

Eventuais efeitos de alterações climáticas no estabelecimento de culturas mediterrânicas

Effects of climatic changes on the establishment of Mediterranean crops

J.A.Andrade^{1*}, F.G. Abreu²

¹*Departamento de Geociências, Universidade de Évora- Colégio Luís António Verney,, Rua Romão Ramalho nº59, 7000-671 Évora, Portugal, Tel. nº 266745300, Fax. Nº 266-74539. e-mail: zalex@uevora.pt*

²*Departamento de Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal*

ABSTRACT

Temperature, water and light affect directly crop growth and development. Extremes variations of soil temperature near the surface of bare soils and quick changes of soil water content due to irregular rainfall and high evaporative demand affect markedly crop productivity in Mediterranean areas. At these conditions, crop productivity depends strongly on its early development. Changes on net radiation at soil-atmosphere interface and as well as on annual course of rainfall affects directly parameters of soil thermal regimes and soil water availability and, therefore, the early development of crops.

The aim of this study is to discuss some consequences of climate changes on the early development of crops by settling relationships between air temperatures and those recorded at usual sowing depths in Mediterranean agroclimatic conditions. For this purpose, annual thermal records concerning to an entire year were compared in two type of soils: a Luvisol and a Vertisol (according to WRBSR classification).

Differences between air temperatures and those recorded at 2 cm and 4 cm depth varied during the year. An increase of air temperature is accompanied by a proportionally greater increase on top soil temperature. Effects of different scenarios concerning to climate changes on top soil temperature were discussed based on thermal time concept, applied to two representative crops of Mediterranean agriculture: broad bean and maize.

RESUMO

A temperatura, a água e a luz influenciam directamente o desenvolvimento e a produção vegetais. A irregularidade da precipitação, a que se associam défices hídricos no solo relativamente prolongados, e as temperaturas extremas, que são frequentemente impeditivas do desenvolvimento das plantas, são os factores que mais limitam a produtividade das culturas nas regiões mediterrâneas. Nestas condições agroclimáticas o desenvolvimento inicial determina em larga escala a produtividade das culturas. As variações da quantidade de radiação líquida à superfície dos solos e da distribuição anual da precipitação produzem efeitos directos nos diferentes parâmetros dos regimes térmicos dos solos e na disponibilidade de água no solo e, por consequência, no desenvolvimento inicial das culturas.

Este trabalho tem por objectivo discutir eventuais consequências de alterações climáticas no estabelecimento das culturas, com base no estudo da relação entre a temperatura do ar e as

temperaturas registadas às profundidades de sementeira tradicionalmente usadas para a maior parte das culturas agrícolas em zonas mediterrâneas. Para tal foram comparados registos térmicos de um ano completo em dois tipos de solos, um Luvisol, e um Vertisol (segundo a classificação da WRBSR).

As diferenças entre as temperaturas do ar e as que foram registadas a 2 e a 4 cm de profundidade variaram ao longo do ano. A um aumento da temperatura do ar corresponderam em ambos os locais aumentos proporcionalmente maiores da temperatura na camada superficial dos solos. Foram ainda discutidos efeitos de diferentes cenários de alterações climáticas na temperatura da camada superficial dos solos com base no conceito de tempo térmico, aplicado a duas culturas representativas da agricultura mediterrânea: a fava e o milho.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura, a água e a luz influenciam directamente o desenvolvimento e a produção vegetais. A irregularidade da precipitação, a que se associam défices hídricos no solo relativamente prolongados, e as temperaturas extremas, que são frequentemente impeditivas do desenvolvimento das plantas, são os factores que mais limitam a produtividade das culturas nas regiões mediterrâneas (Abreu, 1987). Um desenvolvimento inicial adequado das culturas deverá assentar em germinações e emergências elevadas, rápidas e uniformes e num rápido crescimento da área foliar, a qual determina, nesta fase, a interceptação total de radiação pela planta (Covell et al., 1986a; Abreu, 1987; Fortin et al., 1994; Andrade, 2001). Por isso, o desenvolvimento inicial determina em larga escala a produtividade das culturas nestas condições agroclimáticas.

As alterações climáticas são variações estatisticamente significativas da média e/ou das medidas de dispersão em torno dela de variáveis que definam o clima, desde que persistentes durante pelo menos algumas décadas (IPPC, 2001a). As variações da quantidade de radiação líquida à superfície dos solos¹ e da distribuição anual da precipitação decorrentes de qualquer alteração climática produzem efeitos directos nos diferentes parâmetros dos regimes térmicos dos solos e na disponibilidade de água no solo e, por consequência, no desenvolvimento inicial das culturas. Diversos relatórios elaborados por organismos internacionais e numerosos artigos científicos convergem na tese de um aquecimento global de origem antropogénica, e por isso acelerado (Oreskes, 2004). Além disso, segundo o último relatório do Grupo Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), as alterações climáticas mais recentes deverão afectar especialmente as regiões mediterrâneas da Europa que “enfrentarão verões mais quentes e Invernos menos regulares com redução da disponibilidade de água nos solos”, reforçando deste modo os factores que mais limitam a produtividade vegetal nestas áreas.

São numerosos os modelos de circulação global que projectam cenários sobre alterações das temperaturas médias do ar, sobretudo anuais, mas também de carácter sazonal e até mensal. Citem-se, como exemplo, os trabalhos realizados Hirst et al. (1996), Roekner et al. (1996), Boville e Gent (1998), Emori et al. (1999) e Boer et al. (2000). Contudo, escasseiam estudos sobre tais impactos na temperatura da camada superficial dos solos e, por consequência, no estabelecimento das culturas, não só na germinação e na emergência das plântulas, mas também na expansão das primeiras folhas das espécies monocotiledóneas.

Este trabalho tem como objectivo discutir eventuais consequências de alterações climáticas no estabelecimento das culturas, com base no estudo da relação entre a temperatura do ar e as temperaturas registadas às profundidades de sementeira tradicionalmente usadas em zonas mediterrâneas para a maior parte das culturas agrícolas. Tomar-se-ão como exemplo de aplicação duas culturas representativas da agricultura mediterrânea como exemplo: a fava e o milho.

¹ $R_n = LE + H + G$, onde R_n é a densidade de fluxo de radiação líquida à superfície, H é a densidade de fluxo de entalpia entre a superfície e o ar imediatamente acima, LE é a densidade do fluxo de calor resultante dos fenómenos de evaporação, condensação e transpiração ocorridos à superfície e G o fluxo de energia entre a superfície e o interior do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Sistema experimental

As experiências decorreram numa parcela de terreno do Monte dos Álamos, Évora (Lat.: 38°30'N; Long.: 7°45'W), situada 210 metros acima do nível médio do mar, e na Tapada da Ajuda, Lisboa (Lat.: 38°42'N; Long.: 9°11'W), numa parcela situada a uma altitude de 60 m. Nos locais das medições não havia qualquer cobertura vegetal. Ambas as regiões onde se inserem os locais citados possuem um clima mediterrâneo do tipo *Csa* segundo a classificação climática de Köppen (mesotérmico húmido de verões quentes e secos). O período seco num ano normal estende-se de Junho a Setembro. A temperatura média anual em Évora é de cerca de 15,5°C (SMN, 1970; INMG, 1990; IM, 2006) enquanto que em Lisboa/Tapada da Ajuda é de cerca de 16,5°C (SMN, 1970; INMG, 1990). De acordo com as Normais Climatológicas relativas a ambos os locais, a temperatura média de Outubro, mês de sementeiras de culturas outono-invernais, foi cerca de 17-18°C enquanto que em Abril, mês de sementeiras de culturas de Primavera, foi da ordem dos 14°C.

No Monte dos Álamos, o solo (Pmg – Solo Mediterrâneo Pardo Normal) tem uma textura franco-arenosa no horizonte superficial (0-20 cm), enquanto que na Tapada da Ajuda, o solo (Cb – Barro Castanho Avermelhado) tem uma textura franco-argilosa. Segundo o sistema de classificação de solos da WRBSR, o primeiro solo é um Luvisol e o segundo um Vertisol (FAO, 1998). A temperatura do solo foi, em ambos os locais, medida por termopares tipo T colocados a 2 e a 4 cm de profundidade. A temperatura do ar na parcela do Monte dos Álamos foi medida por um psicrómetro ventilado do tipo H301 da *Vector Instruments*, montado numa torre meteorológica instalada no local à altura de 1,2 m, enquanto que na Tapada da Ajuda foi medida no abrigo meteorológico da estação convencional lá instalada. Os termopares usados para medir as temperaturas do solo em ambos os locais e o psicrómetro usado para medir a temperatura do ar na parcela em Évora foram ligados a um acumulador de dados (CR 10 da *Campbell Scientific, Inc.*). Foram registados dados horários e diários da temperatura do ar e do solo. O teor de humidade do solo foi, em ambos os solos, medido pelo método gravimétrico nos 5 cm superficiais, em regra, todos os três dias; a periodicidade foi maior durante o Verão, com recolhas semanais e, por vezes, quinzenais. Todas as medições se referem ao ano de 1995.

Procedimento analítico

Foram usados valores diários e valores mensais da temperatura do ar e do solo para o estudo da relação entre a temperatura do ar e a temperatura na camada superficial do solo. Os valores mensais foram calculados a partir da média aritmética dos valores diários registados. Diferenças estatísticas entre médias foram testadas para um nível de significância de 5% (* $P < 0.05$) com testes-T de Student's a duas amostras emparelhadas para médias, usando o *método das diferenças mínimas significativas* (Walpole e Myers, 1978). Para comparar modelos de regressão, designadamente para avaliar o significado estatístico das diferenças entre duas regressões simples, foi utilizada a Regressão Múltipla (Draper e Smith, 1981).

A discussão de eventuais consequências de alterações climáticas no estabelecimento das culturas assenta em cenários decorrentes da aplicação do conceito de tempo térmico definido por Monteith (1977) e tem em conta resultados obtidos por Garcia-Huidobro et al. (1982a), por Mohamed et al. (1888) e por Andrade (2001) sobre o efeito da temperatura do solo no comportamento das culturas, nomeadamente na dimensão e na dispersão da emergência de diferentes culturas mediterrâneas. Para esta discussão, serão ainda tidos em conta os resultados obtidos por Andrade e Abreu (2001) sobre o desenvolvimento inicial de duas culturas, uma outono-invernal, a fava (*Vicia faba* L.), e outra de Primavera, o milho (*Zea mays* L.), em dois tipos de solos, a diferentes temperaturas e teores de humidade.

O tempo térmico (ou a duração térmica) de uma dada fase específica do desenvolvimento vegetal (emergência - $\theta_{(E)}$, produção de cada folha - $\theta_{(P)}$,...) representa a temperatura que é necessário acumular ao longo do tempo cronológico até que a fase considerada se conclua. Em

termos analíticos, o tempo térmico corresponde ao inverso do declive da regressão linear entre a taxa de desenvolvimento da fase de desenvolvimento em causa (emergência - $R_{(E)}$, produção foliar - $R_{(P)}$,...) e a temperatura média (T , em °C) durante o período de tempo t (Monteith, 1977; Garcia-Huidobro *et al.*, 1982a; Mohamed *et al.*, 1988; Abreu *et al.*, 1994):

$$R = (1/t) = (T - T_b) / \theta_1, \quad \text{se } T_b < T < T_o \quad (1)$$

$$R = (1/t) = (T_m - T) / \theta_2 \quad \text{se } T_o < T < T_m \quad (2)$$

$$R = (1/t) = 0 \quad \text{se } T_m \leq T \leq T_b \quad (3)$$

onde T_b é a temperatura base, T_m é a temperatura máxima e T_o a temperatura óptima da fase em causa, representando as duas primeiras, as temperaturas abaixo e acima das quais, respectivamente, a duração t do processo é infinita e, a última, a temperatura para a qual a taxa do processo em causa é máxima. T_b , T_o e T_m denominam-se temperaturas cardinais e delimitam os intervalos considerados.

A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros bioclimáticos relativos ao estabelecimento da fava e ao do milho, experimentados nos mesmos solos usados neste trabalho (Andrade e Abreu, 2001).

Tabela 1. Tempos térmicos de emergência e de produção da 5ª folha (para 50% de plântulas emergidas), temperaturas correspondentes às taxas máximas registadas para a emergência e para a produção foliar ($T_{Rmáx}$) e as maiores temperaturas medidas que garantem uma emergência elevada, no Luvisol (Évora) e no Vertisol (Tapada da Ajuda/Lisboa).

Culturas	Solos	Emergência			Produção de folhas	
		Tempo térmico (0,5E _t) (°Cd)	T _{Rmáx} (°C)	T _{máx'} (°C)	Tempo térmico (5ªfolha) (°Cd)	T _{máx'}
Fava	Luvisol	137	16,9	18,8	526	16*
	Vertisol	125	19,2	19,6	370	19*
Milho	Luvisol	95	23,7	20,5	404	24*
	Vertisol	76	23,5	22,8	459	21*

*Valores aproximados para a média das cinco primeiras folhas produzidas

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperaturas médias diárias

As Figuras 1a e 1b mostram o curso das temperaturas médias diárias do ar, a 2 e a 4 cm de profundidade, registadas em ambos os locais durante o ano de 1995. O curso anual das temperaturas é harmónico e segue de perto os cursos anuais dos fluxos de calor sensível entre a superfície do solo e a atmosfera (H) e entre a superfície e o solo (G) normalmente observados em regiões mediterrâneas (Andrade e Abreu, 2005), onde as temperaturas mais elevadas ocorrem em Julho-Agosto e as mais baixas em Dezembro-Janeiro. A temperatura média anual do ar durante o período das medições foi de 16,9°C em Évora e de 17,7°C na Tapada da Ajuda/Lisboa. As temperaturas médias anuais a 2 cm e a 4 cm de profundidade foram, respectivamente, de 20,8°C e 20,6°C em Évora e de 21,9°C e 21,7°C em Lisboa, isto é, foram, em ambos os solos, superiores às registadas no ar em cerca de 4°C. As temperaturas médias diárias máximas registadas em Évora e Lisboa foram, respectivamente, de 32,6°C e de 30,5°C, enquanto que as mínimas foram de 4,1°C em Évora e de 8,4°C em Lisboa. As temperaturas médias diárias a 2 cm de profundidade variaram entre 5,2°C e 37,7° em Évora e entre 8,3°C e 35,2°C em Lisboa enquanto que a 4 cm, variaram entre 5,3°C e 37,2°C em Évora e entre 8,6°C e 34,2°C em Lisboa.

² Uma emergência elevada implica que a percentagem de plantas emergidas seja superior ao *mínimo agronomicamente aceitável* (Miguel, 1983).

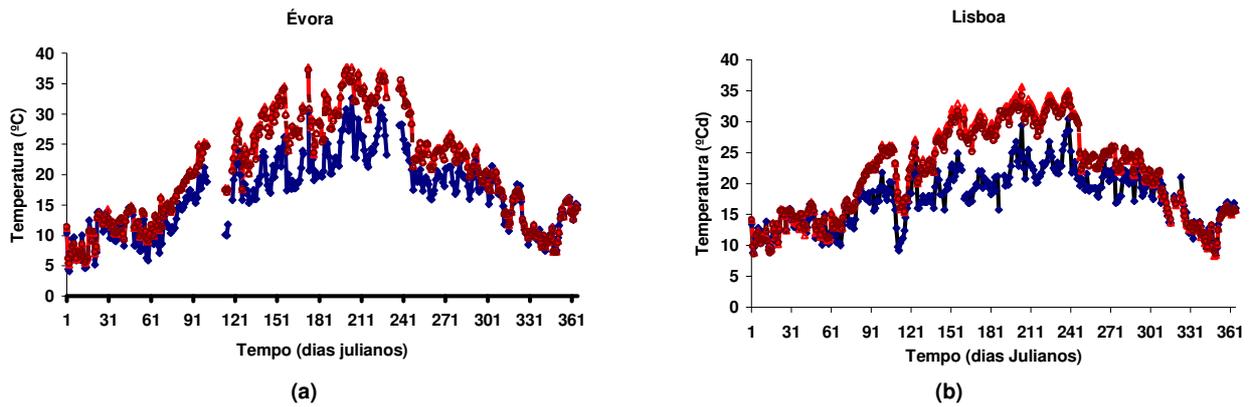


Figura 1. Curso das temperaturas médias diárias do ar (—◆—), a 2 cm (--△--) e a 4 cm (---○---) de profundidade de um Luvisol em Évora (a) e de um Vertisol em Lisboa (b).

As diferenças entre as temperaturas medidas a 2 e a 4 cm de profundidade e as medidas no ar aumentaram com o comprimento do dia em ambos os locais (Figuras 2a, b, c e d), seguindo de perto o curso anual da proporção da radiação líquida diária que é usada no aquecimento do solo (Andrade e Abreu, 2005). Entre Abril e Setembro as médias das diferenças variaram entre 6,4°C e 7,0°C

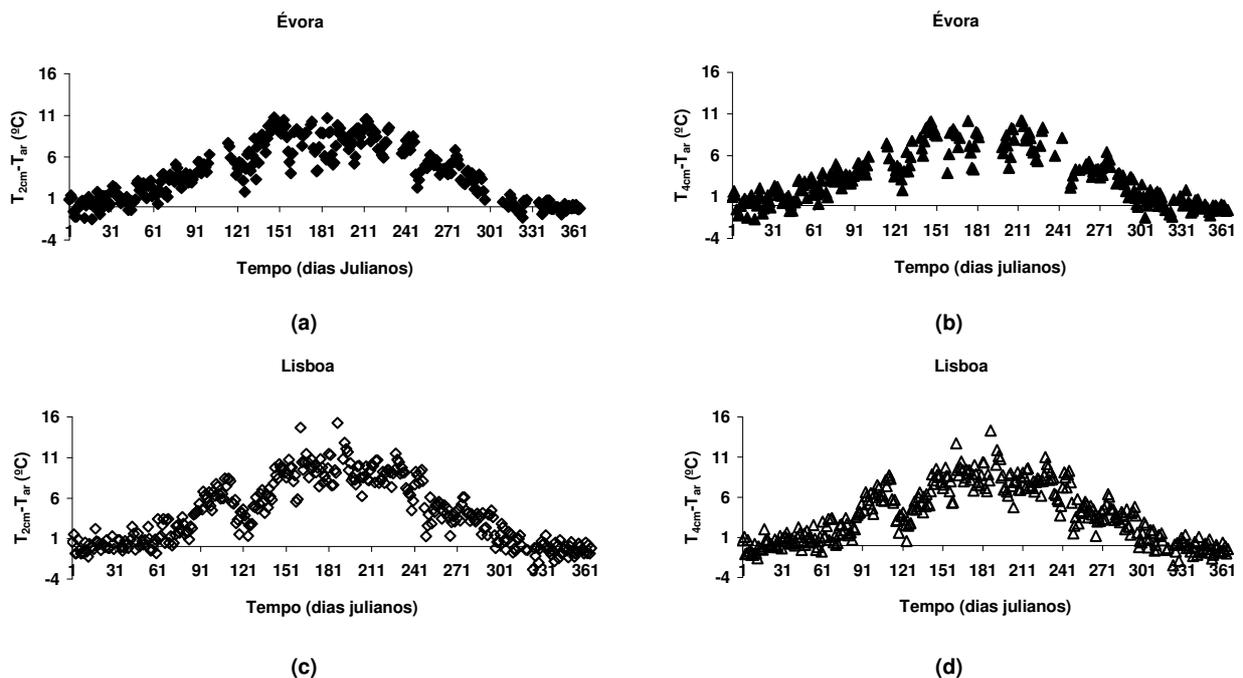


Figura 2. Diferenças entre a temperatura do ar em Évora e a temperatura a 2 cm (a) e a 4 cm (b) de profundidade do Luvisol, e entre a temperatura do ar na Tapada da Ajuda/Lisboa e a temperatura a 2 cm (c) e a 4 cm (d) de profundidade do Vertisol.

em Évora e entre 6,7°C e 7,3°C em Lisboa, enquanto que entre Outubro e Março foram cerca de 1,5°C em Évora e 1,0°C em Lisboa. No semestre mais quente e seco as diferenças foram superiores a 10°C em muitos dias de Verão e raramente foram inferiores a 2°C, mesmo quando o solo apresentou teores de humidade próximos da capacidade de campo (correspondentes aos dias em que tais diferenças foram as menores); no semestre mais frio e chuvoso, as diferenças raramente ultrapassaram os 2°C no semestre mais frio e chuvoso. A dispersão das diferenças entre as temperaturas do solo e as do ar em torno dos seus valores médios, que é devida sobretudo à influência de factores como a nebulosidade ou o teor de humidade do solo (Andrade e Abreu, 2005), é visivelmente maior entre Abril e Setembro (desvios-padrão superiores a 2°C) que entre

Outubro e Março (desvios-padrão iguais a 1,7°C). Estudos futuros deverão ter em conta o papel da destes factores na relação entre o curso diário e o curso anual das temperaturas registados no ar e as registadas no solo, nomeadamente na sua camada superficial.

Temperaturas médias mensais

As Figuras 3a e 3b mostram as temperaturas médias mensais do ar, a 2 e a 4 cm de profundidade, registadas nos dois locais durante o ano de 1995. Em ambos os locais, o mês mais quente foi o de Agosto e o mais frio foi o de Janeiro. As temperaturas médias mensais do ar variaram entre 8,9°C e 25,7°C em Évora e entre 12,3°C e 23,7°C e em Lisboa, reflectindo desta forma a influência da proximidade do mar no curso anual da temperatura do ar. As temperaturas médias mensais a 2 cm de profundidade variaram entre 9,2°C e 33,6°C no Luvisol (Évora) e entre 12,5°C e 32,3°C no Vertisol (Lisboa), enquanto que a 4 cm de profundidade variaram entre 8,8°C e 33,3°C no Luvisol e entre 12,5°C e 31,4°C no Vertisol. Em ambos os locais, as temperaturas da camada mais superficial do solo foram significativamente superiores (* $P < 0,05$) às do ar entre Fevereiro e Outubro, mas estatisticamente semelhantes (* $P < 0,05$) nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro (Figuras 3a e b). Logo, nos meses em que usualmente se semeiam as culturas de Primavera ou as culturas outono-invernais, espera-se que a temperatura média nos centímetros superficiais do solo seja, em qualquer caso, superior à temperatura média do ar. Além disso, as diferenças entre as temperaturas da camada superficial do solo e do ar parecem ter sido tanto maiores quanto maior foi o comprimento do dia, pois variaram em Évora entre cerca de 1°C em Fevereiro e 7-8°C em Junho e Agosto, enquanto que em Lisboa variaram entre 1°C em Fevereiro e cerca de 9°C em Junho e Julho.

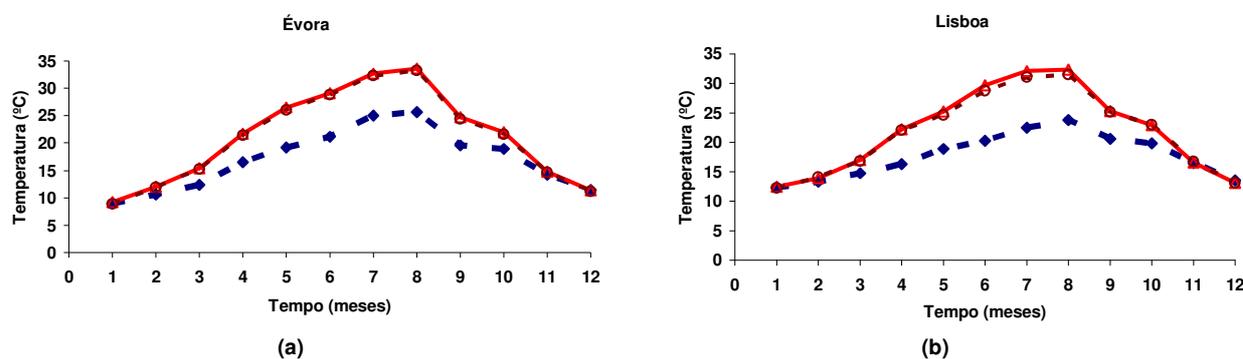


Figura 3. Curso das temperaturas médias mensais do ar (---◆---), a 2 cm (—△—) e a 4 cm (---○---) de profundidade de um Luvisol em Évora (a) e de um Vertisol em Lisboa (b).

A relação entre a temperatura do ar e a temperatura da camada superficial do solo não parece ser idêntica em ambos os semestres pois a duração do período de aquecimento ao longo do ano não foi a mesma que a do correspondente período de arrefecimento. Por isso, foram estabelecidas para cada local duas regressões lineares entre a temperatura a 2 cm de profundidade e a temperatura do ar, uma relativa ao 1º semestre do ano (de Janeiro a Junho) e outra relativa ao 2º semestre do ano (os restantes meses (Figuras 4a e 4b). Em qualquer caso, as correlações foram bastante significativas (* $P < 0,001$), assim como a diferença entre as duas rectas de regressão (* $P < 0,05$) estabelecidas em cada local. Das expressões analíticas obtidas deduz-se que para qualquer acréscimo da temperatura do ar corresponderá, em qualquer caso, um acréscimo proporcionalmente maior da temperatura da camada superficial do solo, e que o impacto desse acréscimo é maior no 1º semestre que no 2º semestre e maior no Vertisol que no Luvisol. Por exemplo, se considerarmos um aumento de 1°C das temperaturas médias do ar de Abril/Maio em Évora (13,6°C e 16,6°C, respectivamente, segundo as Normais de 1951-1980), altura do ano em que as culturas de

Primavera-Verão são semeadas, as temperaturas médias mensais obtidas a 2 cm de profundidade aumentariam de 17,0°C para 18,7°C em Abril e de 21,9°C para 23,6°C em Maio; para o mesmo aumento em Outubro/Novembro, em Évora (17,1°C e 12,4°C, respectivamente), época de sementeira de culturas outono-invernais, as temperaturas médias mensais a 2 cm aumentariam

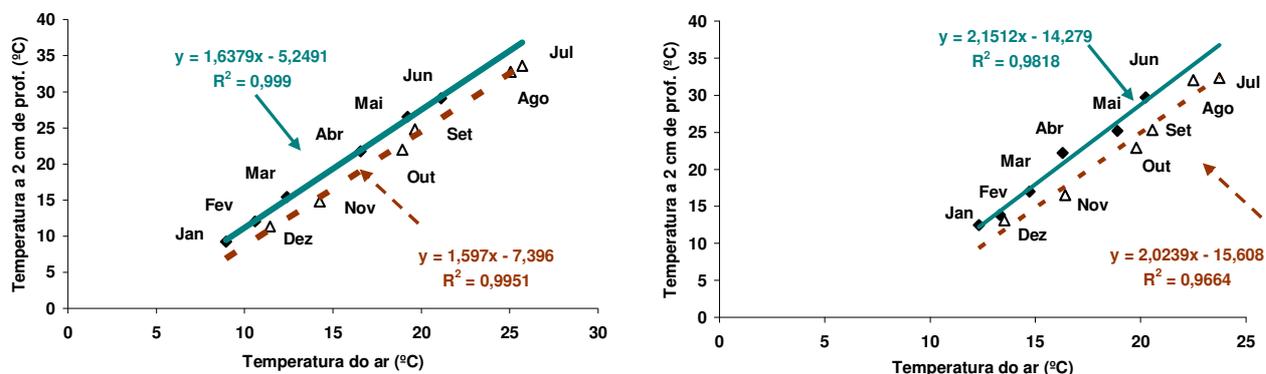


Figura 4. Relação entre a temperatura média mensal a 2 cm de profundidade e a temperatura média mensal do ar, para o 1º semestre (—◆—), e para o 2º semestre (---△---), em Évora (a) e na Tapada da Ajuda/ Lisboa (b)

de 22,8°C para 24,4 em Outubro e de 15,1°C para 16,6°C em Novembro. No Vertisol, o efeito é mais pronunciado, uma vez que a cada aumento de 1°C na temperatura do ar corresponderá a um aumento superior a 2°C a 2 cm da temperatura do solo. Estes resultados sugerem uma diferente repartição ao longo do ano entre os fluxos G e H à superfície dos solos, aspecto a tratar em próximos estudos.

Para analisar a evolução das diferenças entre as temperaturas do ar e as da camada superficial do solo ao longo do ano, foram estabelecidas, para cada local e para cada um dos semestres, duas regressões lineares entre as diferenças obtidas a 2 cm de profundidade e as correspondentes temperaturas médias mensais do ar (Figuras 5a e 5b). Cada regressão obtida foi estatisticamente significativa (*P<0,001) assim como a diferença entre as duas rectas de regressão (*P<0,05) estabelecidas em cada local.

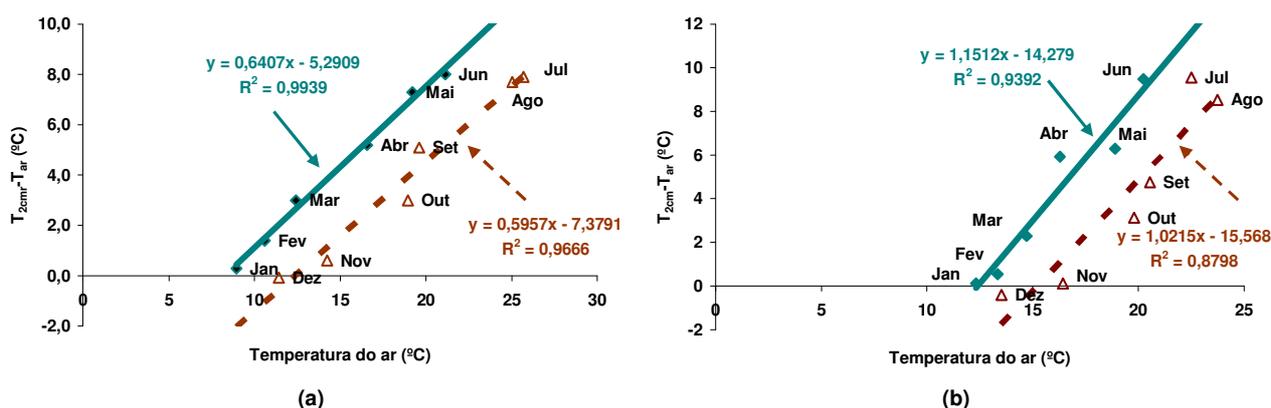


Figura 5. Regressões lineares das diferenças entre as temperaturas a 2 cm de profundidade e do ar sobre a temperatura do ar, para o 1º semestre (—◆—), e para o 2º semestre (---△---), em Évora (a) e na Tapada da Ajuda/ Lisboa (b).

Das expressões analíticas obtidas deduz-se que a evolução das diferenças entre T_{2cm} e T_{ar} em função da temperatura do ar variam significativamente de um semestre para o outro e, em cada semestre, de um solo para o outro. A um acréscimo de 1°C da temperatura do ar corresponde um

acréscimo das diferenças entre T_{2cm} e T_{ar} de cerca de $0,6^{\circ}C$ no Luvisol e de cerca de $1-1,1^{\circ}C$ no Vertisol. No Luvisol, tais diferenças anulam-se para temperaturas do ar de $8,3^{\circ}C$ no primeiro semestre e de $12,4^{\circ}C$ no segundo semestre; no Vertisol, anulam-se para temperaturas do ar de $12,4^{\circ}C$ no 1º semestre e de $15,2^{\circ}C$ no 2º semestre.

Da relação analítica entre a taxa de emergência ou a taxa de produção foliar durante o estabelecimento e a temperatura (equações 1 e 2), deduz-se que um aumento da energia disponível à superfície e, por consequência, da temperatura do solo (e do ar, no caso das espécies monocotiledóneas) tenderá a acelerar tanto mais significativamente qualquer dos processos quanto mais estes ocorrerem sob temperaturas distantes das respectivas temperaturas óptimas; segundo os resultados apresentados por Garcia-Huidobro et al.(1982a) ou por Andrade e Abreu (2001), o aumento da temperatura pode originar uma diminuição da percentagem de plântulas emergidas ou de folhas produzidas (dimensão) se o ambiente térmico em torno das plântulas for próximo das temperaturas óptimas de cada um dos processos; por fim, considerando o estudo efectuado por Andrade (2001) sobre o desenvolvimento inicial de algumas espécies representativas da agricultura mediterrânea, o aumento da temperatura apenas afectará significativamente a dispersão da emergência, isto é, a uniformidade da população emergida, se as temperaturas em causa forem próximas das temperaturas-base respectivas. Assim, nas condições agroclimáticas de ambos os locais em estudo, o aumento da temperatura na época de sementeira das culturas outono-invernais, mesmo que ligeiro, pode originar quebras à sementeira significativas pelo que estas culturas deverão ser semeadas tendencialmente mais tarde, beneficiando adicionalmente de níveis de humidade do solo eventualmente mais favoráveis. Por outro lado, o aumento da temperatura na época de sementeira das culturas primaveris poderá acelerar significativamente a emergência sem que seja expectável qualquer efeito negativo na dimensão da emergência e no nº de folhas produzidas, nem na dispersão da emergência. O sucesso do estabelecimento ficará neste último caso mais dependente do nível de humidade do solo que, sendo insuficiente, aconselhará, em igualdade de outros factores, uma antecipação das sementeiras de forma a aproveitar os níveis médios normais de precipitação que são, como se sabe, mais generosos do Inverno. No âmbito das previsões recentes sobre alterações climáticas (IPCC, 2007), se ao aumento da temperatura se associar uma redução da disponibilidade de água no solo nas épocas tradicionais de sementeira das regiões mediterrânicas, esperar-se-á um aumento do tempo térmico da emergência das culturas atrás citadas (Andrade e Abreu, 2001), assim como uma diminuição das plântulas emergidas em qualquer caso. Deste modo, haverá vantagens sob os pontos de vista térmico e hídrico em adiar a sementeira de culturas outono-invernais, enquanto que, no caso das culturas primaveris, a necessidade de antecipar o momento da sementeira decorrerá sobretudo das condições hídricas do solo e não das condições térmicas previstas.

Considerando os parâmetros bioclimáticos relativos à fava e ao milho que constam da Tabela I, as temperaturas médias de Outubro e de Abril relativas aos dois locais em estudo (ver Materiais e Métodos) e a relação analítica entre a temperatura do ar e a temperatura da camada superficial do solo obtida anteriormente (Figura 4), é possível prever alguns efeitos que correspondam a um aumento de 1 e $2^{\circ}C$ da temperatura do ar teria no estabelecimento das referidas culturas em condições de humidade do solo não-limitantes. Assim, a percentagem de favas emergidas tenderia a decrescer e atingir, em qualquer dos dois cenários de aquecimento, valores abaixo dos *mínimos agronomicamente aceitáveis*, sobretudo no Vertisol, enquanto que a percentagem de plântulas de milho emergidas não se alteraria significativamente, continuando em ambos os solos e, em qualquer caso, acima dos *mínimos agronomicamente aceitáveis*; a dispersão da emergência da fava e do milho em função do tempo cronológico ou em torno do respectivo tempo térmico mais provável não seria afectada, continuando garantida em qualquer caso uma boa uniformidade na cobertura do solo; a velocidade de emergência da fava diminuiria no Luvisol mas aumentaria certamente no Vertisol (o tempo de emergência seria encurtado em cerca de um dia se o aumento da temperatura fosse de $1^{\circ}C$ e diminuiria drasticamente se o aumento fosse de $2^{\circ}C$); a velocidade de emergência do milho aumentaria significativamente em ambos os solos (o tempo de emergência no Luvisol seria diminuído em mais de 3 dias se o aumento da temperatura fosse de $1^{\circ}C$ e em mais de 4 dias se o

aumento fosse de 2°C, enquanto que no Vertisol, o tempo de emergência diminuiria em cerca de 3 dias no primeiro caso e em quase 5 dias no segundo caso).

Estas previsões pressupõem condições hídricas favoráveis, isto é, as que asseguram tempos térmicos mínimos e não afectam a dimensão da emergência nem a o número de folhas produzidas. Para ambas as culturas, tal ocorrerá sempre que o teor de humidade do solo permanecer entre 30% da capacidade utilizável do Luvisol ou entre 60% da capacidade utilizável do Vertisol e as respectivas capacidades de campo (Andrade e Abreu, 2001). Assim, as consequências de uma diminuição dos níveis de precipitação no âmbito das alterações climáticas previstas dependerão do tipo de solo (sendo estas culturas mais afectadas em solos argilosos que em solos de textura mais grosseira) e da época de sementeira das culturas (sendo a das primaveris provavelmente mais afectadas que a das outono-invernais).

4. CONCLUSÕES

As diferenças entre as temperaturas medidas no ar e as medidas na camada superficial do solo variam significativamente ao longo do ano, sendo maiores no semestre mais quente e seco e menores no semestre mais frio e chuvoso. A um aumento da temperatura do ar corresponde um aumento mais que proporcional da temperatura na camada superficial do solo. Para o mesmo acréscimo de temperatura do ar corresponderá um acréscimo da temperatura do solo diferente nos dois solos (maior no Luvisol e maior no Vertisol); em cada solo, o acréscimo da temperatura do solo é maior no primeiro semestre e menor no segundo.

O aumento da temperatura do solo terá reflexos mais significativos na dimensão e na velocidade de emergência de culturas tradicionais como a fava e o milho que na dispersão em torno dos seus tempos térmicos mais prováveis. Sob o ponto de vista térmico, as culturas outono-invernais serão porventura mais afectadas que as culturas primaveris. Sob o ponto de vista hídrico, serão, provavelmente, as culturas primaveris mais afectadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F.G.** 1987. *Influence of atmospheric saturation deficit on early growth of groundnut*. Ph. D. Thesis. Nottingham University
- Abreu, F.G., M.I.F. Jesus, J.P.M. Abreu e A.G. Mendes.** 1994. Duração térmica e temperatura-base de germinação de várias cultivares de cereais e girassol. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*. 44
- Andrade, J.** 2001. *Temperatura do solo (e análise de Fourier), humidade do solo e desenvolvimento inicial de várias culturas em solos Pmg e Cb*. Dissertação para provas de doutoramento. U.E.. Évora.
- Andrade, J., F.G. Abreu e A. Aubyn.** 2002. Desenvolvimento inicial da fava (*Vicia faba* L.) e do milho (*Zea mays* L.) em dois tipos de solos, a diferentes temperaturas e teores de humidade. *Revista das Ciências Agrárias*, vol. XXV, N^{os} 3 e 4, 413-425.
- Andrade, J. e F.G. Abreu,** 2005, Radiação líquida e fluxo de energia à superfície de um Solo Mediterrâneo Pardo (Pmg). *Revista das Ciências Agrárias*, vol. XXVIII, N^o2, 38-48.
- Boer, G.J., G. Flato., M.C. Reader e D. Ramsden.** 2000. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the twentieth century, *Climate Dynamics* 16:405-425
- Boville, B.A. e P.R. Gent.** 1998. The NCAR Climate System Model, version one, *Journal of Climate* 11: 1115-1130
- Covell, S., R.H. Ellis, E.H. Roberts e R.J. Summerfield.** 1986a. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 37: 705-715.
- Draper, N.R. e H. Smith.** 1981. *Applied Regression Analysis*, J.Wiley & Sons. New York
- Emori, S., T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto e T. Nakajima.** 1999. Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit

representation of sulfate aerosol scattering, *Journal of the Meteorology Society of Japan* 77: 1299-1307

- FAO, ISRIC e ISSS.** 1998. *World Reference Base for Soil Research. World Soil Research Report N°84*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, pp. 88
- Fortin, M-C., F.J. Pierce e M. Edwards.** 1994. Corn leaf area response to early-season soil temperature under crop residues. *Agronomy Journal*, **86**: 355-354.
- Garcia-Huidobro, J., J.L. Monteith, e G.R. Squire.** 1982a. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). I. Constant Temperature. *Journal of Experimental Botany*, **33**: 288-296.
- Instituto de Meteorologia.** 2006. *Normais Climatológicas 1961-1990*.
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.** 1990. *O Clima de Portugal*. Fasc. **XLIX**. Vols 2 e 4.
- IPPC.** 2001a. Third Assessment Report of the Working Group I: The Science of Climate Change, J.T. Houghton et al. (eds), Cambridge University Press
- IPCC.** 2007. *IPCC Fourth Assesment report*, <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>.
- Miguel, M.C.** 1983. *Métodos de germinação de sementes das espécies mais utilizadas pela agricultura portuguesa*. Ministério da Agricultura, Divisão de Controlo de Germinação, Oeiras.
- Mohamed, H. A., J.L. Clark e C. K. Ong.** 1988. Genotypic Differences in the temperature responses of Tropical Crops. II. Seedling emergence and leaf growth of groundnut (*Arachis hypogea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). *Journal of Experimental Botany*, **39**: 1129-1135.
- Monteith, J.L.** 1977. Climate. In: Alvin, P.T. & Kozlowsky, T.T. (Eds) *Ecophysiology of tropical crops*. 1-25. Academic Press. New York.
- Oreskes, N.** 2004. The Scientific Consensus on Climate Change, *Science* 306: 1686
- Roekner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, M. Giorgietta, U. Schlese e U. Schulzweida.** 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate. *Max-Planck Institute for Mewteorology*, Report Nr.218, Hamburg, Germany.
- Serviço Meteorológico Nacional.** 1970. *O Clima de Portugal*, Fasc. **XIII**.-Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960
- Walpole, R.E. e R. Myers.** 1978. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. MacMillan Publishing Co., Inc., New York.