

Resposta hidrológica de solos sujeitos a diferentes usos e coberturas vegetais na sequência de um intenso período de seca (Primavera/Verão de 2005)

Adélia Nunes

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

Resumo:

Neste trabalho analisa-se a resposta hidrológica de solos sujeitos a diferentes usos e coberturas vegetais, numa área do interior Centro de Portugal, na sequência de intenso período de seca (Primavera e Verão de 2005). Para o efeito, seleccionaram-se diferentes usos e coberturas vegetais e utilizou-se um simulador de chuva que emite uma precipitação variável entre os 53-55mm/h.

Os resultados obtidos mostram que as maiores exportações superficiais de água ocorreram nas parcelas desprovidas de um coberto vegetal contínuo, em resultado da recente intervenção antrópica ou da incineração pelo fogo. A presença de uma cobertura vegetal, mais ou menos regular, implica um aumento na infiltração, atingindo valores nulos de escoamento superficial em alguns povoamentos florestais, como é o caso do carvalhal.

Palavras-chave: Uso do solo. Cobertura vegetal. Resposta hidrológica. Secura estival. Interior Centro de Portugal.

Résumé:

Comportement hydrologique des sols selon les différents usages et couvertures végétales à la suite d'une période estivale particulièrement sévère (printemps/été de 2005)

Dans cet article on analyse le comportement hydrologique des sols objets de différents usages et de différentes couvertures végétales, dans une région de l'intérieur du Centre du Portugal, à la suite d'une époque de sécheresse particulièrement sévère (printemps et été de 2005). Pour cet étude, on a choisi des échantillons de sols objet de différents usages et couvertures végétales et on a utilisée un simulateur de pluie, à l'intensité variable entre 53-55mm/h.

Les résultats de l'investigation permettent de conclure que les exportations superficielles l'eau les plus importantes ce sont produites dans les échantillons dépourvus de couverture végétale permanente, résultat soit de l'intervention anthropique récente soit de l'action de feu. En présence d'une couverte végétale, plus ou moins régulière, l'infiltration augmente, par contre valeurs d'écoulement superficiel devient inexistantes en quelques peuplements forestiers adultes, c'est le cas des chênes.

Mots-clés: Usage du sol. Couverture végétale. Comportement hydrologique. Sécheresse estival. Intérieur Centre du Portugal.

Abstract:

Hydrological response from different land uses and land covers after an intensive drought period (spring /summer of 2005)

In this work, we analyse the hydrological response of soils with different land uses and vegetal covers, from inland of Central Portugal after an intensive drought period (spring and summer of 2005). To achieve this goal, we selected a different land uses and land covers and it was used a rainfall simulator, with a variable rain intensity between 53-55mm/h.

The acquired results have shown that the biggest superficial water exportations occurred in plots without a permanent vegetation cover, as result of recent human activities or incineration by fire. The vegetal cover development, more or less regular, implies an increase in infiltration rates, reaching nil values of runoff in some adult's forests covers, as in cork oak trees.

Key-words: Land use. Land cover. Hydrological response. Summer drought. Inland of Portugal Central.

Introdução

O escoamento superficial constitui um dos mais importantes componentes do ciclo hidrológico, e pode ser gerado quando o solo está saturado com água ou quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração (ZHANG *et al.*, 1999).

Com efeito, a explicação para a formação de excedentes hídricos à superfície, atendendo à relação existente entre a precipitação e a velocidade de infiltração, assenta em dois modelos principais: o "modelo de Horton", também denominado de modelo infiltração (HORTON, 1933), e o modelo de saturação (HEWLETT, 1961). No primeiro modelo, o fluxo superficial surge quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, enquanto no segundo, o fluxo emerge quando o solo alcança a sua máxima capacidade de infiltração, isto é, atinge um estado de saturação e começa a exportar água.

Apesar do fluxo superficial "Hortoniano" assumir maior representação espacial nas zonas áridas e semiáridas, com solos degradados, também se pode observar em regiões húmidas e muito permeáveis, onde a capa superficial sofreu um processo de encrostamento e a vegetação original e a estrutura do solo foram destruídas (CEBALLOS, 1999). O modelo de saturação adquire, por sua vez, maior aplicabilidade em ambientes húmidos, de forte densidade vegetal e solos bem estruturados. Nestas condições, a intensidade da precipitação raramente excede a capacidade de infiltração, verificando-se em muitas ocasiões que a totalidade de água precipitada permanece retida na camada edáfica.

Embora estes modelos se coadunem, de forma mais estreita, com determinados ambientes, é possível em certos casos e espaços concretos operarem ambos os fluxos de forma combinada (MOORE e FOSTER, 1990). Numa mesma vertente, enquanto na parte superior e média a capacidade de infiltração é baixa, na sua parte inferior, em contacto com o fundo de vale, a infiltração aumenta. Assim estes modelos são mais complementares do que, propriamente, contraditórios (DUNNE, 1978).

Não obstante, a resposta hidrológica dos solos está condicionada por um largo número de factores (KIERSCH, 2002), salientando-se, entre os mais importantes, o tipo e a densidade de cobertura vegetal (DUNNE e DIETRICH, 1980; CERDÀ, 1996), a presença de crostas na superfície ou subsuperfície (BRADFORD *et al.*, 1987; VALENTIN e BRESSON, 1992) e a actividade biológica relacionada com macroporosidade (DUNNE *et al.*, 1991; FERREIRA, 1996). Outros autores referem a pedregosidade dos solos (POESEN *et al.*, 1990), o declive (POESEN, 1984; CERDÀ, 1996), a exposição (CERDÀ, 1996), a porosidade (MWENDERA e FEYEN, 1994; CEBALLOS e SCHNABEL, 1998) e a humidade antecedente do solo

(CERDÀ, 1996) como os factores preponderantes na resposta hidrológica dos solos. Por outro lado, as respostas hidrológicas dos diferentes usos do solo apresentam grandes diferenciações entre a estação seca e a húmida, sendo os respectivos coeficientes de variação maiores em ambiente seco (CEBALLOS, 1999).

Nestas circunstâncias, o conhecimento das características dos solos, dos respectivos usos e cobertura vegetal, da quantidade e intensidade da precipitação deverão constituir uma informação essencial quando se pretendem tomar medidas que visam a gestão dos recursos hídricos, em particular nas regiões mediterrâneas, sujeitas a um intenso e alargado período estival.

O presente trabalho visa analisar a resposta hidrológica de solos sujeitos a diferentes usos e coberturas vegetais, numa área do interior Centro de Portugal, na sequência de um intenso período de seca. Para o efeito, seleccionaram-se áreas-amostra representativas de diferentes usos e coberturas vegetais e utilizou-se um simulador de chuva que emite, de forma regular, entre 53-55 mm/h.

1. Área de estudo

A área sobre a qual incide o nosso estudo (Figura 1 A/B) abrange, no essencial, a denominada "Terra Fria da Beira Transmontana". Insere-se numa unidade morfológica principal, a Meseta, a qual se caracteriza pelo predomínio de elementos planos. O substrato geológico é dominado por formações graníticas enquanto grupo taxonómico de solos preponderante é, de acordo com a sistematização efectuada pela FAO (1974), o dos Cambissolos, em especial Cambissolos distrícos.

Em termos médios, os valores anuais de precipitação rondam 800 mm, denotando um enfraquecimento no sentido Sul/Norte, muito dependente da altitude. A sazonalidade deste meteoro é tipicamente mediterrânea, isto é ao Outono/Inverno que correspondem os períodos mais húmidos do ano, em contraste com a Primavera/Verão de acentuada escassez pluviométrica. Biologicamente o número de dias classificados de secos oscila entre 45 e 80, integrando-se no domínio bioclimático Mesomediterrânico ou Sub-húmido (ALCOFORADO, 1992). A evolução da precipitação total no posto udométrico de Pêga (Figura 2) mostra a forte irregularidade nos quantitativos totais, oscilando entre um máximo de 1500 mm, registado no ano hidrológico de 2000/01, e um mínimo de cerca de 270 mm, com correspondência ao de 2004/05. O défice pluviométrico, verificado em praticamente todo este ano, terá sido severamente agravado pelo facto de constituir o terceiro ano consecutivo de escassez de precipitação.

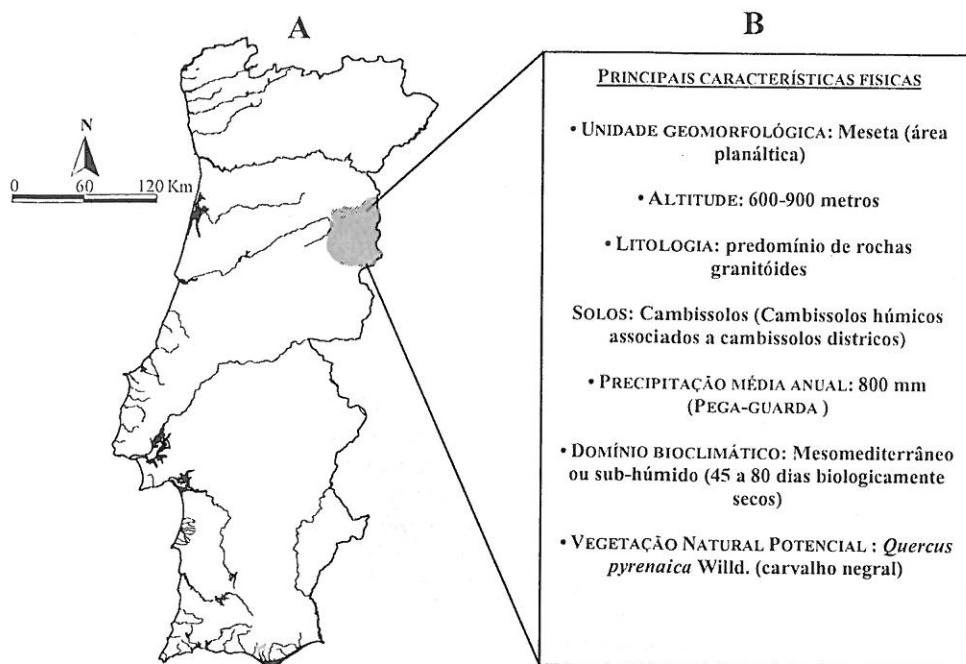


Figura 1

A. Localização geográfica da área de estudo; B. Principais características físicas.

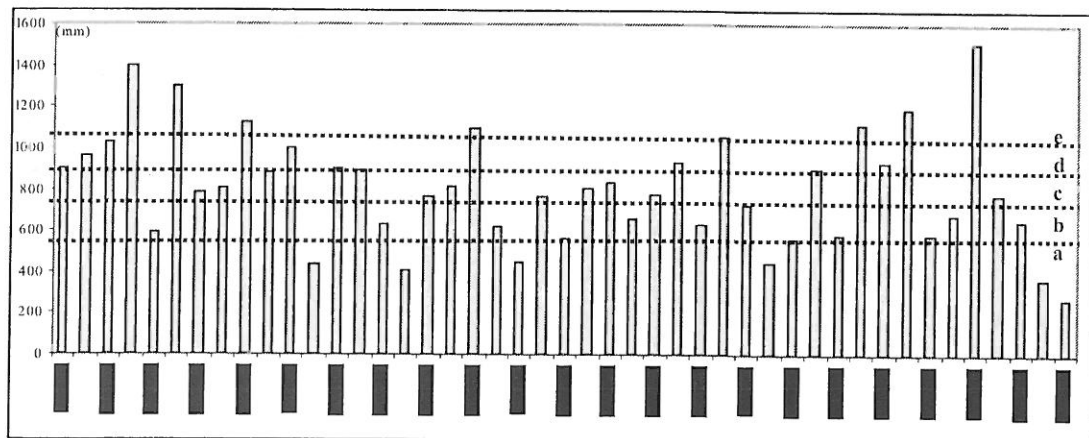


Figura 2

Evolução da precipitação total no posto udométrico de Pêga (1960/61-2004/2005) e respectiva classificação de acordo com o método dos quintis (a: anos muito secos; b: anos secos; c: anos normais; d: anos húmidos; e: anos muito húmidos)
(Fonte: Instituto da Água, INAG)

A análise à distribuição média mensal da precipitação no posto udométrico de Pega e total mensais no ano hidrológico de 2004/2005, permite verificar que apenas em Outubro se registaram quantitativos

cujos valores se aproximam dos da média (Quadro I). Nos restantes meses, o volume de precipitação foi extraordinariamente baixo.

Quadro I

Precipitação média mensal e total no ano hidrológico de 2004/05, no posto udométrico de Pega

Precipitação (mm)	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Média mensal (1960/61-2005/2006)	100	121	104	106	98	54	68	71	37	13	9	42
Total mensal (2004/05)	96,1	16,2	17,6	3,3	26,5	44,2	25,8	9	5,3	5,4	7,6	15,2

(Fonte: INAG)

2. Metodologia

Com o objectivo de averiguar a resposta hidrológica dos solos sujeitos a diferentes usos na sequência de um extenso período estival foram seleccionadas várias áreas-amostra, onde se realizou uma série de experiências com simulações de chuva. Representativas dos usos agrícolas, foram realizadas simulações de chuvas em 3 parcelas de cultivo, que no final do Verão se encontravam em alqueive, e em 3 de pousio; nos usos florestais, foram efectuadas 6 experiências: 2 em povoamentos de carvalho, 2 em povoamentos de pinhal e outras 2 em parcelas de pinhal jovem. Nas áreas incultas foram tidos em conta os seguintes usos do solo: parcelas com mato, pastagens e áreas ardidas, nos quais se realizaram ao todo 6 simulações (2 em cada).

Nas experiências foi utilizado um simulador de chuva tipo pulverizador, segundo o desenho de CERDÀ *et al.* (1997). É composto, no essencial, por uma pequena bomba responsável pelo fornecimento de água, uma estrutura formada por uma plataforma elevada a 2 metros de altura, um protector de vento para evitar alterações na direcção da queda das gotículas de chuva e um jogo de bicos, da marca internacional *Hardi*. A pressão aplicada oscilou entre 1,5 e 1,6 kg/cm², que equivale a uma intensidade variável entre 53 e 55mm/h. Apesar da chuva cair sobre uma área de aproximadamente 1m², as medições efectuaram-se na parte central, utilizando para o efeito uma microparcela, circular, com uma área de 0,24m² e um diâmetro de 55cm. A medição do escoamento superficial efectuou-se com um intervalo de 2 minutos, sendo a duração de cada experiência de uma hora. Após a sua conclusão e passados cerca de 15 minutos procedeu-se ao escavamento da parte central da parcela até uma profundidade que permitisse o delinear da frente de humidade. Todas as experiências foram realizadas na última semana de Agosto de 2005.

Antes de se iniciar cada simulação, procedeu-se à quantificação das proporções de solo coberto por manta morta, musgos e líquenes e vegetação de maior

cada parcela, foi efectuada uma dezena de medições com, um penetrómetro de bolso e com um *torvane*, de forma a quantificar a resistência do solo à penetração e à torção. Com objectivo de determinar a hidrofobia ou repelência dos solos à água foi aplicado o *Molarity of Ethanol Droplet* (MED) (Teste da Molaridade com Etanol) o qual consiste na mistura de etanol com água destilada até atingir vários volumes: 3; 5; 8.5; 13; 24 e 36% (Quadro II).

Quadro II

Grau de hidrofobia dos solos

Etanol (%)	Grau de hidrofobia
0	Bastante hidrófilo
3	Hidrófilo
5	Ligeiramente hidrofóbico
8.5	Moderadamente hidrofóbico
13	Muito hidrofóbico
24	Fortemente hidrofóbico
36	Extremamente hidrofóbico

(Fonte: COELHO *et al.*, 2002)

Sobre a superfície do solo vão-se colocando, sucessivamente, gotas com concentrações crescentes de etanol até que a gota demore menos de 3 segundos a infiltrar-se (COELHO *et al.*, 2002). O princípio desta mistura baseia-se no facto de que o álcool etílico diminui a tensão superficial das gotas e facilita a sua infiltração. Por último, foram recolhidas, amostras de solo com o objectivo de determinar a textura, densidade, porosidade, humidade inicial e a matéria orgânica. A determinação da textura consistiu na separação da matriz fina (< 63µm) do material mais grosseiro (> 63µm), por via húmida. A quantidade de matéria orgânica foi determinada no Laboratório de Fertilidade e Solos da Escola Superior Agrária de Coimbra através do método de Tinsley (1950). O conteúdo de humidade obteve-se mediante a aplicação do método gravimé-

trico, o qual se baseia na diferença de peso do solo, antes e depois de se secar numa estufa, à temperatura de 65 °C, durante vários dias.

3. Análise e discussão dos resultados

3.1. Características dos solos

As análises granulométricas efectuadas mostram o predomínio de texturas francas ou franco-arenosas, na maior parte dos solos analisados (Quadro III). A percentagem de materiais com dimensão superior a 2mm apresenta valores sempre superiores a 13% enquanto os materiais mais finos, inferiores a 63µm, tem um peso médio de 22% mas podem oscilar entre 20% e 25%. É comummente aceite que os solos de textura grosseira (arenosos, franco-arenosos e areno-francos) apresentam, no geral, uma baixa capacidade de retenção hídrica mas uma boa drenagem e arejamento, em oposição aos de textura fina (argilosas, argilo-arenosas e silto-argilosas) com alta retenção hídrica, todavia com baixa percolação e arejamento.

Para a série de medições efectuadas nos primeiros 10cm de superfície, obtivemos um máximo de densidade aparente, de 1,2 g/cm³, nas pastagens, e um valor mínimo, de 0,8 g/cm³, naquelas em que houve um remeximento recente, ou seja, nas que se encontram em alqueive. A esta menor densidade aparente correspondem os valores máximos de porosidade.

Sob os povoamentos de carvalhal, a percentagem de espaços ocupados pelos poros rondava 63%, valor ligeiramente superior ao registado nas parcelas de pinhal adulto, cujo valor médio obtido foi de 58%. Com um valor idêntico às formações de pinhal surgem as parcelas de mato, assinalando os valores mínimos de porosidade as que se encontram em pousio e com pastagens. É precisamente nestas últimas parcelas que se verificaram os máximos de resistência à penetração e à torção, como resultado do regular pisoteio dos animais de grande porte (bovinos), os quais conferem ao solo um carácter compacto. Por ordem decrescente de importância surgem as parcelas de pinhal e de pousio. A resistência oferecida pelas parcelas em alqueive e pelas recentemente florestadas com pinhal é baixa, em consequências da destruição da estrutura superficial da camada do solo pela maquinaria.

A humidade do solo antecedente à realização das simulações de chuva (Quadro III) está principalmente condicionada não só pelo balanço pluviométrico, extremamente negativo, do ano hidrológico de 2004/05, mas também pelas diferentes capacidades de armazenamento e retenção evidenciadas pelos solos sujeitos a distintos usos. Assim se explica a acentuada secura edáfica registada na camada superficial (0-10 cm) nesta altura do ano, atingindo valores praticamente nulos em alguns usos, como o pousio, os matos e a parcela ardida. Com conteúdos ligeiramente superiores, surgem as parcelas de carvalhal, as pastagens e os povoamentos jovens de pinheiro.

Quadro III

Características dos solos antes da realização das simulações de chuva.

		Textura (%)***			Dens.**	Poros.**	Rpen.*	Torv.*	Hum.**	Hidrof.*	org.**
		> 2mm	2mm-63 µm	< 63 µm	(g/cm ³)	(%)	g/cm ³	gr/cm ³	%	(%)	g/kg
Usos Agrícolas	Palq.	17,7	61,4	20,9	0,8	66,1	0,5	0,8	1,8	0,3	5,23
	Ppou.	13,3	66,6	20,1	1,2	52,9	1,8	3,2	0,4	3,0	4,9
Usos Florestais	Ppjov.	18,3	58,0	23,7	0,9	65,5	0,8	1,3	2,5	1,0	8,6
	Ppinh.	15,5	64,2	20,3	1,1	58,5	3,3	5,5	0,8	18,0	13,7
	Pcarv.	19,0	56,1	25,0	1,0	62,9	0,8	2,8	2,8	20,0	14,8
Incultos	Ppast.	19,2	60,1	20,7	1,2	54,1	4,5	9,0	3,5	9,8	7,2
	Pmat.	16,7	61,5	21,8	1,1	58,0	1,3	3,0	0,6	9,0	11,7
	Pard.	17	61,5	21,5	1,1	57	1,5	2,5	0,5	16,3	****
	Média	17,1	61,2	21,7	1,1	59,3	1,8	3,5	1,4	9,7	9,5

Palq.: Parcelas em alqueive; Ppou.: Parcelas em pousio; Ppjov.: Parcelas com pinhal jovem; Ppinh.: Parcelas de pinhal adulto; Pcarv.: Parcelas de carvalhal; Ppast.: Parcelas com pastagens; Pmat.: Parcelas com mato; Pard.: Parcelas ardidas. Dens.: Densidade; Poros.: Porosidade; Rpen.: Resistência à penetração; Rtorç.: Resistência à torção; Hum.: Humidade do solo; Hidrof.: Hidrofobia; Morg.: Matéria Orgânica; * à superfície; ** nos 10cm superficiais; *** nos 20cm superficiais; **** Análise não efectuada.

De entre os usos do solo analisados, os povoa-mentos florestais adultos foram os que evidenciaram maior resistência à penetração de água. A presença de uma camada de manta morta, relativamente espessa à superfície da camada mineral, sobretudo nas parcelas de carvalho e pinhal, promoveram a formação de uma hidrofobosidade relativamente vincada, ao predomina-rem as classes muito e fortemente hidrofóbicas.

No caso das parcelas recentemente lavradas para a sementeira de cereais e nas que foram sujeitas a uma florestação recente, a ausência de uma camada de manta morta, em decomposição, à superfície e os baixos teores de matéria orgânica contidos por estes solos reflectem-se sobre as características hidro-fóbicas. Nesta situação, as gotas de água infiltram-se praticamente todas num espaço de tempo relativa-mente curto ou, até, mesmo imediato, denunciado o carácter hidrófilo destes solos.

Os valores relativos à concentração de matéria orgânica, nos 10cm superficiais, evidenciam a acen-tuada pobreza dos solos desta região pois só excep-cionalmente ultrapassam 1% do peso do total das amos-tras. No conjunto, são as parcelas com vegetação há mais tempo e imperturbadas pelas actividades antrópicas, que possuem as maiores percentagens de matéria orgânica, como é caso dos carvalhais, dos pinhais adultos e das comunidades arbustivas.

3.2. Cobertura vegetal

No final do período estival a percentagem de cobertura vegetal dos diferentes usos do solo oscilava entre 0% nas parcelas destinadas à cultura de cereais de sequeiro, ainda em alqueive, e 100% nos povoa-mentos de carvalho e pinhal, cujo solo se encontrava integralmente coberto por manta morta (Figura 3). Numa das parcelas ardidas, a cobertura vegetal apre-sentava-se, também, nula, pois o incêndio tinha

decorrido há cerca de um mês, enquanto que na outra a percentagem de solo coberto rondava 20%, pois as chamus tinham-na percorrido aproximadamente um ano antes. Com uma escassa proporção de vegetação surgem, igualmente, a parcelas com plantações de pinheiro jovem, devido à obrigatoriedade da PAC em as manter limpas, sobretudo no intuito de reduzir o risco de incêndio florestal.

A percentagem de solo coberto por vegetação nas parcelas em pousio era também escassa, a rondar 40%, devido à sua recente utilização, enquanto que nas pastagens, pese embora, a secagem do estrato herbáceo, o solo coberto pelos seus restos ultrapassava 70%.

3.3. Escoamento superficial vs infiltração

Analisando a resposta hidrológica dos diferentes usos do solo sujeitos a um mesmo quantitativo de precipitação (Quadro IV), verificamos que o coefi-ciente máximo de escoamento superficial foi obtido na parcela ardida, atingindo 79%. Estes maiores quantita-tivos de água exportada associam-se a um comporta-mento hidrofóbico derivado da recente incineração da cobertura vegetal tal como foi sugerido por FERREIRA (1990) e CEBALLOS *et al.* (1999). A realização de uma simulação de chuva numa área ardida há cerca de um ano demonstrou uma capacidade de absorção, 2 vezes superior, àquela que se registou na recentemente queimada.

Por ordem de grandeza seguem-se as parcelas de pinhal jovem com coeficientes a rondar 70%. A presença de uma microcrosta superficial, derivada da acentuada secura estival, e a rápida saturação da camada superficial do solo explica as baixas taxas de infiltração e os elevados níveis de escoamento registados no decurso das experiências.

Nas parcelas em pousio o volume de água exportada situou-se sempre acima de 55%. De facto,

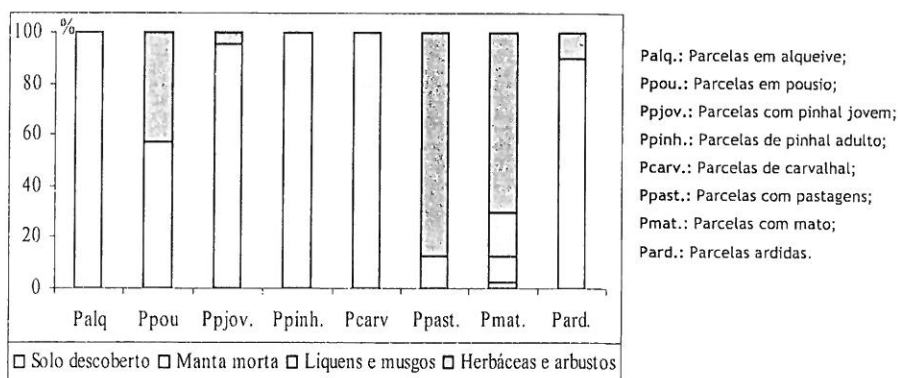


Figura 3

Cobertura vegetal média dos diferentes usos do solo em finais da estação seca

após o abandono, a porosidade resultante do remeximento da camada superficial do solo reduz-se, a densidade do solo aumenta e formam-se, por vezes, crostas que coadjuvam o escoamento superficial e o transporte de sedimentos (ERREA *et al.*, 2001). Um comportamento idêntico foi assinalado pelas pastagens, muito embora os coeficientes obtidos para o escoamento superficial sejam significativamente inferiores devido à maior cobertura vegetal e aos maiores teores de humidade demonstrados pelas camadas superficiais (Quadro III).

Com proporções claramente inferiores encontram-se as parcelas em alqueive, com perdas superficiais a oscilar entre 38% e 8 %, em relação directa com a diminuição do declive. A maior capacidade de absorção evidenciada por estes solos, comparativamente ao pinhal jovem, é explicada pela existência de crostas superficiais pouco espessas, devido ao seu remeximento recente.

Os povoamentos de carvalhal foram os únicos a apresentar valores nulos de escoamento superficial, o que significa que toda a precipitação se infiltrou. Com coeficientes relativamente baixos sobressaem, também, as parcelas de mato. Para os povoamentos de pinhal adulto, as diferenças apresentam-se relativamente díspares, com a parcela de maior declive (parc. 1) a assinalar um escoamento total de 42% da precipitação incidente, face à de menor declive (parc. 2) com uma proporção bastante inferior, de cerca de 9%. Estas discrepâncias relacionam-se não apenas com a maior inclinação da primeira face à segunda mas, sobretudo, com a menor espessura da manta morta, removida cerca de um ano antes.

Com efeito, a densa camada de manta morta e o coberto vegetal protegem o solo do impacto directo das gotas de água e favorecem os processos de infiltração, ao mesmo tempo que a chuva é interceptada e

Quadro IV

Resposta hidrológica de solos sujeitos a diferentes usos no decurso da aplicação de técnicas de simulação de chuvas (53-55 mm/h)

		Escoamento superficial vs infiltração					
		D	Tesc.	Cesc.	Vinf15min.	Vinf30min.	Vinf60min.
Usos DO SOLO		(%)	(min.)	(%)	(%)	(%)	(%)
Usos Agrícolas	Alqueive (1)	11	13:50	38	96	79,5	62
	Alqueive (2)	6	14:10	21	98,5	90	79
	Alqueive (3)	1	34:00	8	100	100	92
	Pousio * (1)	11	1:00	74	40,1	30,7	26
	Pousio * (2)	5	1:30	58	49,4	41,5	42
	Pousio** (3)	8,5	2:40	56	60,6	48	44
Usos Florestais	Pinhal jovem (1)	12	2:30	72	57,5	37,8	26
	Pinhal jovem (2)	5	2:10	70	52,8	36,5	27
	Pinhal adulto (1)	13	6:10	42	79	65	58
	Pinhal adulto (2)	6	6:50	9	93	89	91
	Carvalhal (1)	12	-	0	0	0	100
	Carvalhal (2)	7	-	0	0	0	100
Incultos	Pastagem (1)	10	3:50	42	78	64,4	58
	Pastagem (2)	7	4:00	37	73	64	63
	Matos (1)	18	7:00	9	96,5	92,4	91
	Matos (1)	11	4:30	14	88,5	85,9	86
	Ardido (1)	5	0:45	79	28,4	21,7	21
	Ardido* (2)	6	2:10	57	67,6	48,6	43

D: Declive; Tesc: início do escoamento, em minutos; Cesc: Coeficiente de escoamento superficial em relação ao total de precipitação; Vinf: Volume de precipitação infiltrado em diferentes períodos: Vinf15min.: até ao minuto 15; Vinf30min.: até ao minuto 30; Vinf60min.: até ao minuto 60; * 1 ano de abandono ou ardida há 1 ano; ** 5 anos de pousio.

fica armazenada no porte aéreo ou superficial. Por outro lado, esta vegetação contribui com maiores quantidades de matéria orgânica, a qual favorece a formação de agregados e uma maior porosidade nos primeiros centímetros do solo (SANCHEZ-BARRIONUEVO, 1995). Acresce ainda o facto do desenvolvimento do sistema radicular das plantas criar zonas que favorecem a infiltração da água a níveis mais profundos do solo via macroporos (CEBALLOS, 1999).

O tempo necessário para que o escoamento se efectue (Tesc.) bem como o coeficiente de escoamento nos primeiros 15 minutos de experiência, em contraste com o coeficiente de infiltração (Vinf15min.) (ver Quadro IV), expressam a aptidão de uma solo para gerar escorrências rápidas (CEBALLOS, 1999).

Da sua análise, sobressaem os valores obtidos para a parcela queimada, em que o escoamento se principiou após 45 segundos de experiência, sendo que nos primeiros 15 minutos apenas se infiltraram 28% da precipitação total incidente. Estes resultados corroboram o comportamento hidrofóbico desta parcela uma vez que se detectou o rápido encharcamento da camada superficial e a emissão, quase imediata, de escoamento superficial.

Por ordem de importância, seguem-se os solos em pousio, como é caso da parcela 1, com um coeficiente de infiltração inicial de 40%, e a parcela 2, com uma taxa de 49%. A proliferação de um estrato herbáceo mais contínuo, na sequência de um período de descanso mais longo, reflecte-se numa maior capacidade de absorção dos solos e, obviamente, num menor coeficiente de escoamento superficial.

Em contrapartida, os maiores coeficientes iniciais de infiltração foram identificados nas parcelas em alqueive, com valores superiores a 96%, na primeira e na segunda, e com 100% na terceira. Aliás, esta última parcela só viria a exportar água na segunda meia hora de experiência, quando as camadas superficiais do solo já se encontravam saturadas e, à superfície, se verificou a completa colmatação das microdepressões bem como a conexão do fluxo, o que permitiu a sua saída da parcela.

Nas parcelas de mato, pese embora o maior declive evidenciado pela primeira comparativamente à segunda, o tempo necessário para que se gerasse escoamento superficial foi mais longo e a taxa de penetração da água foi superior, devido quer à maior cobertura vegetal, quer à intercepção provocada pelos arbustos (*Cytisus multiflorus* e *Lavandula stoechas*).

A morfologia da frente húmida é um dos indicadores que melhor define o processo de infiltração de um solo (CEBALLOS, 1999). Através da sua fisionomia é possível deduzir se o fluxo se produziu através da

matriz do solo ou se foi produzido através de outros processos, como sistema radicular das plantas (herbáceas, arbustos ou árvores), microfauna subterrânea, gretas, pedregosidade, etc.

A série de desenhos relativos às frentes de humidade, obtidas na sequência das experiências levadas a cabo em finais de Agosto de 2005, demonstram morfologias bastante diferentes (Figuras 4 e 5). Assim, pode identificar-se um primeiro grupo de usos do solo que se caracteriza por frentes únicas, homogêneas, regulares embora com espessuras bastante diferentes. As maiores profundidades foram obtidas nas parcelas em alqueive, com valores compreendidos entre 25cm (no alqueive 3) e 15cm (no alqueive 1) (Figura 4). Nos povoamentos de pinhal jovem as frentes húmidas apresentam características similares às do alqueive embora como uma menor espessura. Nestes casos, a homogeneização das camadas superiores do solo e a elevada porosidade textural permite o desenvolvimento de um fluxo matricial uniforme e regular.

Um segundo conjunto pode distinguir-se pela sua heterogeneidade quer em termos de profundidade quer em termos de irregularidade, como consequência de fluxos preferenciais através de macroporos. Incluem-se neste grupo os solos em pousio e com pastagens (Figura 4), em que as frentes de humidade apresentam uma morfologia mais ou menos idêntica aos sistemas radicular dos cereais recentemente cortados ou das herbáceas que povoam a camada edáfica.

Num terceiro grupo, inserem-se as parcelas em que se delineia uma frente húmida à superfície, irregular em termos de profundidade e de fisionomia, e em que são visíveis em profundidade, uma ou várias frentes, isoladas e com formas tendencialmente circulares, como são disso exemplo as parcelas de mato, povoamentos florestais adultos e ainda a ardida (Figura 5). A sua configuração associa-se a fluxos preferenciais através de macroporos, os quais fornecem caminhos à água e evitam a sua passagem pela matriz, não interagindo por isso com esta e provocando uma humificação não uniforme no perfil do solo (SMETTEM *et al.*, 1991). Em certas ocasiões foi possível identificar os macroporos responsáveis pela frente húmida, correspondendo na sua maioria aos sistemas radiculares, quer dos arbustos quer das árvores.

A presença destes macroporos fornece caminhos preferenciais de entrada da água no solo, independentemente da existência de uma camada hidrofóbica (BURCH *et al.*, 1989; HENDRICKX *et al.*, 1993, in FERREIRA, 1996). Significa, portanto, que os macroporos são importantes canais de infiltração, mesmo em solos hidrofóbicos, e são responsáveis pelo humedecimento

do solo, o qual se efectua capilarmente, de baixo para cima (IMESON *et al.*, 1992). É, assim, possível encontrar no perfil uma parte, imediatamente inferior à camada hidrofóbica, que se apresenta seca, enquanto por

baixo desta aparece uma camada mais húmida, em que o fornecimento de água é efectuado através dos macroporos.

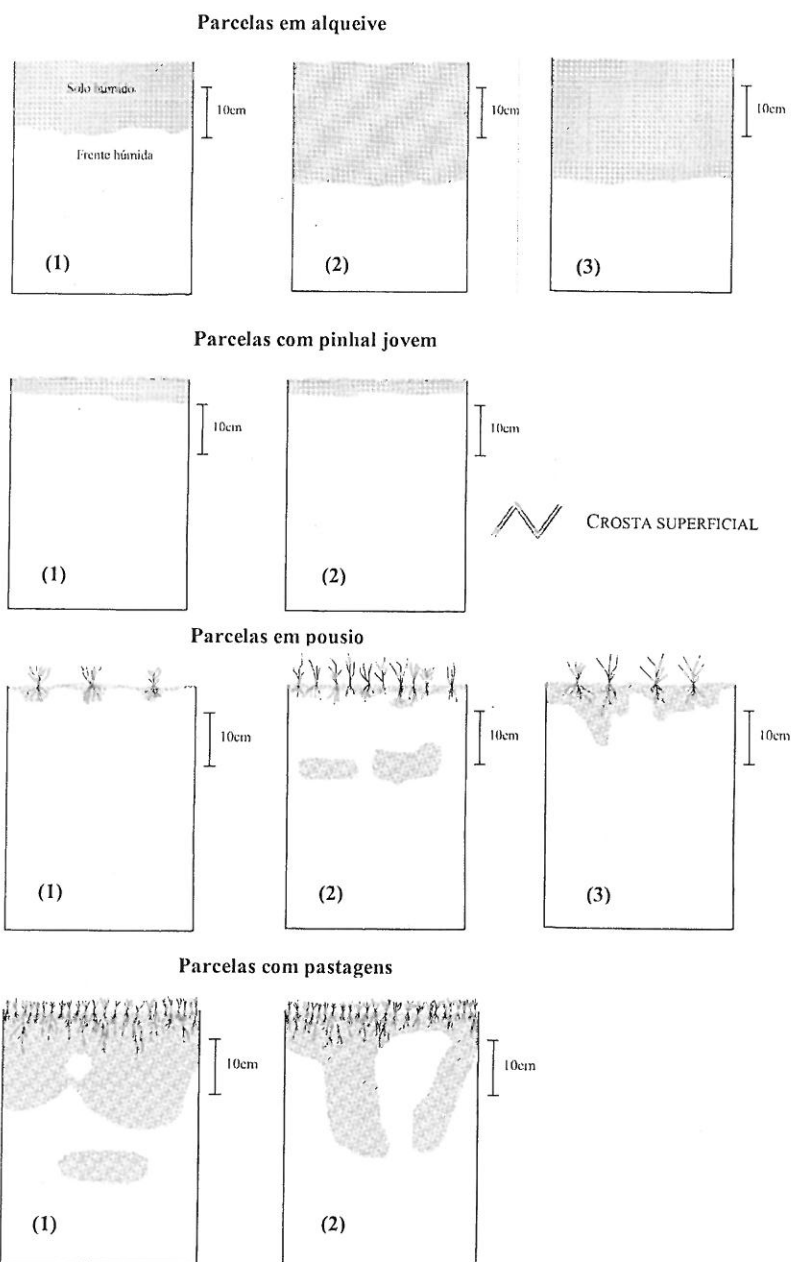


Figura 4

Fisionomia e profundidade da camada húmida em diferentes usos do solo, após as simulações de chuva.

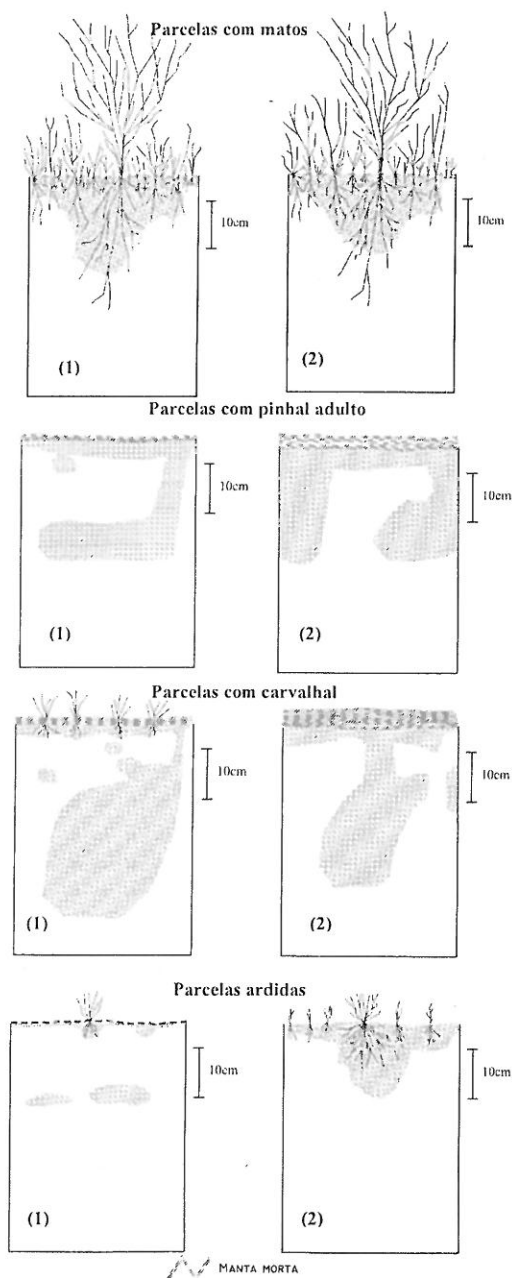


Figura 5
Fisionomia e profundidade da camada húmida nos usos florestais após as simulações de chuva.

4. Conclusões

Quando se analisa a resposta hidrológica de solos sujeitos a um mesmo quantitativo de precipitação, através de simulações de chuva, verifica-se grande heterogeneidade nos resultados em função dos tipos de ocupação a que aqueles estão sujeitos. Os

resultados obtidos colocam em destaque o relevante papel do coberto vegetal, em especial da manta morta, e, ainda, dos estratos herbáceo e arbustivo, não só como agente protector do solo mas também com reflexos determinantes ao nível do escoamento superficial vs infiltração. Com efeito, a vegetação tende a incrementar a capacidade de infiltração dos solos e a retardar os movimentos superficiais da água, ao mesmo tempo que promove a estrutura dos solos e ajuda a absorver a precipitação.

Por conseguinte, são as parcelas que possuem uma menor cobertura vegetal que apresentam os mais baixos coeficientes de infiltração. A par da escassa protecção orgânica à superfície, evidenciam também uma rede de macroporos pouco eficiente na absorção de água e uma maior susceptibilidade à formação de crostas superficiais. A conjugação destes factores terá incrementado os coeficientes de escoamento superficial.

Sob formações herbáceas e, em especial, arbustivas e arbóreas, mesmo perante precipitações de elevada intensidade é mais difícil exceder-se a capacidade de infiltração, verificando-se em muitas ocasiões que a totalidade de água precipitada é absorvida pelo solo.

A explicação para este facto relaciona-se com a presença de um coberto vegetal mais denso, que intercepta e acumula água no porte aéreo, que oferece uma rede de meso e macroporos mais eficiente, na dependência do seu sistema radicular, com maiores conteúdos de matéria orgânica à superfície e menor vulnerabilidade à formação de encrostamentos superficiais. A presença de substâncias hidrofóbicas parece não deter uma influência determinante na geração de fluxos superficiais.

Assim, com base nos resultados obtidos, através das simulações de chuva, parece predominar na estação seca, sobretudo quando ela é intensa e prolongada, tal como aconteceu em 2005, e em alguns tipos de ocupação, um fluxo predominantemente "hortoniano", uma vez que a intensidade da precipitação é superior à capacidade de infiltração dos solos. Este tipo de fluxo pode ter consequências bastantes danosas na camada edáfica superficial, ao acelerar os processos de erosão hídrica, principal factor responsável pela degradação dos solos em toda a bacia do Mediterrâneo.

Agradecimentos

A presente investigação integra-se no 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.

Referencias bibliográficas

- ALCOFORADO, M. J. (1992) - "O clima de Portugal". *Portugal Moderno*, Enciclopédia Temática, Geografia, Ed. Pomo, Lisboa, pp. 37-61.
- BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E. e REMLEY, P. A. (1987) - "Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and soil splash detachment". *Soil Science Society American Journal*, 51, pp. 1566-1571.
- CEBALLOS, A.; FERREIRA, A.; COELHO, C. e BOULET, A. (1999) - "Análisis de la repelencia al agua en una pequeña cuenca hidrográfica afectada por fuego controlado en un área montañosa central de Portugal". *Pirineos*, 153-154, Jaca, pp. 123-143.
- CEBALLOS, A. B. (1999) - *Procesos hidrológicos en una pequeña cuenca hidrográfica bajo explotación de Dehesa en Extremadura*. Universidad de Extremadura, Cáceres, 196 p.
- CEBALLOS, A. C. e SCHNABEL, S. (1998) - "Comportamento de la humedad del suelo en una pequeña cuenca hidrográfica de la dehesa extremeña (Guadalperalón, Cáceres)". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 24, Logroño, pp. 25-38.
- CERDÀ, A. (1996) - "Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain". *Geoderma*, 69, pp. 217-232.
- CERDÀ, A.; IBÁÑEZ, S. e CALVO, A. (1997) - "Design and operation of a small portable rainfall simulator for rugged terrain". *Soil Technology*, 11, pp. 163-170.
- COELHO, C.; FERREIRA, A.; BAAKE, M. e KEIZER, J. (2002) - "Impacts of prescribed shrubland fire and forest wildfire on overland flow and soil erosion generation processes". In RUBIO, J. L.; MORGAN, R. P. C.; ASINS, S. e ANDREU, V. (Eds.) - *Proceedings of the third international congress man and soil at third millennium*, Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 1485-1495.
- DUNNE, T. e DIETRICH, W. E. (1980) - "Experimental study of Horton overland flow on tropical hillslopes: 1. soil conditions, infiltration and frequency of runoff". *Z. geomorph.*, N. F., suppl. Bd., 35, pp. 40-59.
- DUNNE, T. (1978) - "Field studies of hillslope flow processes". In KIRKBY, M. J. (Eds.) - *Hillslope hydrology*, 139, pp. 1-14.
- DUNNE, T.; ZHANG, W. e AUBRY, B. F. (1991) - "Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff". *Water Resources Research*, 27 (9), pp. 2271-2285.
- 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*, 27, Logroño, pp. 47-60.
- FAO-UNESCO (1974) - *Soil map of the world*. Unesco Paris, 59 p.
- FERREIRA, A. J. D. (1990) - "Efeitos dos incêndios florestais sobre a hidrologia das camadas superficiais do solo". 2ª Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente, Lisboa, 4 a 6 de Abril.
- FERREIRA, A. J. D. (1996) - *Processos Hidrológicos e Hidroquímicos em Povoamentos de Eucalyptus globulus Labill e Pinus pinaster Aiton*. Diss. Doutoramento, Universidade de Aveiro (Dep. Ambiente e Ordenamento), 418 p.
- HEWLETT, J. D. (1961) - "Soil moisture as a source of baseflow from steep mountain watersheds". *U.S. Forest Research Paper*, Southeastern Forest Experimentation Station, paper nº 132, 10 p.
- HORTON, R. E. (1933) - "The role of infiltration in the hydrological cycle". *Trans. Am. Geophys. Union*, 14, pp. 446-460.
- IMESON, A. C.; VERSTRATEN, J. M.; VAN MULLINGEN, E. J. e SEVINK, J. (1992) - "The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean types forests". *Catena*, 19, pp. 345-361.
- KIERSCH, B. (2002) - "Land use impacts on water resources: a literature review". In FAO Land and Water Bulletin - *Land-Water Linkages in Rural Watersheds*, pp. 35-44.
- MOORE, I. D. e FOSTER, G. R. (1990) - "Hydraulics and overland flow". In ANDERSON, M. G. e BURR, T. P. (Eds.) - *Process studies in hillslope hydrology*, John Wiley and Sons, England, pp. 215-254.
- MWENDERA, E. J. e FEYEN, J. (1994) - "Effects of tillage and evaporative demand on the drying characteristics of a silt loam: An experimental study". *Soil and Tillage Research*, 32, pp. 61-69.
- POESEN, J. (1984) - "The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume". *Z. Geomorphology*, 49, Suppl. Bd., pp. 117-131.
- POESEN, J.; SANCHEZ, I. e MÜCHER, H. (1990) - "The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer". *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, pp. 653-671.

- SANCHEZ-BARRIONUEVO, G. (1995) - *Arquitectura y dinámica de las matas de esparto (Stipa tenacissima L.), efectos en el medio e interacciones con la erosión*. Diss. Doutorado, Universidad Autónoma de Madrid, 120 p.
- SMETTEM K. R. J.; CHITTLEBOROUGH D. J.; RICHARDS B. G. e LEANEY F. W. (1991) - "The influence of macropores on runoff generation from a hillslope soil with a contrasting textural class". *Journal of Hydrology*, 122, pp. 235-252.
- VALENTIN, C. e BRESSON, L. M. (1992) - "Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils". *Geoderma*, 55, pp. 225- 245.
- ZHANG, L.; DAWES, W. R. e WALKER, G. R. (1999).- "Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance". Technical report 99/12, Cooperative Research for Catchment Hydrology, CSIRO *Land and Water*, 35