

Alexandra Tomaz^{1,2}, José Dôres¹,
Inês Martins¹; Adriana Catarino¹,
Clarisse Mourinha¹, Maria
Natividade Costa¹, Luís Boteta³,
Marta Fabião³, João Guerreiro³,
Manuel Patanita^{1,2}, Patrícia
Palma^{1,4}

¹ Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal. atomaz@ipbeja.pt

² GeoBioTec, Universidade Nova de Lisboa. Campus da Caparica, Caparica, Portugal.

³ Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Beja, Portugal.

⁴ Instituto de Ciências da Terra (ICT). Universidade de Évora, Évora, Portugal.

INTRODUÇÃO

- Os ganhos de produtividade resultantes da intensificação agrícola introduzida pela rega devem ser acompanhados de um aumento na eficiência agronómica, por um lado, para garantir a sustentabilidade económica e ambiental da agricultura de regadio e, por outro, para fazer face aos efeitos das alterações climáticas, com especial relevo em regiões onde se prevê incremento da escassez de água, como é o caso da Europa Mediterrânica.
- No Alentejo, Sul de Portugal, a agricultura tem sido condicionada por um clima Mediterrânico caracterizado por uma grande variabilidade e irregularidade na distribuição anual e interanual das chuvas e uma estação quente e seca. A esta irregularidade acresce a incerteza climática resultante da mudança global.
- Com o desenvolvimento do EFMA (Empreendimento para Fins Múltiplos de Alqueva), o aumento da área regada está a mudar progressivamente o modelo de produção agrícola no Alentejo. A sustentabilidade económica e ambiental do setor agrícola na região depende do planeamento adequado e da gestão eficiente dos recursos hídricos e de outros fatores consumidos pelos sistemas produtivos.
- A utilização de indicadores de eficiência do uso da água consumida, da água usada na rega e dos nutrientes consumidos pelas culturas sob diferentes regimes hídricos tem merecido atenção de muitos investigadores.
- Mais recentemente, a avaliação do impacto do consumo Humano sobre os recursos de água doce integrados nos processos industriais e/ou agrícolas tem sido realizada recorrendo ao conceito de Pegada Hídrica, uma ferramenta para cálculo da água necessária para produzir “commodities”, representando o volume de água utilizado para produzir bens e serviços.
- Ao nível da cultura, pode constituir um indicador para quantificar a água armazenada no solo e consumida pela cultura, a água usada na rega e a água contaminada, como resultado do itinerário técnico adoptado.

OBJETIVOS

O presente estudo foi desenvolvido em parcelas de girassol de regadio, no aproveitamento hidroagrícola Brinches-Enxoé, localizado no Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), por forma a:

- (i) avaliar os parâmetros de produção;
- (ii) avaliar a eficiência do uso da água e a pegada hídrica verde;
- (iii) avaliar a eficiência do uso da água de rega e a pegada hídrica azul
- (iv) avaliar a eficiência do uso de azoto, fósforo e potássio fornecidos por fertilização mineral e a pegada hídrica cinzenta;
- (v) contribuir, com a determinação destes indicadores, nas condições agroambientais do Sul de Portugal, para alargar a base de ferramentas de apoio à decisão e incrementar a sustentabilidade económica e ambiental da agricultura de regadio.

MATERIAIS E MÉTODOS

- **Culturas:** girassol (A e B) de regadio na área do aproveitamento hidroagrícola Brinches-Enxoé

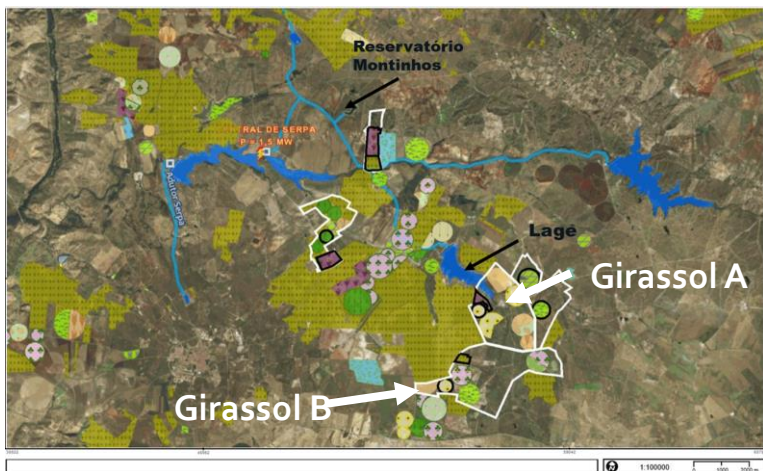


Fig. 1 - Localização das parcelas de girassol estudadas.

- **Meteorologia:** em 2018 a temperatura média anual foi 16.7°C e a precipitação totalizou 603 mm. O ano caracterizou-se por uma primavera muito chuvosa.

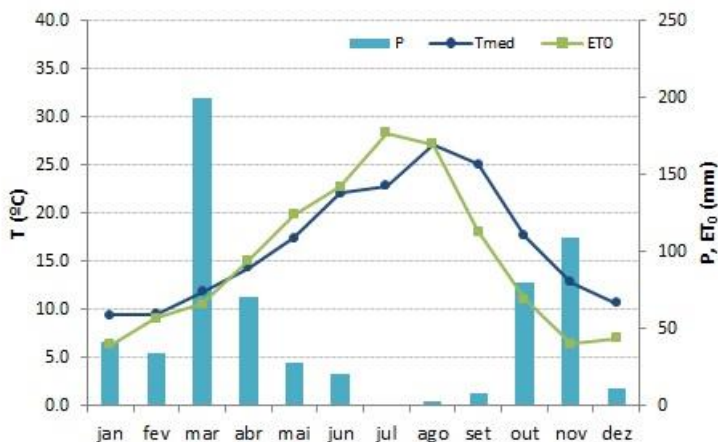


Fig. 2 - Valores mensais de temperatura média (T), precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ETO) em 2018, registados na estação meteorológica de Serpa (SAGRA).

- **Solos:** Girassol A - Vertissolos pélicos (Vp) e Cambissolos crómicos (Bc); Girassol B - Vertissolos pélicos (Vp) e Cambissolos cálcicos (Bk).

- **Principais dados do itinerário técnico adotado:**

	Girassol A	Girassol B
Area (ha)	14	15
Data de sementeira	18-04-2018	27-04-2018
Densidade de sementeira (sem/m ²)	75000	75000
Data da monda pré-emergência	19-04-2018	27-04-2018
Azoto aplicado (kg N/ha)	119	101
Fósforo aplicado (kg P ₂ O ₅ /ha)	34	40
Potássio aplicado (kg K ₂ O/ha)	0	12
Data da primeira rega	19-04-2018	28-04-2018
Data da última rega	01-08-2018	26-08-2018
Dotação total de rega (DTR; m ³ /ha)	2520	4600
Evapotranspiração cultural (ETc, m ³ /ha) ¹⁾	594.3	660.6
Data da colheita	27-08-2018	18-09-2018
Número de dias do ciclo	131	144

¹⁾ Determinação através da metodologia da FAO (Allen et al., 1998) usando o modelo CROPWAT® e parâmetros ajustados à região (Rodrigues et al., 2003)

MATERIAIS E MÉTODOS

- **Amostragem de plantas:** colheita de 4 amostras compostas (uma por cada 3.5 ha), obtidas a partir da mistura de capítulos cortados em pontos selecionados aleatoriamente num percurso em zigue-zague.
- **Parâmetros de rendimento e qualidade:** peso de 1000 sementes (g); teor de humidade das sementes (%; NP EN ISO 665 - Sementes oleaginosas – Determinação do teor de água e matérias voláteis); teor de óleo referido à matéria seca (%; NP EN ISO 659 - Sementes oleaginosas – Determinação do teor de óleo em sementes - Método de referência).

- **Indicadores de produtividade**

- ✓ Eficiência de uso da água de rega (IWUE – *Irrigation Water Use Efficiency*; Kg/m³):

$$IWUE = \frac{R}{DTR}$$

- ✓ eficiência de uso da água evapotranspirada (WUE – *Water Use Efficiency*; Kg/m³):

$$WUE = \frac{R}{ETc}$$

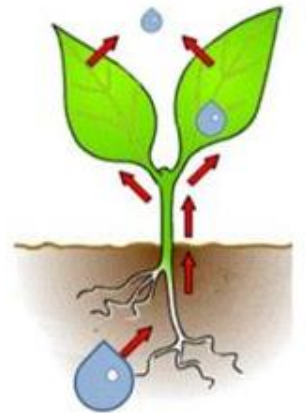
- ✓ Eficiência de uso dos nutrientes (NUE – *Nutrient Use Efficiency*; kg/kg N, P₂O₅ ou K₂O):

$$NUE = \frac{R}{NF}$$

Onde:

R - rendimento (Kg/ha);

NF - nutriente disponível, resultante de fontes na forma mineral por aplicação de fertilizantes (kg N, P₂O₅ ou K₂O/ha) .



MATERIAIS E MÉTODOS

- Indicadores de pegada hídrica

- ✓ Pegada hídrica total (*WF – Water Footprint*; m³/kg):

$$WF = BWF + GWF + GRWF$$



- ✓ Pegada hídrica azul (*BWF – Blue Water Footprint*; m³/t):

$$BWF = \frac{C_b}{R} \cdot 1000$$



- ✓ Pegada hídrica verde (*GWF – Green Water Footprint*; m³/t):

$$GWF = \frac{C_g}{R} \cdot 1000$$



- ✓ Pegada hídrica cinzenta (*GRWF – Gray Water Footprint*; m³/t):

$$GRWF = \frac{(\alpha \cdot NF) / (c_{m\acute{a}x} - c_{nat})}{R} \cdot 1000$$

Onde:

C_b - consumo de água azul (m³/ha), i.é, $C_b = DTR$;

C_g - consumo de água verde (m³/ha), i.é, água armazenada no solo que é evaporada e transpirada pela cultura, com $C_g = Etc_{verde}$ obtida a partir do CROPWAT (opção *Crop Irrigation Schedule*);

α - fração de lixiviação-escorrência, i.é, a fração de químicos aplicados que chega às massas de água doce ($\alpha = 10\%$; Mekonnen e Hoekstra, 2011);

$c_{m\acute{a}x}$ - concentração máxima admissível do contaminante no meio aquático ($c_{m\acute{a}x} = 0.025 \text{ kg/m}^3$; DL236/98);

c_{nat} - concentração natural do contaminante no meio aquático ($c_{nat} = 0.0015 \text{ kg/m}^3$; Liu et al., 2012).

RESULTADOS

PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E DOS NUTRIENTES

Parâmetros de produção	Girassol A		Girassol B	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Rendimento (kg/ha)	3470	-	4156	-
Peso de 1000 sementes (g)	59.24	0.84	68.36	3.94
Teor de humidade (%)	5.30	0.22	5.48	0.11
Teor de óleo (%)	51.34	0.43	51.87	1.49

- Girassol B apresentou valores superiores em todos os parâmetros produtivos estudados.
- Ambas as culturas mostraram $IWUE > WUE$, o que pode indicar que os volumes de rega aplicados pelos agricultores terão sido inferiores àqueles que resultaram da estimativa do modelo CROPWAT para fazer face a 100% Etc.
- Girassol A com $> IWUE$, já que, utilizando 50% do volume de rega usado no Girassol B, teve apenas menos 20% de rendimento.
- $NUE_N < NUE_P < NUE_K$, como resultado da utilização em maior escala de fertilizantes azotados (sem considerar, contudo, outras fontes de nutrientes, nomeadamente, o N, P e K existentes no solo).

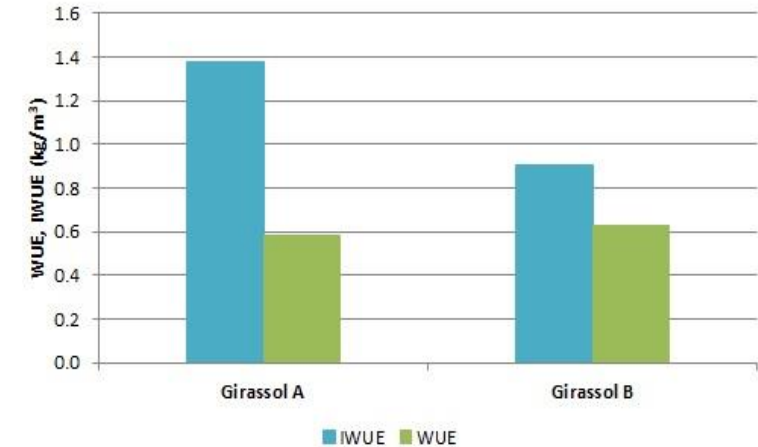


Fig. 3 - Eficiência no uso da água de rega (IWUE) e da água armazenada no solo (WUE) nas duas culturas de girassol estudadas

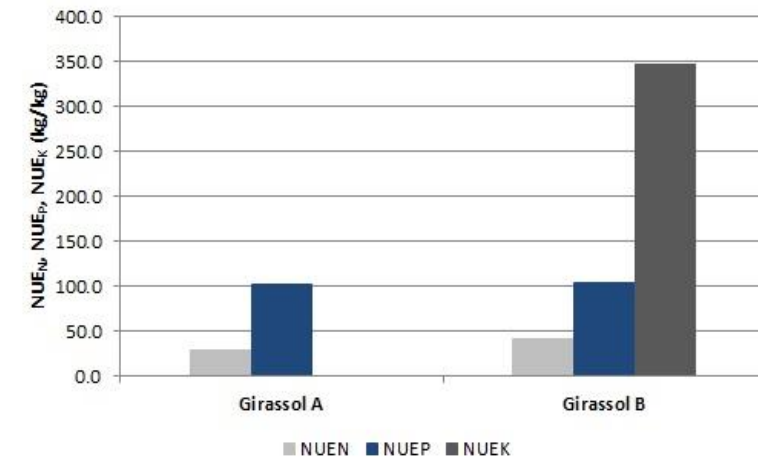


Fig. 4 - Eficiência no uso do azoto (NUE_N), do fósforo (NUE_P) e do potássio (NUE_K) fornecidos através de fertilização mineral nas duas culturas de girassol estudadas.

RESULTADOS

PEGADA HÍDRICA AZUL, VERDE E CINZENTA

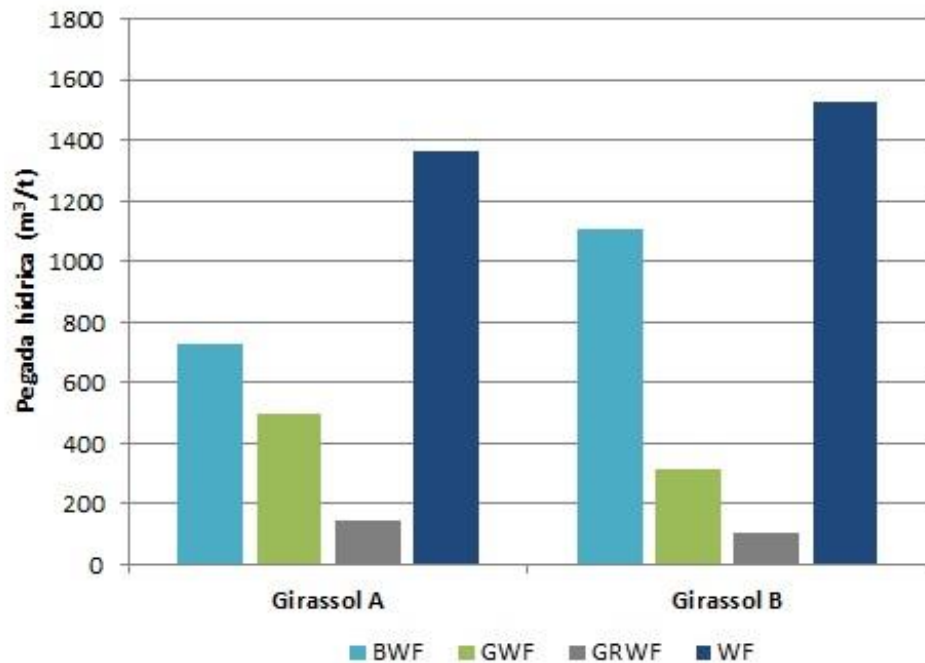


Fig. 5 - Pegadas hídricas azul (BWF), verde (GWF), cinzenta (GRWF) e total (WF) obtidas nas duas culturas de girassol estudadas.

- Água de rega foi o que mais contribuiu para o volume de água incorporado no processo produtivo com a BWF de A e B a constituir, respetivamente, 53% e 72% do valor da pegada hídrica total.
- Os valores de BWF obtidos são muito superiores aos “benchmarks” para a cultura do girassol (148 m³/t) e para regiões do Sul da Europa (140 m³/t) (Mekonnen e Hoekstra, 2011; 2014).
- GRWF < 201 m³/t, “benchmark” da cultura de girassol (Mekonnen e Hoekstra, 2011; 2014), indicando baixo efeito contaminante do processo produtivo, no que respeita a compostos azotados.
- A pegada hídrica total < valor de referência da cultura (3366 m³/t) mas > “benchmark” da região Sul da Europa (1217 m³/t) e a valores obtidos em girassol de sequeiro (Qin et al., 2016), pelo que WF mais elevadas serão de esperar para as culturas regadas, de um modo em geral.

CONCLUSÕES

- Ambas as culturas mostraram $IWUE > WUE$, o que pode indicar que os volumes de rega aplicados pelos agricultores terão sido inferiores àqueles que resultaram da estimativa do modelo CROPWAT para fazer face a 100% Etc.
- A eficiência de uso do azoto fornecido por fertilização mineral foi inferior à do fósforo e à do potássio como resultado da utilização em maior escala de fertilizantes azotados.
- A pegada hídrica azul foi o que mais contribuiu para o volume de água incorporado nas culturas de girassol estudadas. Adicionalmente, os valores de BWF obtidos são muito superiores aos valores de referência para a cultura de girassol e para a região do Sul da Europa, indicando a importância da água fornecida pela rega, e, conseqüentemente, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, na produção agrícola nas condições mediterrânicas do Sul de Portugal.
- Os valores de GWF e de GRWF estimados, ambos inferiores aos “benchmark” da cultura apontam para baixo uso consumptivo da água precipitada e armazenada no solo, e baixo efeito contaminante do processo produtivo, no que respeita a fertilizantes azotados.
- Em qualquer dos cultivos estudados, a pegada hídrica total foi inferior aos valores de referência para a cultura mas superior aos indicados para o Sul da Europa, no qual se englobam culturas regadas e de sequeiro. Desta forma, WF mais elevadas serão de esperar para as culturas regadas, de um modo em geral.

Referências bibliográficas

Allen R.G., Pereira L.S., Raes M., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Rodrigues P.N., Machado T., Pereira L.S., Teixeira J.L., El Amami H., Zairi A. 2003. Feasibility of deficit irrigation with center-pivot to cope with limited water supplies in Alentejo, Portugal. In: G. Rossi, A. Cancelliere, L. S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, A. Zairi (Eds.). Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer. Dordrecht, 203-222.

Liu C., Kroeze C., Hoekstra A.Y., Gerbens-Leenes W. 2012. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. Ecological Indicators 18, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.005>

Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences 15, 1577–1600. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. 2014. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. Ecological Indicators 46, 214–223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>

Qin L., Jin Y., Duan P., He H. 2016. Field-based experimental water footprint study of sunflower growth in a semi-arid region of China. Journal of the Science of Food and Agriculture. 96, 3266-3273. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7726>

Agradecimentos

Este estudo foi co-financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, incluído no COMPETE 2020 (Competitividade e Internacionalização do Programa Operacional) através do projeto Instituto da Ciências da Terra (ICT; UID/GEO/04683/2013) com a referência POCI-01-0145-FEDER-007690 e pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural através do Grupo Operacional FitoFarmGest (PDR2020-101-030926). É também uma contribuição para o projeto UID/GEO/04035/2013, financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Os autores desejam agradecer a José Saramago Brito (Sociedade Agrícola Saramago de Brito) e a João Maria Cano (Sociedade Agro-Pecuária Coelho Palma) pela disponibilização dos locais para a realização do trabalho.

