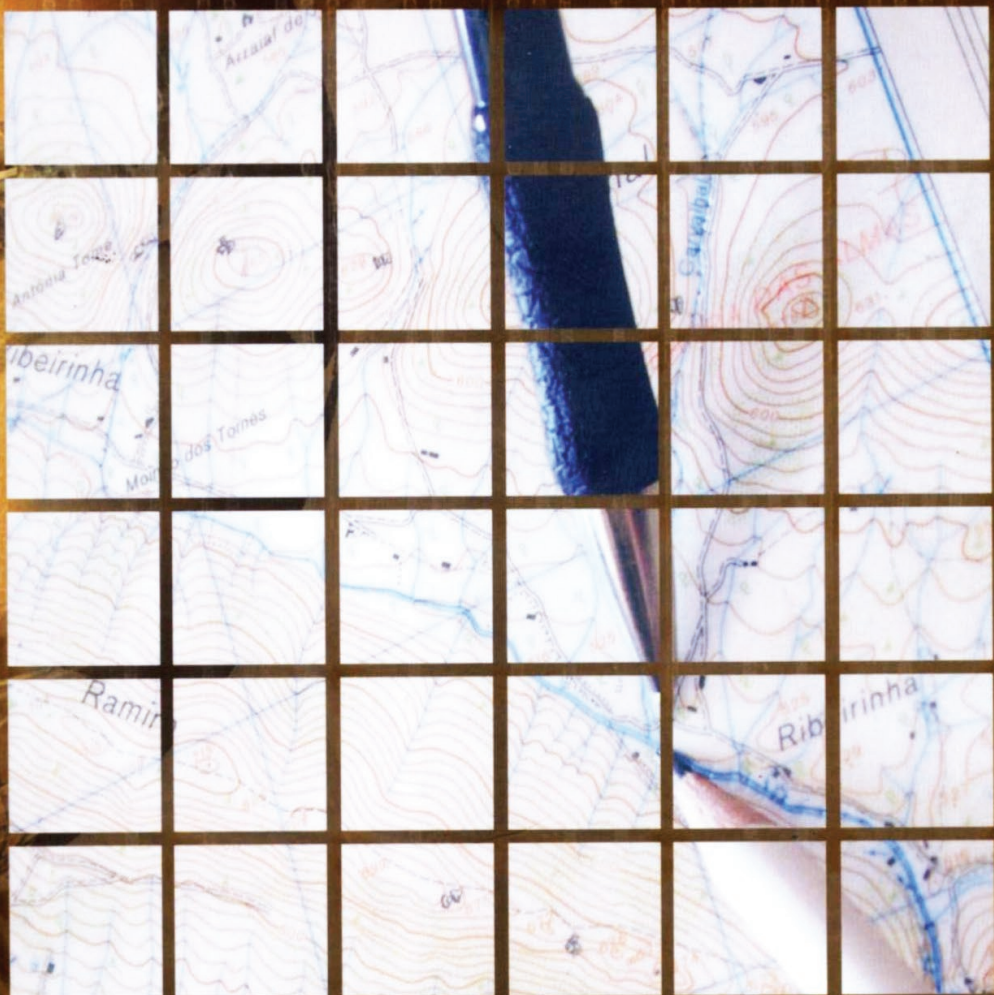


Instituto de Estudos Geográficos  
Centro de Estudos Geográficos

# Cadernos de Geografia



Nº 24/25 - 2005/06

Faculdade de Letras | Universidade de Coimbra

# Dinâmica espaço-temporal da humidade do solo em diferentes usos e coberturas vegetais, Interior Centro de Portugal (análise ao ano de 2005)

Adélia Nunes

Centro de Estudos Geográficos. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra.  
adelia.nunes@fl.uc.pt

## Resumo:

Analisa-se, neste trabalho, a dinâmica espacial e temporal da humidade do solo em diferentes usos e coberturas vegetais, numa área do Interior Centro de Portugal, no decurso do ano de 2005. Utilizou-se, para o efeito, um *Profile Probe* associado a um *HH2 Moisture Meter*, o qual permite avaliar o comportamento da humidade até profundidade de 40 cm e relacioná-lo com a temperatura e a precipitação, variáveis igualmente monitorizadas.

Os resultados obtidos mostram que, apesar de se ter verificado uma seca meteorológica desde o início de 2005, os solos evidenciaram um défice máximo de água no período em que se registou o auge em termos de evapotranspiração potencial, atingindo valores muito baixos ou até nulos, em algumas camadas das parcelas mais representativas dos usos actuais do solo, particularmente nas que comportavam comunidades arbustivas e a cultura de cereais.

**Palavras-chave:** Humidade do solo. Uso do solo. Cobertura vegetal. Interior Centro. Portugal

## Résumé:

*Dynamique spatio-temporelle de l'humidité du sol selon les différents usages et couvertures végétales, à l'Intérieur Centre du Portugal (analyse de l'année 2005)*

Cette étude fait l'analyse de la dynamique spatiale et temporelle du comportement de l'humidité du sol en des échantillons dont l'usage et les couvertures végétales sont différentes, dans une région de l'Intérieur du Portugal Central, pendant l'année de 2005. On a utilisé le *Profile Probe* en association avec le *HH2 Moisture Meter*, ce qui permet d'évaluer le comportement de l'humidité jusqu'à une profondeur de 40cm et d'établir le rapport avec la température et la précipitation, variables elles aussi évalués. Les résultats révèlent que malgré la sécheresse météorologique vérifiée dès les début de 2005, les sols présentent le plus grand déficit d'eau pendant la période qui a enregistré l'apogée d'évapotranspiration potentiel, et a atteint des valeurs plus basses ou nuls dans quelques couches des échantillons plus représentatifs des usages actuelles du sol, en particulier dans les communautés arbustives et dans les cultures de céréales.

**Mots-clés:** Humidité du sol. Usage du sol. Couverture végétale. Intérieur Centre. Portugal

## Abstract:

*Spatial and temporal dynamic on soil moisture in different land uses and land covers, Inland of Portugal Central (2005's analysis)*

In this paper we analyse the spatial and temporal dynamic on soil moisture content in different land uses and land covers from a Central Inland of Portugal, in 2005's. To achieve this objective we used a *Profile Probe* associated to a *HH2 Moisture Meter*, which allows the assessment of its behaviour until 40cm of deep, and the relation of its variability with temperatures and precipitation, also monitored.

The acquired results shown that in spite of the meteorological drought since the beginning of 2005, the soils verified a maximal water deficit during the period with the highest potential of evapotranspiration, reaching a very low or even nil values in some representative's plots of actual land uses, particularly in scrublands and cereal lands.

**Key-words:** Soil moisture content. Land use. Land cover. Central Inland. Portugal.

## 1. Introdução

A humidade do solo é um dos principais elementos do ciclo hidrológico interferindo nos processos de infiltração e escoamento superficial (CERDÀ, 1997; FITZJOHN *et al.*, 1998; ERREA *et al.*, 2001; CASTILLO *et al.*, 2003; DENTÍ, 2004) e, por conseguinte, na erosão do solo (MOORE *et al.*, 1988). O seu conhecimento revela-se, ainda, fundamental pela influência que exerce em determinados processos ecológicos tais como a fotossíntese, respiração e circulação de nutrientes (BAND *et al.*, 1993). Por outro lado, afecta a actividade primária florestal (VERTESSEY *et al.*, 1996), a composição das espécies vegetais (STEPHENSON, 1998) e detém um papel crucial na inflamabilidade do coberto vegetal e no regime dos incêndios florestais (CLARK, 1990).

A evolução temporal e a repartição espacial do teor de água nos horizontes superficiais do solo, durante o ano, dependem do total de precipitação e da sua repartição intra-anual (ZHANG e BERNDTESSON, 1988), mas também das propriedades do solo (ZHANG e BERNDTESSON, 1988; FITZJOHN *et al.*, 1998), da topografia (GEORGAKAKOS e BAUMER, 1996; CRAVE e GASCUEL-ODOUX, 1997) e do tipo e densidade de cobertura vegetal (ZHANG e BERNDTESSON, 1988; GEORGAKAKOS e BAUMER, 1996). Segundo FAMIGLIETTI *et al.* (1998) ainda não existe uma visão coerente da variabilidade espacial da humidade do solo e dos factores que a controlam, pois os resultados obtidos são, por vezes, divergentes e até contraditórios (LLORENS *et al.*, 2003).

O crescente interesse pela disponibilidade de água no solo insere-se num contexto em que se esperam para Portugal mudanças na quantidade de precipitação e na sua distribuição ao longo do ano (SANTOS e MIRANDA, 2006). Ao mesmo tempo que todos os modelos, apontam para um incremento da temperatura (Idem, 2006), reforçando os processos de evapotranspiração. Essa evolução, a confirmar-se, saldar-se-ia por um forte acréscimo da aridez do clima, por um stress hídrico dos ecossistemas vegetais, e por uma maior procura de água (agricultura e consumos domésticos (FERREIRA, 2005).

Os principais objectivos do presente trabalho centram-se na avaliação do comportamento espacial e temporal da humidade do solo sob diferentes usos e coberturas vegetais, no decurso do ano de 2005. Pretende-se, ainda, identificar alguns dos principais factores que controlam a humidade do solo ao longo do ano e explicam a sua variabilidade à escala da parcela.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Área de estudo

As parcelas experimentais utilizadas para a monitorização da humidade do solo encontram-se situadas em pequenas bacias hidrográficas adjacentes ao rio Côa, na parte meridional da Meseta Portuguesa (Figura 1). O substrato geológico é formado por rochas granitóides e os solos enquadram-se no grupo dos cambissolos, em especial cambissolos distrícos (FAO, 1974).

O clima é mediterrâneo sub-húmido, com uma precipitação média a rondar os 800 mm anuais. No decurso de 2005, a precipitação registada no posto udométrico de Pêga, da rede meteorológica do INAG (Instituto Nacional da Água), totalizou 380mm, sendo que 19% se concentrou no Inverno, 11% na Primavera, 7% no Verão e 63% no Outono. O ano de 2004, também se revelou bastante seco, assinalando pouco mais de 300mm (Figura 2). Devido à sucessão de 3 anos com quantitativos de precipitação bastante abaixo dos valores médios de referência, em finais da Primavera/Verão de 2005 todo o território continental se achava em seca meteorológica, com diferentes intensidades: 3% moderada, 36% severa e 61% extrema (INAG, 2005).

Os usos tradicionais desta área assentavam nas culturas arvenses de sequeiro, as quais sofreram um acelerado processo de abandono nas últimas 2/3 décadas do século XX. Na actualidade, a vegetação dominante é constituída por comunidades arbustivas de *Cytisus* spp. As associações florestais, com escassa representatividade na área devido à forte incidência de incêndios florestais, são formadas por carvalhais em recuperação (*Quercus pyrenaica*) e por pinhais (*Pinus pinaster*). De acordo com os programas ambientais da Política Agrícola Comum, os usos potenciais para a área assentam na extensificação das práticas agrícolas através da conversão dos terrenos de cultivo em áreas de floresta e pastagem.

### 2.2. Selecção e caracterização das áreas-amostra

Tendo por base a dicotomia que caracteriza os usos e a ocupação do solo na área em estudo, subdividimo-los em três tipos: usos tradicionais, actuais e potenciais. Dentro dos tradicionais seleccionámos parcelas com a cultura de cereais de sequeiro e em pousio recente; nos usos actuais, apesar da preponderância das comunidades arbustivas, integrámos também os usos florestais, isto é uma parcela de carvalho e outra de pinhal adulto. Representativas dos usos potenciais a aplicar na área foram monitorizadas

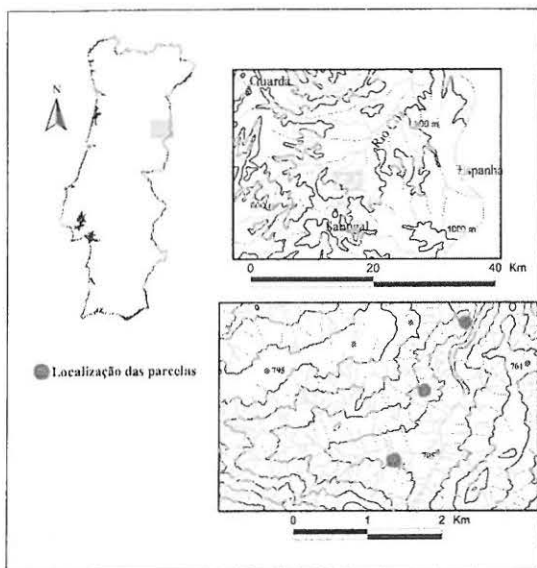


Figura 1  
Localização geográfica da área de estudo

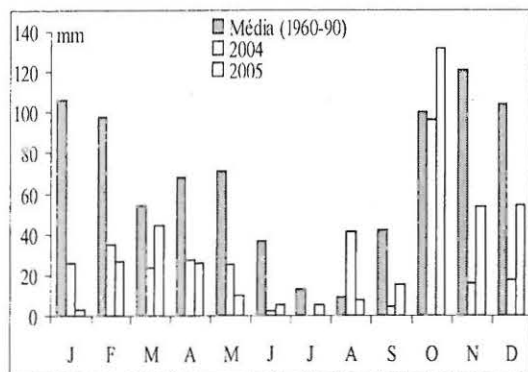


Figura 2  
Precipitação média mensal e nos anos de 2004-2005, no posto udométrico de Pêga (Fonte: INAG)

parcelas com uma plantação recente de pinheiro, uma outra com pastagem e, na terceira, foram aplicadas técnicas de gestão dos combustíveis (desmatção mecânica). Devido à diversidade de usos do solo, as parcelas experimentais encontram-se distribuídas por 3 vertentes (Figura 1). Não obstante, todas se encontram expostas a Este, as variações na altitude são escassas ( $\pm 50\text{m}$ ), o declive é sensivelmente o mesmo ( $\pm 10\%$ ), e a distância entre as mesmas ronda, em linha recta, os 2km.

### 2.3. Monitorização da humidade do solo e das variáveis meteorológicas

A humidade do solo foi registada com recurso a um *Profile Probe* associado a um *HH2 Moisture Meter*<sup>1</sup>, o qual permite a leitura simultânea desta variável a diferentes profundidades e o cálculo do respectivo deficit hídrico. Cada *Profile Probe* é detentor de múltiplos sensores (4 em 40cm de profundidade), cujo acesso em profundidade se faz através de um tubo previamente inserido no solo (Figura 3). No total foram instalados 15 tubos, 2 em cada parcela com excepção da que comporta a cultura de cereais. Os dados referentes à humidade de solo foram recolhidos, ao longo de 2005, com uma periodicidade de, aproximadamente, duas vezes por mês, permitindo assim a obtenção de valores relativos à sua evolução sazonal, em diferentes profundidades (10, 20, 30 e 40cm).

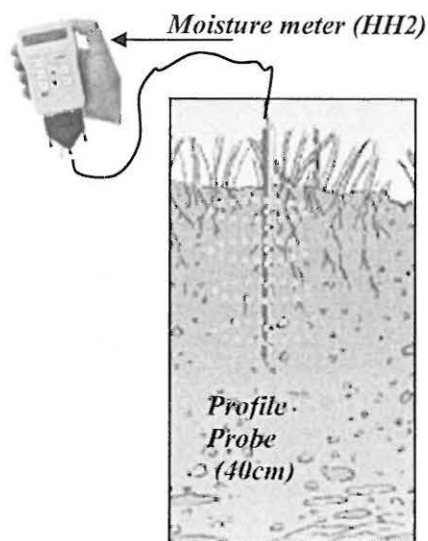


Figura 3  
Equipamento utilizado na monitorização da humidade do solo.

A monitorização da temperatura fez-se através de sensores associados a *dataloggers*<sup>2</sup>, em abrigo, instalados a 10 cm do solo, enquanto os quantitativos de precipitação baseiam-se nos dados recolhidos na estação de Pêga, do INAG. Em cada uma das parcelas procedeu-se à quantificação do coberto vegetal em duas épocas contrastadas do ano; uma com o máximo

<sup>1</sup> Marca Delta-T Devices.

<sup>2</sup> Marca Tiny Tag Ultra (temperatura variável entre -30°C e 50°C.)

(Março) e outra com o mínimo de cobertura vegetal (Agosto). Nas análises efectuadas ao solo foram determinadas a textura, a densidade, a porosidade e a quantidade de matéria orgânica<sup>3</sup>.

### 3. Análise dos resultados

#### 3.1. Variações no coberto vegetal e principais parâmetros edáficos

A percentagem de cobertura vegetal correspondente a cada um dos diferentes usos do solo mostra uma acusada variabilidade sazonal (Figura 4). No final do período estival (Figura 4A), altura em que se atingem os mínimos em termos de cobertura vegetal, a proporção de solo ocupado por vegetação oscilava entre os 0% das parcelas agrícolas, nesta altura do ano ainda em alqueive, e os 100% das de carvalhal e pinhal adulto. No final do período húmido (Figura 4B), correspondente ao máximo de densidade vegetal, as parcelas que assinalam a menor cobertura vegetal são as sujeitas a um processo de conversão florestal, enquanto nas destinadas ao cultivo de cereais, devido ao crescimento do centeio, as diferenças aparecem diminuídas face aos restantes usos do solo.

No Quadro I apresentam-se alguns parâmetros edáficos correlativos às diferentes parcelas em análise. As respectivas densidades oscilam, nos 10cm superficiais, entre os 0,8 e os 1,2g cm<sup>3</sup>, a que correspondem respectivamente 70,7% e 57,5% de porosidade. Entre os 10 e os 20cm de profundidade verifica-se um incremento na densidade e um decréscimo na porosidade. Estatisticamente, os solos que apresentam as menores densidades são os que comportam a cultura de cereais e os que sofreram um processo de reflorestação. As parcelas povoadas com comunidades arbustivas e com carvalhais apresentam, igualmente, baixas densidades e uma alta percentagem de espaços porosos, em nítido contraste com o pinhal adulto que assinala maiores densidades e uma menor porosidade. Não obstante, os solos mais densos e, por conseguinte, menos porosos são os que se encontram em pousio e sob a forma de pastagem.

Os maiores teores de matéria orgânica foram registados nas parcelas com povoamentos florestais, de pinhal e carvalhal. Os solos cultivados com cereais e em pousio são os que apresentam as maiores deficiências em termos orgânicos. As texturas são essen-

cialmente arenosas pois em qualquer das situações a percentagem de materiais superiores 0,63 µm ultrapassa os 75%.

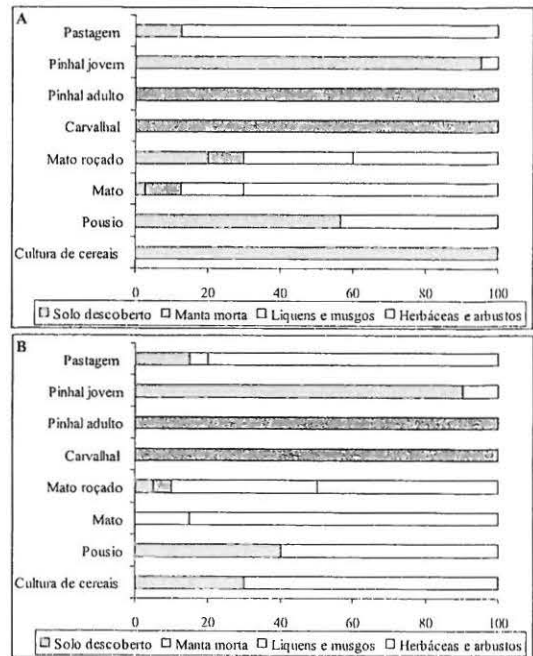


Figura 4

Cobertura vegetal dos solos em finais das estações seca (A) e húmida (B).

#### 3.2. Dinâmica espaço-temporal da humidade do solo

##### 3.2.1. Variações espaciais

Os resultados expressos nos quadros 2, relativos a alguns parâmetros estatísticos da humidade do solo, ao longo do ano de 2005, permitem-nos avaliar o seu comportamento quer nos 40cm de profundidade quer as variações por camadas de 10cm, nos diferentes usos do solo. Para o perfil do solo (10-40 cm), os valores médios mais elevados de humidade foram assinalados pela pastagem (com 24,2%) logo seguida, por ordem decrescente, pela parcela com pinheiros jovens (21,4%). Com os menores teores de humidade sobressaem a parcela em pousio e, sobretudo, a de mato. Um dos aspectos mais interessantes e que importa ressaltar prende-se com o valor médio obtido, nesta última parcela, e na de mato roçado. Apesar da contiguidade espacial que as caracteriza, a parcela de mato roçado manifestou no decurso do passado ano teores de humidade sempre superiores à de mato, traduzindo-se num valor médio de cerca de 5% acima da que comportou as comunidades arbustivas.

<sup>3</sup> As análises físicas e químicas aos solos foram efectuadas respectivamente no Laboratório de Geomorfologia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra e na Escola Superior Agrária de Coimbra.

Quadro I

Características dos solos, nos 20m superficiais

Não se apresentam os dados relativos à parcela de mato roçado pois encontra-se contígua à de mato.

Usos do solo	Densidade (g cm <sup>3</sup> )		Porosidade (%)		Mat. Org. (g Kg)		Materiais > 0,63 µm (%)	Materiais < 63 µm (%)
	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm	0-10cm	10-20cm	0-20cm	
Cultura de cereais	0,85	1,00	68,1	62,3	3,5	1,7	82,1	17,9
Pousio	1,07	1,28	59,5	51,6	2,9	1,6	80,4	19,6
Mato	0,82	1,04	68,8	60,5	5,4	3,6	82,2	17,8
Carvalho	0,85	1,05	66,6	60,4	16,0	4,3	79,6	20,4
Pinhal adulto	1,04	1,06	60,9	59,8	17,8	14,5	81,8	18,2
Pinhal jovem	0,78	1,00	70,7	62,1	10,7	9,4	77,5	22,5
Pastagem	1,17	1,23	55,7	53,4	9,0	7,3	80	20

Quadro II

Parâmetros estatísticos da humidade (%) nos diferentes usos do solo, para o perfil do solo (10-40 cm) e por profundidades (P), relativas ao ano e 2005.

Perfil do solo (10-40cm)	N	Máximo	Média	Mínimo	D. Padrão	C. Variação (%)
Cultura de cereais	15	22,2	16,9	7,3	7,1	42
Pousio	12	26,7	13	8,2	7,1	54,6
Mato	24	20,6	11,1	5,6	4,3	38,7
Mato roçado	24	27,7	16,6	9,9	5,4	32,7
Carvalho	21	26,4	16,8	7,4	6,4	38,1
Pinhal adulto	21	23	14,3	6,7	5,5	38,5
Pinhal jovem	23	28,5	21,4	13,6	4,5	21
Pastagem	24	34,9	24,2	16,8	5,1	21,1
Média	20,5	26,3	16,8	9,4	5,7	35,8
P= 10cm	N	Máximo	Média	Mínimo	D. Padrão	C. Variação (%)
Cultura de cereais	15	19,7	8,1	0	5,8	71,6
Pousio	12	17,4	5,4	0	6,3	116,7
Mato	24	8,5	4,1	0	2,6	63,4
Mato roçado	24	18,3	6,6	0	4,3	65,1
Carvalho	21	20,5	12,7	4	5,9	46,5
Pinhal adulto	21	18,6	7,3	1,6	4,9	67,1
Pinhal jovem	23	12,7	7,5	2,9	3	40
Pastagem	24	24	16,8	8,7	4,2	25
Média	20,5	17,5	8,6	2,2	4,6	61,9
P= 20cm	N	Máximo	Média	Mínimo	D. Padrão	C. Variação (%)
Cultura de cereais	15	25,4	13,6	1,9	8,4	61,8
Pousio	12	21,9	8,2	0,2	8,8	107,3
Mato	24	15,2	5,6	0	4,4	78,6
Mato roçado	24	23,1	9,3	2,9	6	64
Carvalho	21	30,9	22,7	11,8	7	30,8
Pinhal adulto	21	25,6	14,8	7,6	5,4	36,5
Pinhal jovem	23	31	21,2	10,5	6,7	31,6
Pastagem	24	34,2	20,8	14	5,2	25
Média	20,5	25,9	14,5	6,1	6,5	54,5
P= 30cm	N	Máximo	Média	Mínimo	D. Padrão	C. Variação (%)
Cultura de cereais	15	46	16,9	5,7	13,9	82,2
Pousio	12	27,3	12	4,9	8,6	71,7
Mato	24	20,9	11,9	4,2	5,3	44,5
Mato roçado	24	36	22,1	13,1	7,1	32
Carvalho	21	30,2	19,6	10	6,6	33,7
Pinhal adulto	21	29,9	19,5	10,6	6,4	32,8
Pinhal jovem	23	36	28,6	19	5,2	18,2
Pastagem	24	41,9	27,8	16,5	7	25,1
Média	20,5	33,5	19,8	10,5	7,5	42,5
P= 40cm	N	Máximo	Média	Mínimo	D. Padrão	C. Variação (%)
Cultura de cereais	15	42,8	31,5	22,3	6,8	21,6
Pousio	12	35,3	26,2	21	6,5	24,8
Mato	24	38,1	28	17	6,5	23,2
Mato roçado	24	38	31,3	21,5	5,8	33,5
Carvalho	21	25,2	12,4	4	6,7	54
Pinhal adulto	21	24,7	15,3	6,8	6,8	44,4
Pinhal jovem	23	36,9	28,4	21,8	5,3	18,7
Pastagem	24	39,5	31,2	24	4,8	15,4
Média	20,5	35,1	25,5	17,3	6,2	29,5

Em termos médios é a camada superficial a que regista as menores percentagens de humidade, verificando-se um incremento à medida que a profundidade aumenta. É, igualmente, nesta primeira camada do solo que se assinalam os maiores coeficientes de variação na capacidade de retenção hídrica pelos solos, decrescendo até atingir um valor mínimo nos 40 cm de profundidade. A esta espessura verifica-se grande homogeneidade no conteúdo de água retida pelos solos.

As maiores variações, corroboradas pelos desvios-padrão, são obtidas nas parcelas sujeitas à cultura de cereais e em pousio, até aos 30 cm de profundidade, sugerem que estes usos são os que respondem mais eficazmente às oscilações sazonais da precipitação sendo, igualmente, as que registam a menor capacidade de retenção hídrica. Este comportamento deve-se à actual ou recente utilização antrópica, cujo remeximento do solo implicou uma destruição da sua estrutura natural e um aumento da porosidade textural. Os baixos teores de matéria orgânica aliados a uma cobertura vegetal intermitente e com raízes pouco profundas faz com que respondam mais eficazmente ao balanço hídrico estacional.

As diferenças entre as parcelas de mato e as de mato roçado são pouco significativas nos primeiros 10cm de solo, aumentam ligeiramente nos 20cm de profundidade e atingem o máximo de desvio aos 30cm de espessura. Aos 40cm de profundidade as discrepâncias esbatem-se (Quadro II). A comparação da variabilidade intranual da humidade entre as parcelas de mato e de carvalhal revela, do mesmo modo, acentuadas diferenças na sua distribuição. Em termos médios, a de carvalhal concentrou um teor de humidade superior, sobretudo nos 30 cm superficiais, em nítido contraste com a de mato cujo valor máximo foi detectado abaixo desta profundidade. A distribuição da humidade do solo, sob as formações florestais, revela o valor positivo do carvalhal face ao pinhal adulto, não obstante essas diferenças são mais expressivas até aos 20cm, esbatem-se praticamente aos 30cm de profundidade e revertem em favor do pinhal na última camada avaliada.

### 3.2.2. Evolução temporal e correlações com as variáveis meteorológicas (precipitação e temperatura)

A evolução da humidade do solo, durante o período de estudo, permite-nos avaliar o seu comportamento médio para os 40cm de profundidade, e relacioná-lo não apenas com os quantitativos de precipitação, mas também com as temperaturas médias

diárias e médias máximas registadas nos 15 dias anteriores à leitura da humidade (Figura 5).

As principais diferenças sazonais registadas no comportamento da humidade do solo, quer à superfície quer no perfil dos solos, parecem estar dependentes da sazonalidade da precipitação e das variações registadas nas temperaturas. Com efeito, para o perfil do solo todos os usos e coberturas vegetais registam coeficientes de correlação bastante significativos com estas duas variáveis (Quadros III, IV e V). Com a precipitação (Quadro III) a correspondência é positiva, isto é o aumento quinzenal de precipitação traduz-se num incremento da humidade do solo, sendo que essas correlações são, especialmente, importantes nas parcelas de cereais, pousio, mato roçado e pinhal adulto. Para as diferentes camadas dos solos, os coeficientes obtidos mantêm-se, de modo geral, significativos, apesar de mostrarem grande heterogeneidade. De um modo geral, as melhores correlações entre estas duas variáveis são obtidas nos 10cm superficiais, perdem algum significado aos 20 e aos 30cm de profundidade e voltam a incrementar-se nos 40cm.

A média das temperaturas máximas registadas nos 15 dias anteriores é, no decurso de 2005, a variável que melhor se correlaciona com o comportamento anual da humidade no perfil do solo (Quadro IV). A associação, negativa, desta variável com a temperatura média diária (Quadro V) para os quinze dias antecedentes perde importância em todos os usos do solo, mantendo-se, no entanto, significativa em todas as parcelas.

Tal como referem GONZÁLEZ HERNÁNDEZ e LÓPEZ ÁRIAS (1994) citados por BARBANCHO (1999), nas camadas superficiais do solo a precipitação e a vegetação são os principais factores a influenciar a variabilidade da humidade, sendo a sua inconstância mais significativa do que nas camadas inferiores, uma vez que a evapotranspiração, intimamente dependente da temperatura do ar, manifesta-se mais activa.

Os resultados obtidos mostram, ainda, que os solos alcançam nas épocas mais críticas em termos de evapotranspiração, um acentuado défice hidrológico, sobretudo nas camadas superficiais, em que a água praticamente desaparece ou fica muito limitada para a vegetação, tanto nas culturas antrópicas como nas espécies naturais. São disso exemplo as parcelas de mato e a de cultura de cereais, nas quais se registou um alongado período, variável entre 4 e 5 meses, marcados pelo esgotamento de água nas duas camadas superficiais. Nos restantes usos do solo, a parcela de pastagem foi a única a registar, valores sempre superiores a 5%, mesmo na altura em que a evapotranspiração potencial era máxima.

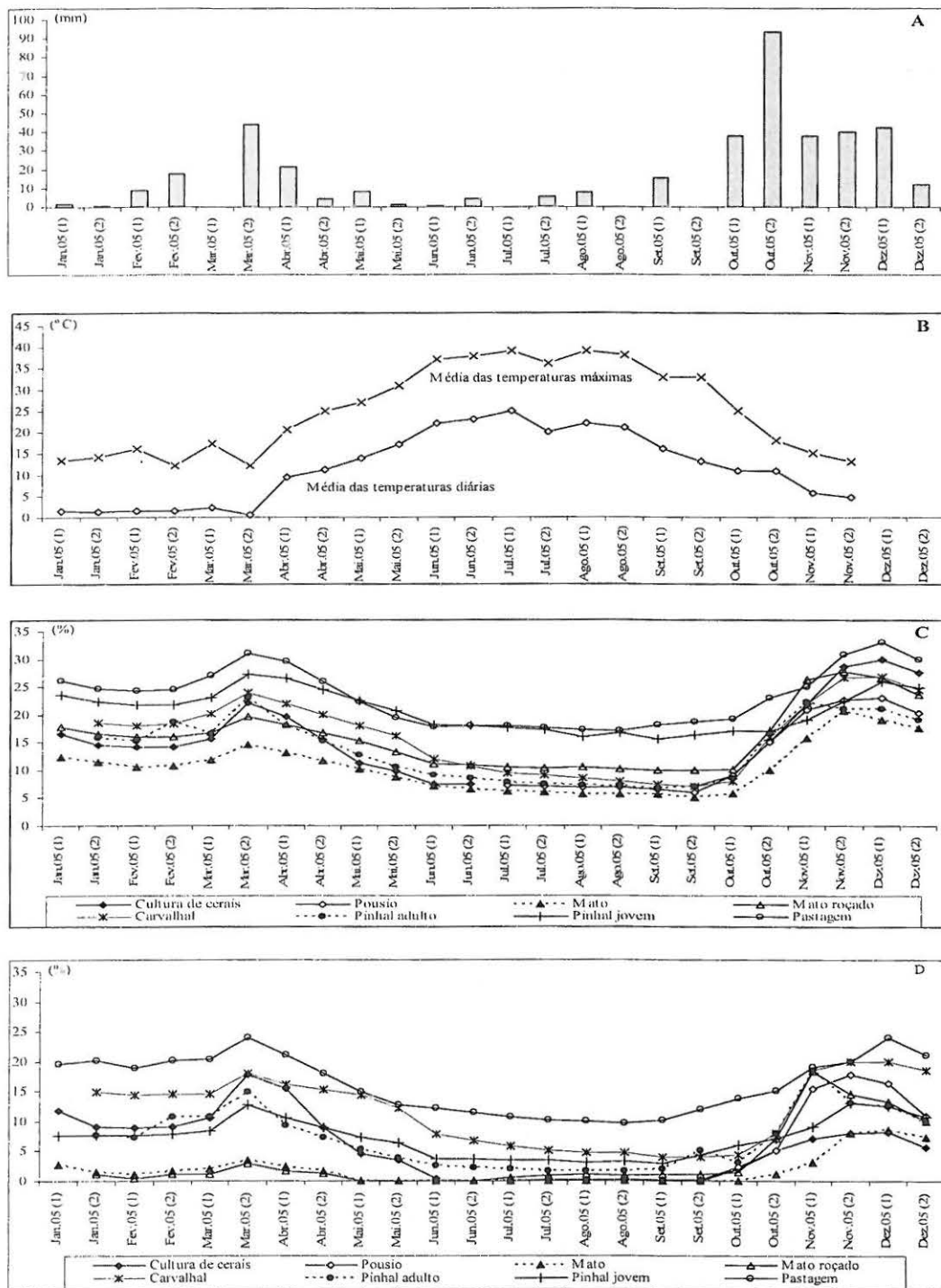


Figura 5

Precipitação acumulada (A) na primeira (1) e na segunda quinzena (2) de cada mês de 2005, evolução da temperatura (B), da humidade média no perfil do solo (10-40cm) (C) e aos 10cm de profundidade (D) nos diferentes usos, ao longo do ano de 2005.



Quadro III

Coefficiente de correlação entre a precipitação total ocorrida nos 15 dias anteriores à leitura da humidade, para o perfil do solo e respectivas profundidades nos diferentes usos do solo e coberturas vegetais (em cm) (\*\* $\alpha$ : 0,01; \* $\alpha$ : 0,05)

Prof./Uso solo	Cultura cereais	Pousio	Matos	Mato roçado	Carvalho	Pinhal adulto	Pinhal jovem	Pastagem
10-40cm	0,741**	0,569*	0,473**	0,690*	0,450*	0,575**	0,428*	0,438*
10cm	0,745**	0,853**	0,370*	0,556*	0,414*	0,741**	0,423*	0,356*
20cm	0,728**	0,527*	0,262	0,572*	0,398*	0,520**	0,477*	0,496**
30cm	0,595**	0,406	0,501**	0,399*	0,515**	0,316	0,445*	0,399*
40cm	0,481*	0,766**	0,514**	0,523*	0,474*	0,431*	0,432*	0,312

Quadro IV

Coefficiente de correlação entre a média das temperaturas máximas ocorridas nos 15 dias anteriores à leitura da humidade, para o perfil do solo e respectivas profundidades nos diferentes usos do solo e coberturas vegetais (em cm) (\*\* $\alpha$ : 0,01; \* $\alpha$ : 0,05)

Prof./Uso solo	Cultura cereais	Pousio	Matos	Mato roçado	Carvalho	Pinhal adulto	Pinhal jovem	Pastagem
10-40cm	-0,759**	-0,967**	-0,808**	-0,839*	-0,865**	-0,875**	-0,862**	-0,843**
10cm	-0,610**	-0,911**	-0,653**	-0,505**	-0,874**	-0,785**	-0,839**	-0,906**
20cm	-0,701**	-0,827**	-0,539**	-0,647*	-0,501**	-0,609**	-0,682**	-0,664**
30cm	-0,665**	-0,771**	-0,664**	-0,779*	-0,549**	-0,660**	-0,581**	-0,680**
40cm	-0,750**	-0,797**	-0,554**	-0,763*	-0,638**	-0,693**	-0,494*	-0,521**

Quadro V

Coefficiente de correlação entre a média das temperaturas ocorridas nos 15 dias anteriores à leitura da humidade, para o perfil do solo e respectivas profundidades nos diferentes usos do solo e coberturas vegetais (em cm) (\*\* $\alpha$ : 0,01; \* $\alpha$ : 0,05)

Prof./Uso solo	Cultura cereais	Pousio	Matos	Mato roçado	Carvalho	Pinhal adulto	Pinhal jovem	Pastagem
10-40cm	-0,629*	-0,916**	-0,691**	-0,558*	-0,744**	-0,744**	-0,750**	-0,731**
10cm	-0,543*	-0,802**	-0,559**	-0,363	-0,764**	-0,632**	-0,735**	-0,832**
20cm	-0,673**	-0,859**	-0,574**	-0,482**	-0,507**	-0,599**	-0,662**	-0,680**
30cm	-0,646**	-0,814**	-0,681**	-0,605*	-0,567**	-0,656**	-0,577**	-0,686**
40cm	-0,731**	-0,812**	-0,565**	-0,712*	-0,647**	-0,697**	-0,525**	-0,522**

#### 4. Discussão dos resultados e conclusões

As secas, sobretudo as mais prolongadas, como a que se registou em grande parte do ano 2005, têm uma influência determinante nas reservas hídricas pois a precipitação é a única fonte de entrada de água no sistema hidrológico. Entre os sub-sistemas mais sensíveis às suas variações temporais destaca-se o solo em *continuum* com a vegetação e a atmosfera. Assim, em simultâneo ao período de seca meteorológica, que se prolongava desde o início de 2005, os solos evidenciaram um défice máximo de água no período em que se regista o auge em termos de evapotranspiração potencial, atingindo valores muito baixos

em algumas das parcelas mais representativas dos usos actuais, nomeadamente nas que comportavam comunidades arbustivas contínuas e as culturas tradicionais. Deste acusado défice hidrológico deduz-se o acentuado *stress* hídrico a que as plantas estão sujeitas, o que explica sobremaneira a forte incidência de incêndios nesta área.

Com efeito, são diversas investigações a concluir que a recolonização por parte de densas comunidades arbustivas, apesar de favorecerem a infiltração, aumentam significativamente as perdas de água por interceptação e por evapotranspiração (GALLART e LLORENS, 1996; SERRATO *et al.*, 1999; SERRATO, 2001). SERRATO *et al.* (1999) com 100% de cobertura vegetal,

sob "matorral", detectaram uma perda de 26% da chuva, por interceptação, enquanto SERRATO (2001) ao estudar o balanço hídrico em dois arbustos típicos do mediterrâneo (*Thymus vulgaris* e *Rosmarinus officinalis*) registou perdas, por interceptação, de 6,5% e 9,9%. As diferenças de humidade entre as parcelas de mato e mato roçado deixaram bem evidente a importância que os arbustos detêm no consumo de água.

Tradicionalmente era aceite que a conservação da água em áreas florestais era maior, pois partia-se do princípio que a água, ao não se escoar à superfície, se infiltrava, e deste modo ia abastecer os caudais freáticos e de base (GALLART e LLORENS, 1994). Contudo, o desenvolvimento da hidrologia experimental, a partir dos anos 50, começou a destacar a vegetação arbórea como um consumidor de água relativamente mais importante, face à vegetação herbácea (LAW, 1956). Embora este facto não seja inteiramente aceite por algumas hidrólogos e engenheiros florestais (GALLART e LLORENS, 1994), são já numerosos os trabalhos (ZHANG *et al.*, 1999; VERTESSY, 2001; FARLEY *et al.*, 2005) a reafirmar que o bosque consome uma quantidade de água significativamente maior, face às comunidades vegetais dominadas por espécies herbáceas. Por outro lado, além das perdas de água por evapotranspiração, há acrescentar a interceptação da chuva, muito mais importante no caso das formações florestais (GALLART e LLORENS, 1994). Com efeito, o bosque apresenta potenciais de evaporação e interceptação muito mais significativos do que as comunidades herbáceas, pois o respectivo balanço energético e a própria estrutura da cobertura vegetal arbórea é capaz de consumir e libertar maior quantidades de água para atmosfera.

Na Figura 5 estão ilustradas as curvas de evapotranspiração desenvolvidas por HOLMES SINCLAIR (HSR), a partir de dados recolhidos em 19 bacias, e as obtidas por ZHANG, tendo por base informações relativas a 250 bacias em todo o mundo. As curvas mostram em ambos os casos um aumento da evapotranspiração, quer nas florestas quer nas pastagens paralelamente ao incremento da precipitação. Não obstante, esse aumento é acompanhado de uma divergência entre as linhas de evapotranspiração, cujos valores se revelam em ambas as situações em favor da floresta.

Segundo RAUZI (1963) a gestão de pastagens é um uso do solo que pode ser utilizado para incrementar o teor de humidade no solo, disponível para as plantas. A explicação para este aumento deve-se ao facto das pastagens afectarem a biomassa vegetal que se desenvolve à superfície e que é depois fornecida ao solo sob a forma de manta morta, interferindo positivamente na infiltração (RAUZI e SMITH, 1973). Não obstante, são múltiplas as investigações a referir que o pisotear de animais de grande porte se traduz num

aumento da densidade aparente, o que corresponde a uma diminuição na porosidade e, por conseguinte, na infiltração (MULHOLLAND e FULLEN, 1991; GAMOUGOUN *et al.*, 1984). Wood (2001) refere que esse aumento na densidade poderá contribuir para uma diminuição da infiltração de água em solos silto-argilosos, ao passo que nos solos arenosos o acréscimo na densidade pode traduzir-se num aumento da capacidade de armazenamento de água (MONTES-HELU, 1997). CERDÀ & LAVÉE (1999) falam de um duplo efeito do sobrepastoreio sobre o comportamento hidrológico dos solos. Por um lado, tem um efeito negativo porque degrada a cobertura vegetal e compacta o solo mas, por outro lado, positivo, pois a destruição da crosta superficial pelo pisoteio permite uma maior infiltração inicial (CERDÀ e LAVÉE, 1999).

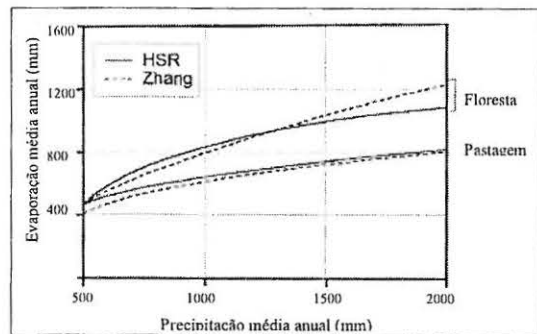


Figura 6  
Relação entre a evapotranspiração e a precipitação (Adaptado de VERTESSY, 2001)

Relativamente aos solos que comportam os usos tradicionais, assentes nas culturas de sequeiros ou em estádios de pousio, apresentam por norma baixos valores de humidade e uma menor capacidade de retenção, em especial até à profundidade em que a camada edáfica foi remexida. A adopção destes sistemas de cultura não representa mais do que a adaptação milenar do Homem aos constrangimentos do meio, neste caso à escassez de água no período em que a evapotranspiração potencial atinge um valor máximo.

#### Agradecimentos

A presente investigação foi apoiada pelo projecto "Mudanças no uso do solo no Interior Centro e Norte de Portugal", financiado no âmbito do Programa Operacional, Ciência, Tecnologia e Inovação (POCTI) do III Quadro Comunitário e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

## Referências Bibliográficas

- BAND, L. E.; PATERSON, P.; NEMANI, R. e RUNNING, S. W. (1993) - "Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporating hillslope hydrology". *Agricultural and Forest Meteorology*, 63, pp. 93-126.
- BARBANCHO, A. (1999).- *Procesos hidrológicos en una pequeña cuenca hidrográfica bajo explotación de Dehesa en Extremadura*. Universidad de Extremadura, Cáceres, 196 p.
- CASTILLO, V. M.; GÓMEZ-PLAZA, A. e MARTÍNEZ-MENA, M. (2003) - "The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach". *Journal of Hydrology*, 284, pp. 114-130.
- CERDÀ, A. (1997) - "Distribución de la humedad del suelo en las cárcavas del sur del País Valenciano". *Cuadernos de Geografía*, 61, 1-13.
- CERDÀ, A. e LAVEE, H. (1999) - "Escorrentía y erosión a lo largo de un gradiente climático-altitudinal afectado por el pastoreo en el desierto de Judea". *Cuadernos Geográficos*, 29, pp. 27-50.
- CLARK, J. S. (1990) - "Landscape interaction among nitrogen mineralization, species composition, and long-term fire frequency". *Biogeochemistry*, 11, pp. 1-22.
- CRAVE, E. e GASQUEL-ODOLUX, C. (1997) - "The influence of topography on time and space distribution of soil surface water content". *Hydrological Processes*, 11, pp. 203-210.
- DENTI, G. D. (2004) - *Developing a desertification indicator system for a small Mediterranean catchment: a case study from serra de Rodes; Alt Empordà, Catalunya, NE Spain*. Thesis submitted to the University of Girona for the degree of Doctor of Philosophy. University of Girona, 368 p.
- ERREA, M. P.; LASANTA, T.; ORTIGOSA, L. e CERDÀ, A. (2001) - "Soil moisture changes after land abandonment in the central Spanish Pyrenees". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, nº 27, Univ. de La Rioja, pp. 47-60.
- FERREIRA, D. B. (2005) - "Ambiente climático". In MEDEIROS, C. A. (Dir.)- *Geografia de Portugal; O Ambiente Físico*. Círculo de Leitores, pp. 305-385.
- FAMIGLIETTI, J. S.; RUDNICKI, J. W e RODELL, M. (1998) - "Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas". *Journal of Hydrology*, 210, pp. 259-281.
- FAO-UNESCO (1974) - *Soil map of the world*. Unesco Paris, 59 p.
- FITZJONH C.; TERNAN, J. L. e WILLIAMS, A. G. (1998) - "Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control". *Catena*, 32, pp. 35-70.
- GALLART, F. e LLORENS, P. (1994) - "Papel de los cultivos de montaña y su abandono en la economía del agua". In RUIZ, J. M. G. e LASANTA, T. (Eds.) - *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*. Zaragoza, pp. 43-55.
- GALLART, F. e LLORENS, P. (1996) - "Los efectos hidrológicos de la recuperación del bosque en área de montaña". In LASANTA, T. e RUIZ, J. M. G. (Eds.) - *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Logroño, pp. 73-78.
- GAMOUGOUN, N. D.; SMITH, R. P.; WOOD, K. e PIEPER, R. D. (1984) - "Soil vegetation and hydrologic response to grazing management at Fort Stanton, New Mexico". *Journal of Range Management*, 37 (6), pp. 538-541.
- GEORGAKAKOS, K. P. e BAUMER, O. W. (1996) - "Measurement and utilization of on-site soil moisture data". *Journal of Hydrology*, 184, pp. 131-152.
- INAG (2005) - *Seca 2005- Relatório de balanço*. Comissão para a seca 2005, 31 de Dezembro de 2005, 106 p.
- LAW, F. (1956) - "The effect of afforestation upon yield of water catchment areas". *Journal of the British Waterworks Association*, 38, pp. 484-494.
- LLORENS, P.; LATRON, J. e GALLART, F. (2003) - "Dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo en una área de montaña mediterránea. Cuencas experimentales de Vallcebre (Alto Llobregat)". In ÁLVAREZ-BENEDÍ, J. e MARINERO, P. (Eds)- *Estudios de la Zona No saturada del Suelo*, VI, pp. 71-75.
- MONTES-HELU, M. C. (1997) - *Track-vehicle Disturbance on Rangeland and Design of Sap Flow Gauge for Desert Shrubs*. Ph.D. Dissertation, Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico.
- MOORE, I. D.; BURCH, G. J. e MACKENZIE, D. H (1988) - "Topographic effects on distribution of surface water and location of ephemeral gullies". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 31, pp. 1098-1107.
- MULHOLLAND, B. e FULLEN, M. A (1991) - "Cattle tramping and soil compaction on loamy sands". *Soil Use Management*, 7 (4), pp. 189-193.
- RAUZI, F. e SMITH, F. M (1973) - Infiltration rates: three soils with three grazing levels in northeastern Colorado. *Journal Range Management*, 26 (2), pp.126-129.
- RAUZI, F. (1963) - "Water Intake and Plant Composition as Affected by Differential Grazing on Rangelands". *Journal of Soil Water Conservation*, 18, pp. 114-116.
- SANTOS, F. D. e MIRANDA, P. (2006) - *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Gradiva, Lisboa.
- SERRATO, F.; DÍAZ, A.; BERMÚDEZ, F. e LAGUNA, E. (1999) - "Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación". *Papeles de Geografía*, 39, pp. 5-15.

- SERRATO, F. (2001) - "Balance hídrico, distribución de flujos y modelización de la interceptación en dos arbustos semiáridos mediante lluvia simulada". *Papeles de Geografía*, 33, pp. 23-34.
- STEPHENSON, N. L. (1998) - "Actual evapotranspiration and deficit: biologically meaningful correlates of vegetation distribution across spatial scales". *Journal of Biogeography*, 25, pp. 855-870.
- VERTESSEY, R. A.; HATTON, T. J.; BENYON, R. G. e DAWES, W. R. (1996) - "Long-term growth and water balance predictions for a mountain ash (*Eucalyptus regnans*) forest catchment subject to clear-felling and regeneration". *Tree Physiology*, 16, pp. 221-232.
- VERTESSEY, R. A. (2001) - "Impacts of plantation forestry on catchment runoff. In NAMBIAR E. K. S. e BROWN A. G. (Eds) - *Plantations, Farm Forestry, and Water. Water and Salinity Issues in Agroforestry*, 7, Publication No 01/20, RIRDC Publication Kingston, Australia, pp. 9-19.
- WOOD, M. K. (2001) - *Grazing management for healthy watershed. New Mexico watershed management: restoration, utilization, and protection*. November, 2001, Water Resources Research Institute, 11p.
- ZHANG, T. e BERNDTESSON, R. (1988) - "Temporal patterns and spatial scale of soil water variability in a small humid catchment". *Journal of Hydrology*, 104, pp. 111-128.
- ZHANG L.; DAWES W. R. e WALKER, G. R. (2001) - "Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale". *Water Resources Research*, 37, pp. 701-708.