, G.C., Alves, I., Pereira, L.S., 2010. O modelo SIMDualKc para a simulação da rega e geração de calendários de rega. In: Pereira, LS, Mexia, JT, Pires, CA (Eds) *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*. Edições Colibri e CEER, Lisboa, pp. 279-300
- Stewart, J.L., Danielson, R.E., Hanks, R.J., Jackson, E.B., Hagan, R.M., Pruitt, W.O., Franklin, W.T., Riley, J.P., 1977. *Optimizing Crop Production Through Control of Water and Salinity Levels in the Soil*. Utah Water Lab, PRWG151-1, Logan, USA, 191 p.
- Teixeira, J.L., Fernando, R.M., Pereira, L.S., 1995. Irrigation scheduling alternatives for limited water supply and drought. *ICID J.*, 44(2): 73-88.