

SILVAQUA PROJECT
Avaliação dos impactes das alterações climáticas sobre os recursos hídricos e a fixação de CO₂ por povoamentos florestais de crescimento rápido em Portugal
- Primeiros resultados -

Coelho C.O.A.¹, Boulet A.-K.¹, Ferreira A.J.D.², Tomé M.³, Tomé J.A.³, Soares P.³, Cortiçada A.³, Páscoa F.², Salas R.², Amaral, A.²

¹ Universidade de Aveiro, Departamento Ambiente e Ordenamento, CESAM.

² Escola Superior Agrária de Coimbra, CERNAS.

³ Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais.

RESUMO

Estudos recentes referem o impacte das alterações climáticas na evapotranspiração e recursos hídricos, em áreas florestais povoadas com espécies de crescimento rápido, em Portugal (Coelho *et al.*, 2000). Na eventualidade de se verificarem os cenários de diminuição da quantidade de precipitação previstos para o sul da Europa (Parry, 2000), torna-se previsível que várias espécies entrem em stress hídrico tal como *Eucalyptus globulus* (Coelho *et al.*, 2001), provocando alterações no crescimento dos povoamentos, na decomposição da manta morta e no consumo de água. Espera-se ainda um forte impacte na fixação do CO₂ atmosférico. O impacte destas alterações nos processos hidrológicos em solos e vertentes, sob povoamentos de crescimento rápido, é ainda pouco conhecido, sendo o seu conhecimento fundamental para a compreensão dos fenómenos hidrológicos e, essencial no planeamento e gestão eficiente destes recursos.

O projecto Silvaqua (POCTI/MGS/49210/2002) foi elaborado no âmbito desta temática, e consiste numa abordagem a várias escalas.

(i) estudo dos padrões de variação da humidade do solo para uma série de parcelas onde a humidade do solo é registada segundo diversas redes de sondas de TDR;

(ii) monitorização intensiva do crescimento das árvores e arbustos, da queda de folhada e da decomposição da manta morta;

(iii) estudo dos processos hidrológicos nas vertentes (nomeadamente caracterização do escoamento e da evapotranspiração) com a delimitação de várias parcelas fechadas e a instrumentação de pequenas bacias hidrográficas;

A análise dos resultados permitirá estabelecer os mecanismos de interacção entre as alterações climáticas, o crescimento da vegetação, os processos hidrológicos e os recursos hídricos. O impacte ambiental dos cenários climáticos previstos (Parry, 2000) sobre os recursos hídricos, em termos de alterações de interceptação, de padrões de humidade do solo, de hidrologia das vertentes e das bacias e, sobre a fixação do CO₂, em termos de crescimento da vegetação e da dinâmica da camada de manta morta, será estabelecido para vários tipos de povoamentos de eucalipto.

A área de estudo localiza-se a 15 km-Este de Águeda e insere-se na bacia hidrográfica do Rio Águeda, na Serra do Caramulo.

É efectuado anualmente um inventário florestal das duas micro-bacias em estudo. Os dados obtidos no âmbito do projecto serão usados no modelo GLOB-3PG, de maneira a estimar a produtividade dos povoamentos e a resposta em termos hidrológicos, para diversos cenários climáticos alternativos.

Palavras-chave: alterações climáticas, recursos hídricos, fixação de CO₂, *Eucalyptus glob.*

INTRODUÇÃO

Estudos recentes referem o impacte das alterações climáticas na evapotranspiração e recursos hídricos, em áreas florestais povoadas com espécies de crescimento rápido, em Portugal (Coelho *et al.*, 2000).

Na eventualidade de se verificarem os cenários de diminuição da quantidade de precipitação previstos para o sul da Europa (Parry, 2000), torna-se previsível que várias espécies entrem em stress hídrico, tal como *Eucalyptus globulus* (Coelho *et al.*, 2001), provocando alterações no crescimento dos povoamentos, na decomposição da manta morta e no consumo de água. Espera-se ainda um forte impacte na fixação do CO₂ atmosférico. A seca deste ano confirmou estas previsões; nos meses de Novembro, Dezembro, Janeiro, e Fevereiro, a precipitação total não chegou aos 200mm, agravados por geadas severas repetidas durante o Inverno. Povoamentos inteiros de Eucaliptos secaram, inúmeros povoamentos regenerados jovens foram devastados, e ainda, a taxa de crescimento das árvores foi pelo menos 50% inferior ao previsto. O impacte destas alterações nos processos hidrológicos em solos e vertentes sob povoamentos de crescimento rápido é ainda pouco conhecido, sendo o seu conhecimento fundamental para a compreensão dos fenómenos hidrológicos e, essencial no planeamento e gestão eficiente

METODOLOGIA

O projecto Silvaqua consiste numa abordagem a várias escalas:

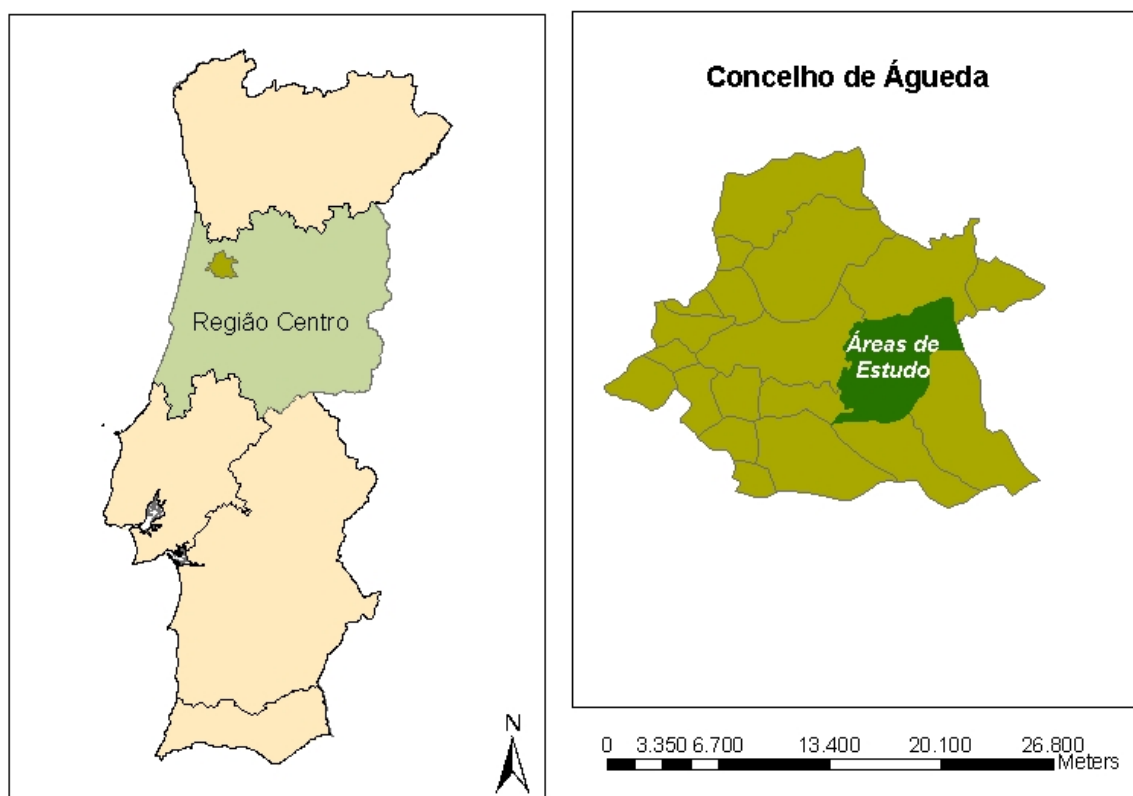
- (i) Estudo dos padrões de variação da humidade do solo para uma série de parcelas, onde a humidade do solo é registada segundo diversas redes de sondas de TDR; segundo uma série de perfis de humidade com registo da humidade nas profundidades de 10cm-20cm-30cm-40cm; e finalmente, através de vários transectos de medição da humidade do solo na superfície (0-6cm) efectuados em paralelo com medições de hidrofobia.
- (ii) Monitorização intensiva do crescimento das árvores e arbustos: 3 parcelas de 400m² foram delimitadas e uma amostra representativa (30 árvores por parcela) foi determinada, apoiada nos diâmetros. De dois em dois meses, são efectuadas medições dendométricas com monitorização dos seguintes parâmetros: DAP, altura total e diâmetro da copa na amostra, e anualmente, na totalidade da parcela. A queda de folhada é recolhida de 3 em 3 meses, em colectores quadrados de 0.5m² de superfície de recepção. A decomposição da manta morta será estimada com base em bibliografia.
- (iii) Estudo dos processos hidrológicos nas vertentes: caracterização do escoamento e da evapotranspiração através, da medição da intercepção da copa das árvores, da medição da escorrência pelo tronco, da medição da escorrência superficial em várias parcelas delimitadas e da medição do escoamento dos cursos de água, com a instrumentação de pequenas bacias hidrográficas.

ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se 15 km a Este de Águeda (figura 1) e insere-se na bacia hidrográfica do Rio Águeda, na Serra do Caramulo. A elevação do terreno é de 20 m na confluência dos rios Águeda e Alfusqueiro mas atinge mais de 500 metros nos vertentes Estes. A precipitação anual média oscila entre 1300 e 1900 mm (Ferreira *et al.*, 1995). A maior parte da chuva é devida a depressões invernais e fica assim, concentrada nos meses de Outono, Inverno e Primavera, sendo os meses de Verão, em princípio, secos. A natureza

geológica é xisto. O relevo é profundamente marcado pelos rios, o perfil da pendente tem um aspecto convexo rectilíneo, com pouca concavidade basal. O declive médio é de cerca 20°. Os solos são poucos estruturados, poucos profundos e pedregosos, com declive escarpados caracterizados como Umbric Leptosols (Pereira and FitzPatrick, 1955), apresentam um horizonte de superfície castanho escuro, limo-argiloso.

Figura 1 – Localização das áreas de estudo



As áreas de estudo estão inseridas em pequenas bacias hidrográficas monitorizadas já há 12 anos. Estão a ser monitorizados intensivamente três povoamentos de Eucaliptos (i) um eucaliptal regenerado em 1999, (ii) um eucaliptal regenerado em 2003, (iii) um eucaliptal lavrado e plantado em 2003. As parcelas estão localizadas na parte superior das bacias, sendo que a grandeza do declive aumenta em sentido inverso à da altitude.

Tabela 1 - Caracterização da área de estudo

	'Casa do Padre 1'	'Casa do Padre 2'	'Falgarinho'
Uso do solo	Eucaliptal regenerado em 1999	Eucaliptal regenerado em 2003	Eucaliptal lavrado plantado em 2003
Densidade (arvores/ha)	3643	1371	2604
Declive / topo-base	9,5° - 18°	2° - 16°	9° - 15°
Localização	40°36'28'' 08°20'00''	40°36'28'' 08°19'57''	40°36'21'' 08°20'28''
Altitude (m)	473 m	475 m	413 m
Orientação	NN	NN	WW

Tabela 2 – Densidade aparente, pedrosidade na superfície do solo (0-5cm) (n= 36)

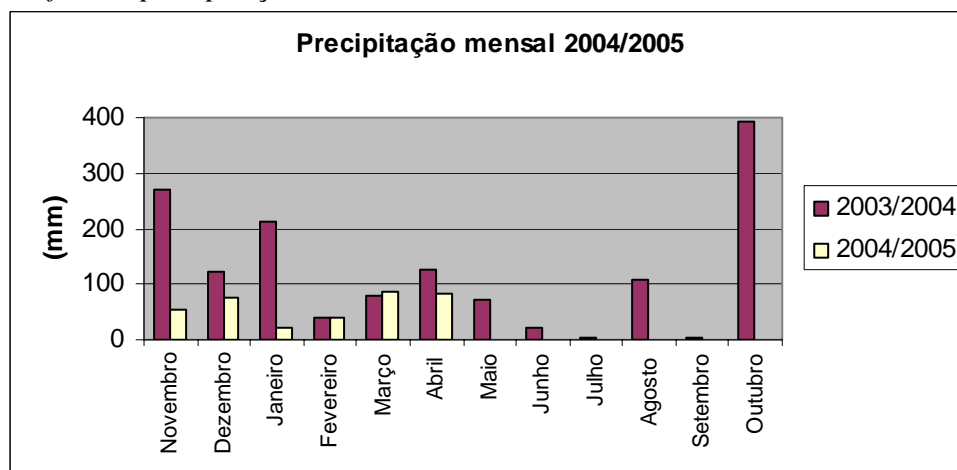
	Densidade aparente (g/cm ³)			Pedrosidade (%)		
	Casa padre 1	Casa padre 2	Falgarinho	Casa padre 1	Casa padre 2	Falgarinho
min	0,5	0,5	0,8	3,2	4,0	27,6
Max	1,1	1,0	1,3	84,6	56,7	76,7
Média	0,8	0,7	1,1	43,0	26,7	58,7
Des.Padrão	0,2	0,1	0,1	21,4	15,4	12,6

RESULTADOS

Precipitação

A precipitação é registrada por um údometro automático (equipado com um *data logger*) que permite uma análise pormenorizada da precipitação ao nível dos totais diários, mensais, anuais e, da intensidade da precipitação durante cada evento chuvoso. A tabela seguinte apresenta simplesmente os totais mensais da precipitação durante ao nos hidrológicos 2003/2004/2005, o ano hidrológico 2005 apresenta-se extraordinariamente seco.

Gráfico 1: precipitação mensal 2004-2005



Inventário florestal anual

Na primeira campanha uma área total de 78.46 ha foi inventariada, com recurso a 70 parcelas temporárias de 500m² e, à instalação de 8 parcelas permanentes de 1000 m². Foi determinado o povoamento principal de *E. globulus* (64.8ha) e o povoamento secundário *P. Pinaster* (13.6 ha). Um processo de colonização da espécie *Acácia melanoxylon* foi registado sobretudo nas margens dos rios. O inventário da vegetação permitiu determinar variáveis tal como: DAP, a altura total, a idade, a densidade e altura e diâmetro da copa.

Foi elaborada uma base de dados e determinadas e analisadas várias características dos povoamentos: idade, estrutura, índice de qualidade, índice de produção de madeira, área basal, volume, ...

Inventário da vegetação intensivo

Em cada parcela de estudo, foi delimitada uma *parcela* de 400m² para inventário da vegetação. As árvores foram marcadas, e vários parâmetros têm sido monitorizados: altura total, dap e diâmetro da copa. Baseado numa análise estatística dos valores do dap, foi determinado para cada parcela uma amostra de 30 árvores, que são monitorizadas com um intervalo de dois meses.

Os gráficos seguintes apresentam a evolução da área do tronco à altura do peito durante os 2 últimos anos hidrológicos. Nota-se nitidamente uma inclinação no declive da curva, para as 3 parcelas, nos 4 últimos meses, em comparação com os dados do ano passado, comportamento que pode ser atribuído à seca e à ocorrência de geadas repetidas.

Gráfico 2^a - Evolução da área do tronco a altura do peito na parcela 1

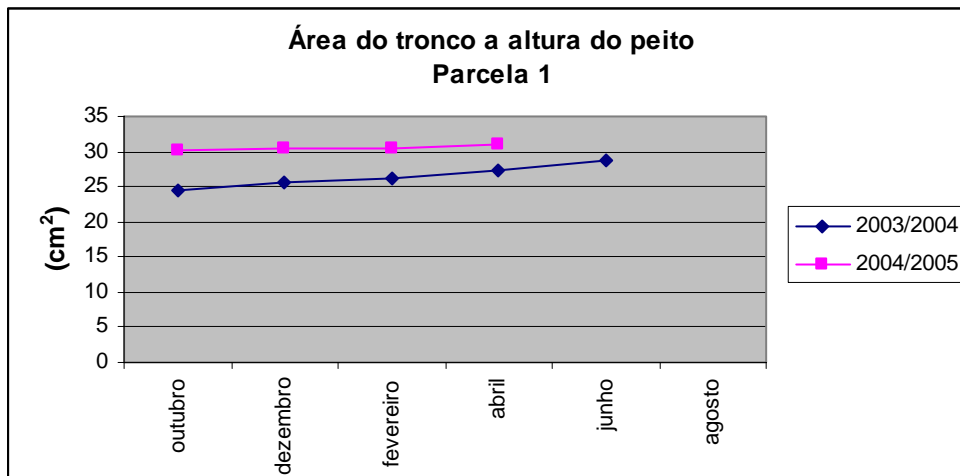


Gráfico 2b - Evolução da área do tronco a altura do peito na parcela 2

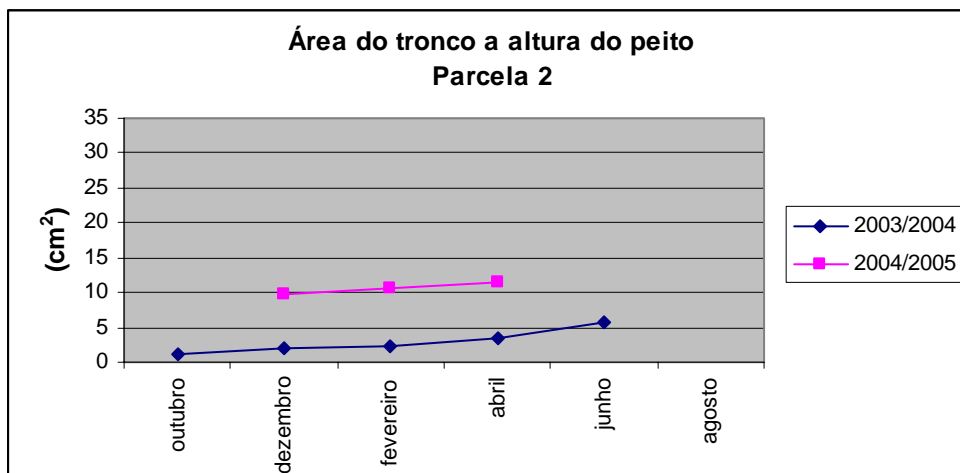


Gráfico 2c - Evolução da área do tronco a altura do peito na parcela 3

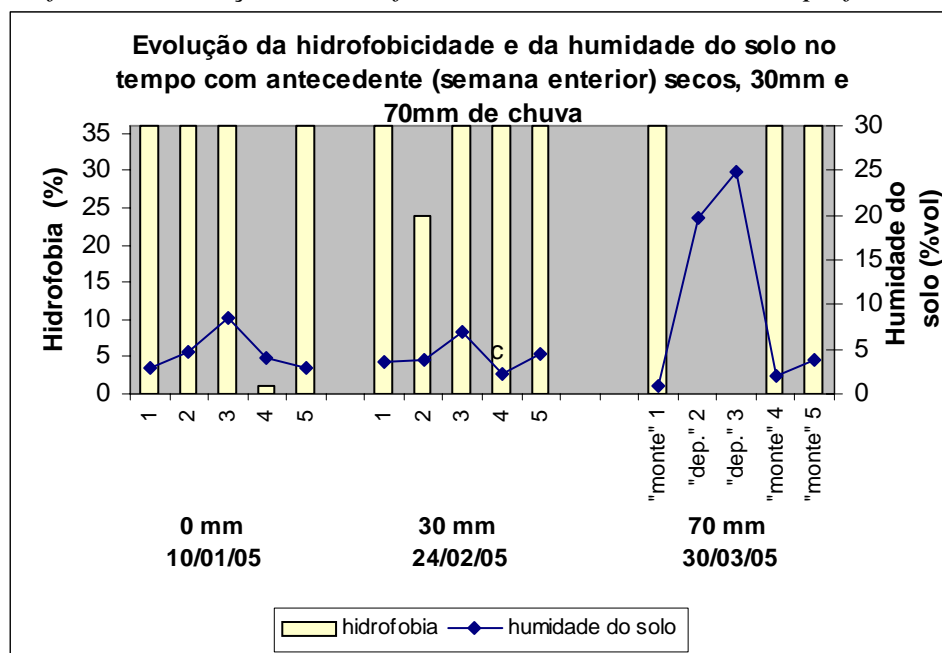
A camada orgânica superficial, muito hidrófoba, não é saturável para episódios chuvosos com menos de 30 mm. (eu cortava o que está a púrpura).

Durante este Inverno particularmente seco, a superfície do solo manifestou-se, de forma homogénea, altamente seca e hidrofóbica (36% de etanol, método MED), com a camada de manta morta a desempenhar o efeito de tampão.

Um solo hidrofóbico, promove a infiltração da água da chuva através de macroporos, o que pode explicar os valores de escorrência superficiais recolhidos na embocadura das parcelas fechadas. Para um evento chuvoso superior a 30mm, a escorrência raramente ultrapassa os 2%.

Devido à microtopografia do terreno, de natureza muito irregular (pequenos montes e depressões), são criadas zonas de infiltração preferenciais nas pequenas zonas de depressão. Efectivamente, depois da saturação da camada orgânica a água movimenta-se na superfície do solo, muito lentamente, devido à resistência oferecida pela espessura da camada de manta morta, e acaba por acumular nas pequenas depressões. Nestas zonas a estagnação da água permite quebrar a hidrofobia do solo, permitindo a infiltração. -Neste povoamento verifica-se, precisamente que depois das chuvas do mês de Abril, a distribuição espacial da humidade na camada superficial e, da hidrofobia é significativamente heterogénea com as zonas hidrófilas, correspondentes às zonas húmidas, situadas nas depressões e as zonas hidrofobas, correspondentes às zonas secas, situadas nos pequenos montes.

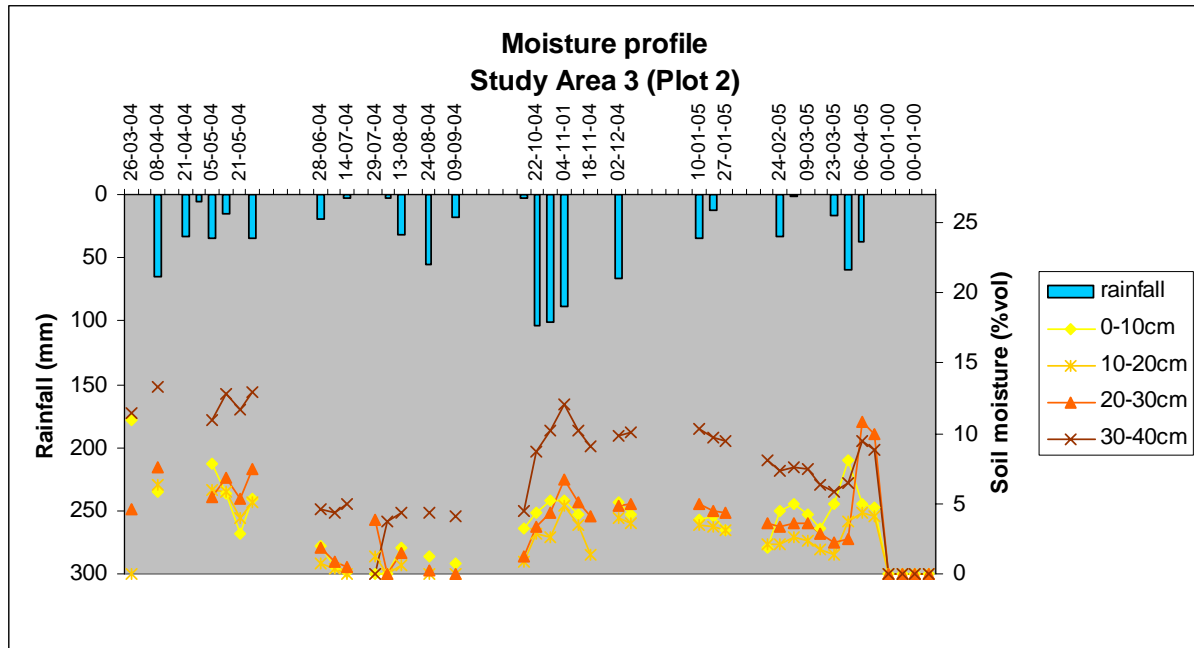
Gráfico 4ª - Evolução da hidrofobicidade e da humidade na superfície do solo na parcela 1



A parcela de eucaliptos lavrada, plantada há dois anos, apresenta um comportamento totalmente diferente. O solo praticamente nu, com uma pedrosidade elevada, não apresenta resistência a escorrência superficial da água. Os padrões de humidade à superfície do solo e de hidrofobia estão, espacialmente e temporalmente, bastante homogéneos. Verifica-se que, mesmo com antecedentes secos, a superfície do solo seca apresenta uma hidrofobia fraca que

poucas vezes ultrapassa os 5% de etanol (método MED) excepto, nas proximidades das árvores, onde os valores de hidrofobia atingem os 18%. Este facto pode estar atribuído à ausência de acumulação e, conseqüente decomposição, de material orgânico, que supostamente, está na origem das substâncias indutoras de repelência à água dos solos. Em todo o caso, verifica-se também, que a hidrofobia desaparece muito rapidamente depois dos primeiros eventos chuvosos.

Gráfico 3b - Evolução do perfil de humidade do solo na parcela 3

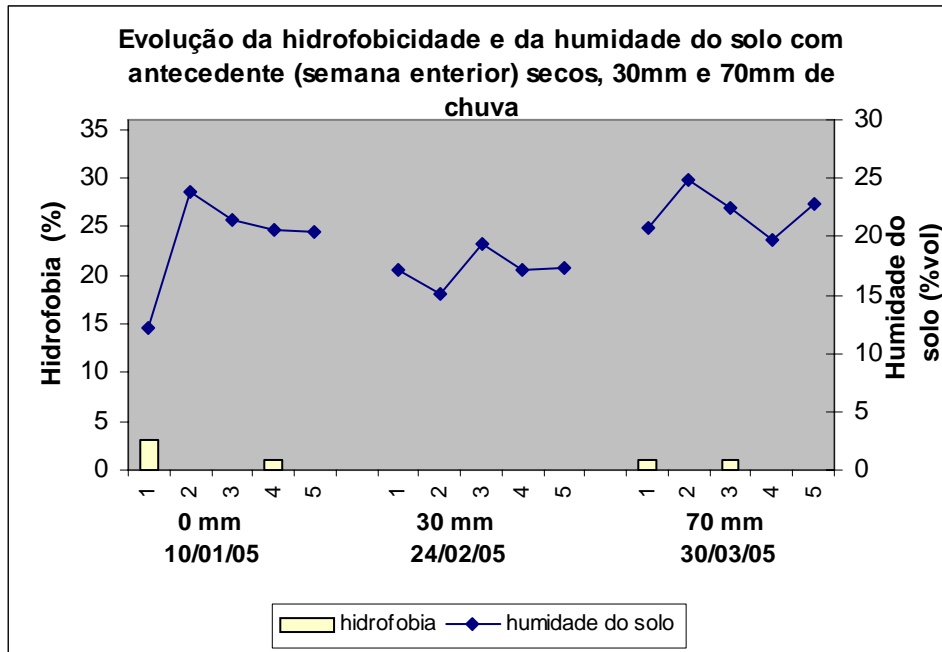


Na parcela 3, a escorrença superficial registrada nas primeiras chuvas de Outono 2004 (chuvas curtas de grande intensidade), sobre solos secos, atingiu os 30%. No Inverno de 2004/2005, a escorrença manteve-se abaixo dos 10%, o que pode estar associado à diminuição de intensidade dos eventos chuvosos. Os elevados valores da escorrença observados, podem estar atribuídos a vários factores: à presença de ligeira hidrofobia que, atrasa a infiltração da água; à falta de coberto vegetal e de manta morta que, possibilita o aumento de velocidade do movimento da água, induzindo erosão superficial; à distribuição espacial da humidade homogénea que, não permite a manifestação de zonas de infiltração preferenciais; à presença de macro-caminhos preferenciais de escoamento, delineados pela actividade da lavragem dos terrenos. No entanto, outros factores limitam a amplitude dessa escorrença tal como: a existência de inúmeros macros poros, resultantes da presença de bases de troncos, ramos e cascas parcialmente enterrados e removidos durante a lavragem e, a presença de profundas depressões abertas também durante a lavragem que vão favorecer a aparecimento de zonas de infiltração preferenciais.

A variação da humidade do solo à superfície apresenta variações mais relevantes e mais rápidas do que em profundidade. A falta de vegetação possibilita uma evaporação significativa da água superficial e, em consequência o solo seca rapidamente à superfície, e os valores de hidrofobia voltam a aparecer rapidamente depois de um período seco bastante

curto. A humidade do solo, em profundidade, é mais constante e estritamente dependente dos antecedentes chuvosos, a longo prazo.

Gráfico 4b - Evolução da hidrofobicidade e da humidade na superfície do solo na parcela 1



CONCLUSÃO

O projecto Silvaqua apresenta uma abordagem integrada de forma a investigar os efeitos das alterações climáticas sobre o ciclo do carbono, nomeadamente sobre o armazenamento ao nível da vegetação e da manta morta no solo. O projecto procura ainda estabelecer uma relação com os processos hidrológicos ao nível do povoamento, do solo e de pequenas bacias hidrográficas.

A redução da quantidade de precipitação provoca alterações significativas ao nível do crescimento dos povoamentos florestais de crescimento rápido como é o caso dos eucaliptais. Com efeito os eucaliptos reduzem em muito o seu crescimento durante períodos de carência de água. Também os processos hidrológicos são profundamente alterados, com o aparecimento de características repelentes ao nível do solo, que condiciona de forma indelével os processos da água no solo. O aparecimento desta característica é mais notória em povoamentos com vegetação e uma camada de manta morta bem desenvolvidas, verificando-se uma grande influência da microtopografia no desencadear dos processos hidrológicos.

BIBLIOGRAFIA

- Bishop, G.D., Church, M.R., Aber, J.D., Neilson, R.P. Ollinger, S.V. and Daly, C. (1998) A comparison of mapped estimates of long-term runoff in the northeast United States, *J. Hydrology*, 206, 176-190.
- Coelho, C.O.A., Ferreira, A.J.D., Boulet, A.K. and Keizer, J.J. (2001) Impacto das mudanças nos usos do solo e da variabilidade da precipitação sobre a resposta hidrológica de

- pequenas bacias hidrográficas florestadas. Actas da VII Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Aveiro 18-20 de Abril, 251-255.
- Coelho, C.O.A., Laouina, A., Ferreira, A.J.D., Carvalho, T.M.M., Naciri, R., Chaker, M., Naafa, R., Boulet, A.-K. e Pereira, J.B.P. (2000) Soil hydrological and erosional processes under Eucalyptus and evergreen Quercus forests in southern Portugal and central Morocco. International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity. Vila Real, 18-22 September 2000.
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Walsh, R.P.D, Shakesby, R.A., Ceballos, A and Doerr, S.H. (2000). Hydrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. *Journal of Hydrology*, 231-232, 165-177
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J.B., Shakesby, R.A. e Walsh, R.P.D. (1998). Impact of Climate Change on Slope and Catchment Hydrology in Forest areas, central Portugal. *GEOKODYNAMIK*, Band XIX, 165-177.
- Najjar, R.G. (1999) The water balance of the Susquehanna River Basin and its response to climate change. *J. Hydrology*, 219, 7-19.
- Parry, M.(ed.) (2000) Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe - The Europe Acacia Project, University of East Anglia, Norwich, 320pp.
- Reed, D. & Tomé, M., (1998). Total aboveground biomass and net dry matter accumulation by plant component in young Eucalyptus globulus in response to irrigation. *Forest Ecology and Management*, 103: 21-32.
- van Dam, J.C. 1999. Impacts of climate change and climatic variability on hydrological regimes. International Hydrology Series, Cambridge University Press.