

territorium

territorium

territorium

territorium

REVISTA DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA
NO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E
GESTÃO DE RISCOS NATURAIS

MINERVA
COIMBRA 98

Consequências hidrológicas e pedológicas das mudanças em áreas florestais

António José Dinis Ferreira*

Resumo:

A expansão da área florestal produz alterações ao nível dos ecossistemas em geral e à sustentabilidade dos recursos naturais em particular.

Neste trabalho apresentam-se resultados sobre a implicação das florestas de Eucalipto e de Pinheiro sobre os recursos hídricos, nomeadamente sobre os processos hídricos e hidroquímicos. São ainda apresentadas taxas de erosão para vários usos florestais do solo. Uma particular atenção será dada às consequências de dois dos acontecimentos recorrentes mais catastróficos na floresta portuguesa: os fogos florestais e as lavagens no sentido do maior declive da vertente.

Palavras chave:

Portugal, Serra do Caramulo, Florestas, Processos hídricos, Processos hidroquímicos.

Résumé:

L'expansion de l'espace forestier peut produire des changements au niveau des écosystèmes en général et à la soutenabilité des ressources en particulier.

Dans cet article, on présente des résultats sur l'implication des forêts d'Eucalyptus et de Pin sur les ressources hydriques, notamment sur les processus hydriques et hydrochimiques. On présente aussi des taxes d'érosion pour plusieurs usages forestiers du sol. Une attention particulière sera faite aux plus catastrophiques des événements de la forêt portugaise: les feux de forêts et les labours dans le sens de la pente majeur du versant.

Mots clés:

Portugal, "Serra" de Caramulo, Forêts, Processus hydriques, Processus hydrochimiques.

Abstract:

The expansion of afforestation produces a change at ecosystems in general, and on natural resources sustainability in particular.

Results on the pine and eucalyptus forests implications are presented, namely on water resources, which include hydrological and hydrochemical processes. Erosion rates are presented for the different forest land uses. A particular attention is given to two of the most catastrophic events that occur in the portuguese forest: forest fires and rip-ploughing following the highest slope angle.

Key words:

Portugal, Caramulo mountain, Forests, Hydrological processes, Hydrochemical processes.

1. Introdução

A floresta tem ganho uma importância crescente no âmbito nacional, com a florestação de cada vez maiores áreas. Com efeito, ao modelo de Portugal como país agrícola, predominante no início do século, passou-se à constatação de que 59% da área de Portugal continental possui solos apenas com aptidão florestal (Projecto Florestal Português, 1982). Assim se explica que área florestal nacional tenha passado de 1957000 ha em 1902, (ALMEIDA, 1928) para 3085600ha em 1989 (DGF, 1989).

No início dos anos quarenta existia em Portugal uma área florestal total da ordem dos 2,6 milhões de

ha, destes, 50% eram constituídos por resinosas, principalmente *Pinus pinaster* Aiton, 42% de montado de sobre/azinheira, e os restantes 8% eram ocupados por outras folhosas, das quais o eucalipto não representava mais de 15% (aproximadamente 30 mil hectares) (SOARES, 1993).

Por esta altura procedeu-se à florestação intensiva dos baldios do Norte e centro do país com *Pinus pinaster* Aiton.

Após a implantação da fábrica de pasta de papel de Cacia (1953), e sobretudo na década de 70, muitas das áreas foram reflorestadas com *Eucalyptus globulus* Labill..

No futuro prevê-se a expansão da área florestada em consequência das políticas europeias de "set-aside" (Regulamento OJ No L 215/96, 1992, Regulamento do Conselho N° 2080/920).

* Professor Auxiliar Convidado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

As modificações no uso do solo florestal adquirem assim uma grande importância, especialmente porque os solos com aptidão florestal representam quase 60% do total nacional.

Nesta perspectiva, o objectivo deste trabalho consiste em procurar compreender o impacto dos eucaliptos e dos pinheiros, e das técnicas de manejo a eles associadas (nomeadamente os incêndios florestais e a lavragem no sentido do maior declive das vertentes), sobre o ciclo da água e dos solutos. Para o efeito estudaram-se os processos hídricos e hidroquímicos na estrutura aérea da vegetação, nos solos e nos cursos de água. Estabelecem-se ainda balanços hídricos e de solutos para os usos do solo mais frequentes na área de estudo.

2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Águeda, na vertente ocidental da Serra do Caramulo, freguesias do Préstimo, Castanheira do Vouga e Agadão, na região este do Concelho de Águeda (40°35'N, 8°26'W), onde foram instalados limnigrafos em 6 pequenas bacias hidrográficas e instaladas várias parcelas (figura 1). A área de estudo possui um relevo muito dissecado, em que as vertentes de xisto, rectilíneas, possuem declives de 20° em média.

As bacias hidrográficas possuem vertentes rectilíneo-convexas, em que as secções convexas das duas vertentes se interceptam, formando um canal onde raramente se observam concavidades basais onde os sedimentos se possam armazenar, e onde a área variável de contribuição para a descarga terá pouco significado.

Os solos são cambissolos húmicos ou dístricos, pouco espessos (10-30cm), pedregosos e sem horizonte B. Climaticamente a área situa-se na região Atlântico-Mediterrânea, com precipitação entre os 1300 e 1900mm., originada, em especial, por superfícies frontais, acentuadas pelo relevo e pela proximidade do oceano Atlântico. O verão é bastante seco e quente, prolongando-se os meses secos de Junho a Setembro. Durante o período estudado (1989-1994), a precipitação registada foi sempre inferior à média (1933-1994) (FERREIRA et al., 1998).

3. Metodologia

A figura 2 representa esquematicamente os fluxos hídricos e hidroquímicos associados a um povoamento florestal. O desenho experimental inclui várias escalas de análise espacial e temporal: quanto às escalas espaciais, a pontual foi usada para quantificar as propriedades físicas e hídricas dos solos; a parcela

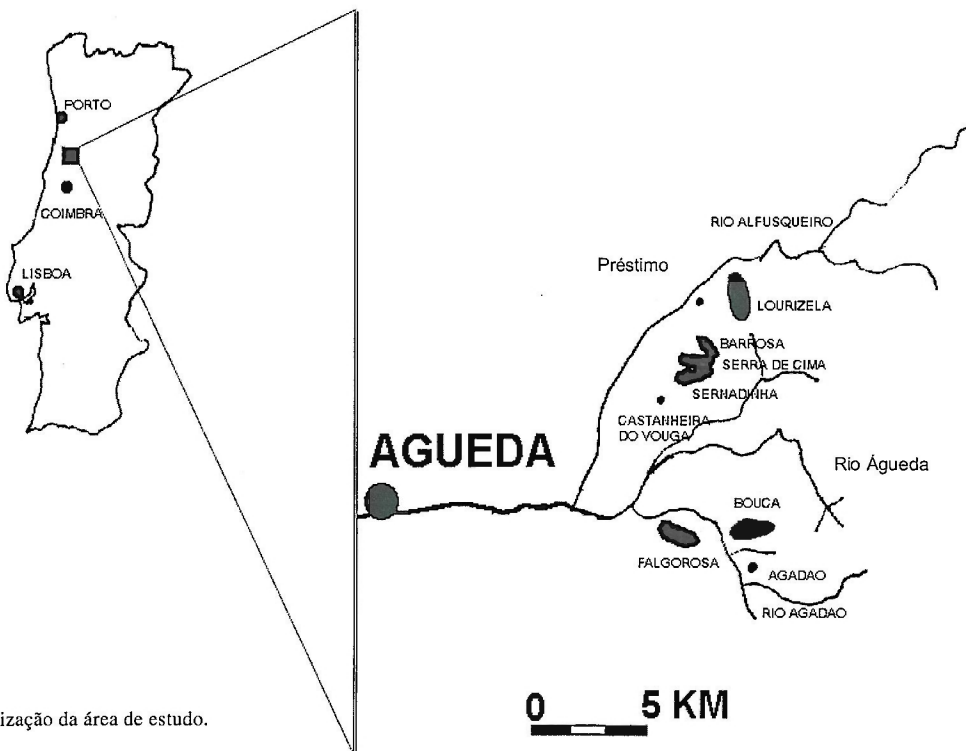


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

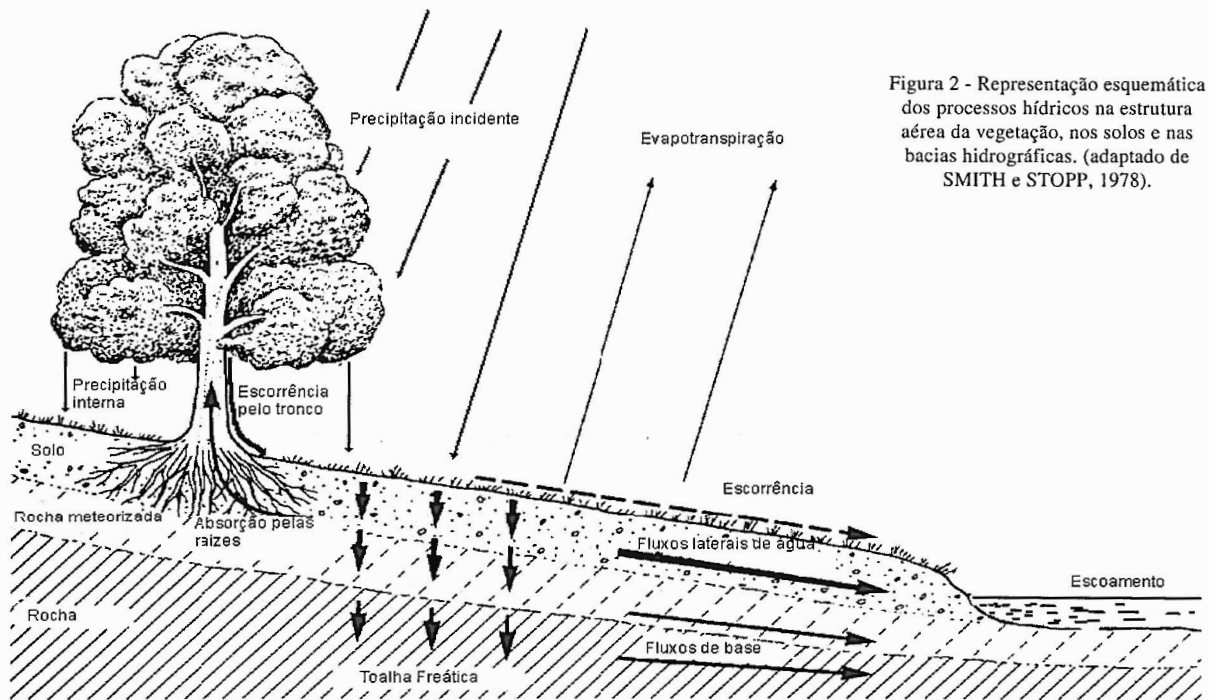


Figura 2 - Representação esquemática dos processos hídricos na estrutura aérea da vegetação, nos solos e nas bacias hidrográficas. (adaptado de SMITH e STOPP, 1978).

foi usada para quantificar os processos da água e iões na estrutura aérea da vegetação e nos solos. A bacia hidrográfica foi usada para quantificar as saídas de água e iões do ecossistema, bem como os respectivos balanços hídricos e hidroquímicos.

Utilizámos parcelas delimitadas, 8 x 2 metros, drenando para uma ou duas caixa de Gerlach modificada (SHAKESBY et al., 1989), ligada a um conjunto de tanques com capacidade para 200 litros cada, para medir a escoência (figura 3). Foram colocadas parcelas em todos os usos do solo relevantes na área de estudo.

Instrumentaram-se ainda 6 pequenas bacias hidrográficas, com menos de 1,5 km² de área, cada uma com um uso do solo dominante.

A nível temporal, foram usadas três escalas de análise: (i) Registo contínuo de alguns dos processos hídricos, nomeadamente a precipitação e o escoamento das bacias hidrográficas. (ii) Recolhas semanais de amostras de água para análises químicas e de informação sobre os restantes processos hídricos. (iii) Foram efectuadas amostragens intensivas de vários episódios chuvosos, nomeadamente foram colhidas amostras para análise dos processos hidroquímicos e para medição dos processos hídricos não registados em contínuo.

Nas bacias hidrográficas foram utilizados limnigrafos de registo contínuo e colectores automáticos

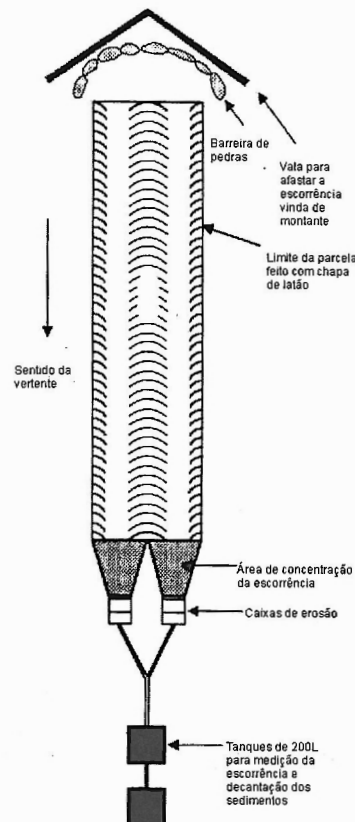


Figura 3 - Esquema de uma parcela instalada numa área lavrada.

de amostras de água em períodos de cheia (figura 4). A transformação das alturas do limnígrafo em quantidades de água foi efectuada com o auxílio de curvas de vazão, calculadas a partir de medições pontuais do caudal pelos métodos volumétrico e de diluição (FERREIRA et al., 1995).

Os usos do solo das 6 bacias hidrográficas estudadas, para o ano de 1990 encontram-se representados na

tabela 1 (excepto a Lourizela, cujo uso do solo foi avaliado em 1994). As bacias hidrográficas da Bouça e da Falgorosa não sofreram o impacto dos incêndios florestais, pelo que apresentam grandes quantidades de floresta adulta, seja ela um misto de povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton e de *Eucalyptus globulus* Labill., no caso da Bouça, ou apenas de eucalipto (Falgorosa).

Tabela 1 - Uso do solo nas bacias hidrográficas estudadas

Bacia	Bouça (1990)	Falgorosa (1990)	Sernadinha (1990)	Barrosa (1990)	Serra de Cima (1990)	Lourizela (1994)
Pinhal adulto	[diagonal lines]					
Eucaliptal adulto	[dots]	[solid black]				
Pinhal regenerado	[dots]		[dots]	[solid black]		[solid black]
Eucaliptal regenerado após incêndio			[solid black]		[diagonal lines]	[dots]
Eucaliptal regenerado após corte						
Plantação de Eucalipto	[dots]		[dots]		[diagonal lines]	
Uso Agrícola						
"Vegetação natural"						

As áreas plantadas recentemente são bastante reduzidas. Quanto à bacia da Falgorosa, é sobretudo composta por povoamentos de eucalipto, quer "adultos", quer regenerados após corte.

Estas duas bacias, por não terem sofrido lavragens extensivas nos últimos 10 anos, ou incêndios florestais importantes nos últimos 50 anos, foram consideradas bacias testemunho.

Foram ainda instrumentadas três bacias queimadas no grande incêndio de 1986 e que, após essa data, registaram diferentes evoluções do uso do solo. A Sernadinha apresenta extensas áreas cobertas com

eucaliptal regenerado; a Barrosa é sobretudo composta por povoamentos de pinhal regenerado, e a Serra de Cima possui uma mistura de povoamentos regenerados de eucalipto e de pinheiro, mas sobretudo grandes áreas com plantações recentes de eucalipto.

Por fim, foi também instrumentada uma bacia hidrográfica que ardeu completamente no incêndio que em 1991 queimou quase completamente o vale do rio Alfusqueiro, e que passou a ter povoamentos regenerados de *Pinus pinaster* Aiton.

Na área de estudo, são três as técnicas de manejo comuns, que provocam a diferenciação observável

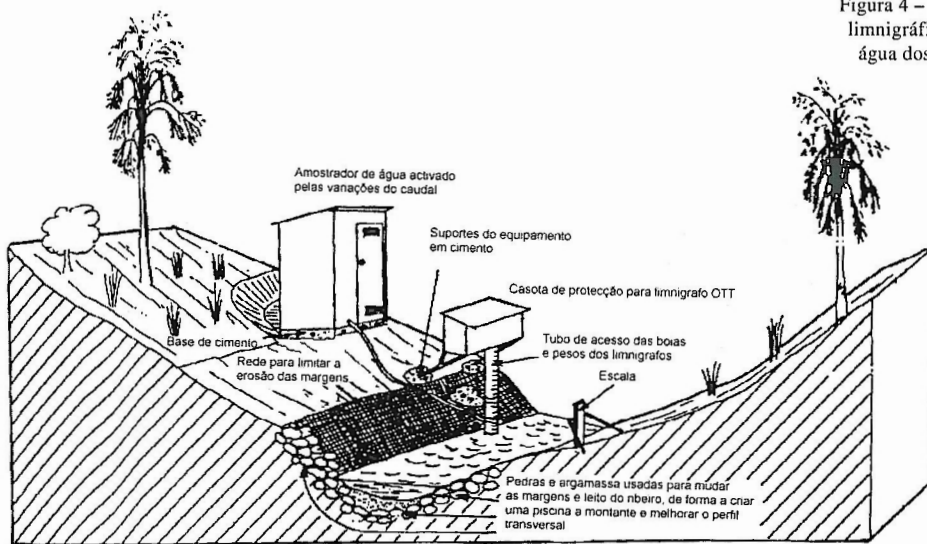


Figura 4 – Esquema de uma das instalações limnigráficas e de recolha de amostras de água dos ribeiros para análise química.

ao nível dos povoamentos florestais: (1) O corte de povoamentos de eucalipto; (2) Os incêndios florestais; (3) A lavragem efectuada com maquinaria pesada, geralmente no sentido do maior declive da vertente, invariavelmente seguida, na área de estudo, pela plantação de eucaliptos.

Da implementação destas técnicas de manejo resulta a diversidade observável na floresta da vertente ocidental da Serra do Caramulo, que procurámos analisar.

4. Análise

4.1. Processos e propriedades ao nível da copa

Ao nível das copas, verifica-se a partição da precipitação incidente em escorrência pelo tronco, precipitação interna e evaporação a partir da copa. É assim possível escrever a equação do balanço hídrico das copas:

$$P = T + S + E$$

Em que P é a precipitação incidente, T a precipitação interna, S a escorrência pelo tronco e E a evaporação a partir da copa. Conhecendo a quantidade de precipitação incidente, interna e a escorrência pelo tronco, é possível quantificar a percentagem de precipitação incidente que é evaporada a partir da copa, através da equação:

$$E = P - T - S$$

Os povoamentos adultos de *Pinus pinaster* Aiton e *Eucalyptus globulus* Labill. apresentam diferenças de drométricas que influenciam os parâmetros da equação hídrica da copa das árvores.

A tabela 2 apresenta alguns dos parâmetros dendrométricos determinados para três povoamentos: um de Pinheiro, com 50 anos, e dois de eucalipto: um "adulto", com 10 anos, e outro regenerado após incêndio e corte, com cerca de 5 anos.

Embora a densidade de árvores seja menor no pinhal, a área ocupada pelo tronco das árvores é maior do que para os povoamentos de eucalipto, fruto de um maior Diâmetro do tronco à altura do peito (DAP), que representa mais do dobro do DAP

Tabela 2 - Parâmetros dendrométricos de alguns dos povoamentos estudados na área de estudo (FERREIRA, 1996).

Povoamento	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.
Parâmetro			
Idade (anos)	50	10	5
Estado	Adulto	"Adulto"	Regenerado
Densidade (árvores/ha)	400	1792	3824
Área total do tronco (m ² /ha)	32,8	25,0	17,3
DAP (cm)	32,1	13,5	7,3
Área foliar (m ² /ha)	42689,2	93792,0	72567,2
% cobertura da copa	52,5	57,7	68,1
Precipitação interna livre (LEYTON et al. 1967)	0,646	0,679	0,697

Tabela 3 - Dados hídricos da copa calculados através do modelo de Gash (FERREIRA, 1996).

Povoamento	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.
Parâmetro			
Capacidade armazenamento da copa (mm)	1,117	0,980	0,835
Capacidade armazenamento do tronco (mm)	0,108	0,056	0,101
Quantidade precipitação necessária para saturar copa (mm)	4,0	4,5	4,0
Quantidade precipitação necessária para saturar tronco (mm)	9,8	1,4	2,3

do povoamento "adulto" de eucalipto e o quádruplo do regenerado.

A área foliar e a percentagem de cobertura da copa são, no entanto, inferiores no pinhal, quando comparados com os dois povoamentos de eucalipto.

Contudo, o *Pinus pinaster* apresenta a menor quantidade de precipitação interna livre, ao contrário do *Eucalyptus globulus*. O que é atribuível à forma, número e disposição das folhas das duas espécies (tabela 2).

A quantidade de precipitação necessária para saturar a copa, determinada pelo modelo de Gash (1979), é semelhante para as duas espécies (varia entre 4 e 4,5 mm). Ou seja, a uma menor cobertura, responde a maior eficiência na intercepção e evaporação por parte do *Pinus pinaster* Aiton.

Quanto à escorrência pelo tronco, as diferenças da rugosidade da casca entre as duas espécies são maiores, pelo que são necessários 9,8mm de precipitação para que ocorra escorrência pelo tronco no pinheiro, enquanto que para os povoamentos de eucalipto esse valor varia entre 1,4 a 2,3 mm (FERREIRA, 1996).

A percentagem de precipitação incidente, que chega ao solo sob a forma de precipitação interna, é semelhante para os povoamentos estudados, independentemente das suas propriedades dendrométricas. As maiores diferenças verificam-se ao nível da escorrência pelo tronco, em que mercê das diferenças na rugosidade da casca, o pinhal apresenta uma quantidade de precipitação necessária para saturar o tronco, bastante superior ao eucaliptal, o que se reflecte na menor quantidade de escorrência pelo tronco neste povoamento (figura 5).

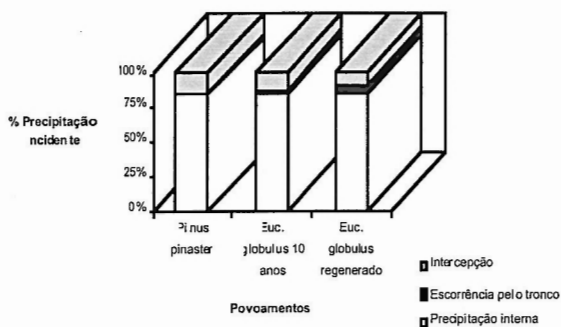


Figura 5 - Balanço hídrico nas copas de povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton e *Eucalyptus globulus* Labill.

O povoamento mais jovem (eucalipto regenerado após incêndio e corte), apresenta a menor eficiência na intercepção, embora apresente a maior cobertura pela copa. No extremo oposto situa-se o pinhal que, com uma menor percentagem de cobertura pela copa, apresenta os maiores valores de intercepção, o que revela a maior eficiência na intercepção desta espécie. Os povoamentos estudados interceptam e evaporam a partir da copa, entre 10,2 e 15,1 % da precipitação incidente.

Tabela 4 - Quantificação dos solutos que atingem o solo através da precipitação incidente e sob povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. e *Pinus pinaster* Aiton. (Ferreira, 1996)

Soluto	Precipitação interna (kg/ha/ano)	Eucalipto (kg/ha/ano)	Pinheiro (kg/ha/ano)
NO ₃	0,86	3,2	4,1
SO ₄	7,5	13,7	22,0
Cl	45,6	93,6	81,8
Ca	10,7	12,5	17,0
Mg	5,4	8,6	13,8
K	3,3	14,1	33,6
Na	41,9	54,8	75,0

Ao nível das entradas dos solutos nos ecossistemas (tabela 3), verificamos que as quantidades presentes na precipitação incidente são manifestamente inferiores às que atingem o solo através dos eucaliptais e dos pinhais. Este facto deve-se por um lado à maior capacidade de intercepção das copas das árvores. Com efeito, face à intercepção, esperar-se-ia um aumento de cerca de 15% nas concentrações. No entanto, se observarmos as concentrações dos cloretos que possuem uma fraca reactividade com a copa das árvores, verificamos que as concentrações na precipitação interna são cerca do dobro das observadas na precipitação incidente. As concentrações dos restantes solutos reflecte não só a capacidade de intercepção da estrutura aérea das plantas, mas também as trocas que existem ao nível da copa, com alguns dos iões a serem absorvidos (caso do cálcio) e outros a serem exsudados a partir dos tecidos vegetais (caso por exemplo dos nitratos e do potássio).

4.2. Processos e propriedades hídricas ao nível do solo

Além de destruírem toda a estrutura aérea da vegetação, as técnicas de manejo florestal usadas na área de estudo produzem alterações sobre as propriedades físicas (densidade, volume de poros), no coberto vegetal e manta morta, sobre a hidrofobia, e sobre as propriedades hídricas dos solos, o que provoca mudanças nos processos da água e dos solutos no solo e no escoamento das pequenas bacias hidrográficas.

Nos povoamentos adultos, a acumulação da matéria orgânica à superfície do solo faz diminuir a sua densidade para valores entre 0,49 e 0,7 g.cm⁻³, o que provoca capacidades médias de infiltração entre 45,9 e 47,8 mm/h. Consequentemente, a escorrência apresenta valores inferiores a 2% da precipitação incidente.

A alteração da estrutura do solo nos incêndios e lavragens, resulta no desaparecimento de toda a vegetação e manta morta à superfície do solo, o que se reflecte no aumento da densidade do solo e uma diminuição da capacidade de infiltração, quando comparada com a dos povoamentos adultos (se bem que nas áreas queimadas, a incineração dos sistemas de raízes gere áreas de macroporos com elevada capacidade de infiltração). Em consequência, os valores da escorrência variam entre os 11,6% (no caso da área queimada, em que os macroporos drenam uma parte importante da água gerada nas áreas hidrófobas) e os 48,4% das áreas lavradas (valor calculado por defeito). Este valor implica que, nas áreas lavradas, cerca de 50% da precipitação incidente não se infiltre no solo, contribuindo para um déficit de água no solo, e para uma maior quantidade de escoamento ao nível das bacias hidrográficas, expresso

numa maior magnitude dos picos de cheia, associado a uma diminuição substancial do tempo de resposta (COELHO et al., 1997b).

Mesmo 3 a 6 anos após o incêndio, a escorrência ainda não regista os valores dos povoamentos adultos, situando-se no intervalo 3,2-7,8%. Com efeito, o facto de os velhos troncos apodrecidos pelo desbaste nos povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton, serem completamente incinerados durante o incêndio florestal, provoca o aparecimento de uma extensa rede de macroporos, que aumenta, subsequente, com o apodrecimento das raízes das árvores mortas durante o incêndio.

Tabela 5 - Propriedades e processos dos solos florestais nas parcelas estudadas (FERREIRA, 1996)

Parcela	Densidade do solo (g/cm ³)	% cobertura orgânica	Capacidade de infiltração média (mm/h)	Escorrência (% precipitação)
Pinhal adulto	0,49	99,0	47,8	0,09
Eucaliptal adulto	0,70	82,8	45,9	1,8
Pinhal regenera.	0,93	94,2	22,7	3,2
Eucaliptal regenera.	0,83	79,8	178,4	7,8
Pinhal queimado	0,84	0	249(a) 1,8(b)	11,6
Eucaliptal lavrado (c)	1,12	64,5	36,7	17,1
Eucaliptal lavrado (d)	1,04	7,7	25,5	48,4

(a) solo com características hidrófobas (b) solo com características hidrófilas. (c) 1 ano após lavragem; (d) imediatamente após lavragem

Este facto implica uma maior eficácia do solo em drenar a água do perfil do solo para a base da vertente, quando comparado com o povoamento de *Eucalyptus globulus* Labill., que, pelo facto de regenerar da toíça, não possui rede de macroporos. O facto de a densidade do solo e a capacidade de infiltração do eucaliptal serem superiores às do pinhal regenerado, devem-se por um lado ao maior crescimento vegetativo do eucaliptal, que produz uma maior quantidade de manta morta (MADEIRA, 1986), que se concentra nos valeiros. A estrutura em cômodo e valeiro, subsiste decorridos 16 anos da plantação, e apesar do incêndio e corte, este facto tem importantes implicações ao nível hídrico. Com efeito, enquanto que os cômodos possuem densidades elevadas e baixas capacidades de infiltração, os valeiros, mercê da elevada concentração de manta morta, registam densidades menores e capacidades de infiltração mais elevadas. No entanto, uma vez dentro dos horizontes minerais, a água não possui uma facilidade de escoamento tão elevada como no pinhal regenerado, devido à ausência de macroporos. Este deficiente escoamento acaba por produzir uma rápida subida da toalha freática (visível

nos pluviómetros rudimentares, que em episódios chuvosos particularmente intensos e longos serviam como piesómetros), a que correspondiam elevadas quantidades de escorrência saturada.

4.3. O impacto sobre a erosão dos solos

Quanto às taxas de erosão por hectare por ano, verificamos que todos os povoamentos, com excepção do pinhal queimado e da área lavrada, possuem perdas de solo inferiores à quantidade máxima teórica estabelecida como limite à sustentabilidade de um solo florestal: 1 ton/ha/ano.

Enquanto que no quarto ano após o incêndio o eucaliptal regenerado apresentava já valores inferiores aos dos povoamentos da mesma espécie com 9 anos de idade, o pinhal regenerado apresenta uma recuperação mais lenta, com o quádruplo do valor registado no povoamento adulto.

Tabela 6 - Taxas anuais de perda de solo para alguns povoamentos florestais do norte e centro de Portugal (COELHO et al., 1995)

Uso do solo	Erosão (ton/ha/ano)
Pinhal adulto	0,02
Eucaliptal 9 anos	0,06
Eucalipto regenerado	0,03
Pinheiro regenerado	0,08
Pinhal queimado	2,2
Eucaliptal lavrado 2º ano	6,7
Eucaliptal lavrado 1º ano	51,4

Os dois casos que produzem taxas de erosão acima da sustentabilidade são o pinhal queimado, em que o valor encontrado foi de 2,23 ton/ha/ano, com a agravante de ser a camada de cinzas a contribuir para este fenómeno. Com efeito, nos cambisolos húmicos da Serra do Caramulo, o único armazém de nutrientes do solo é a camada de manta morta superficial, que se vê reduzida a cinzas durante o incêndio, sendo facilmente lavada do perfil do solo pela escorrência.

Na área de estudo é ainda muito frequente a preparação do solo antes da plantação (na área de estudo, invariavelmente de eucalipto). Por motivos que se ligam à facilidade de execução e logo aos custos, a lavragem faz-se no sentido do maior declive da vertente. Este facto, além das elevadas quantidades de escorrência, provoca taxas de erosão da ordem das 50 ton/ha/ano, durante o primeiro ano após a lavragem, reduzindo-se este valor para 6,7 ton/ha/ano no segundo ano.

Considerando que o normal, na área de estudo, é proceder a nova lavragem após a terceira ou quarta rotação (entre 30 a 50 anos), e partindo do pressuposto que após os dois primeiros anos a erosão será inferior

à taxa teórica de criação de solo (1 ton/ha/ano), então a técnica de manejo que consiste na lavragem segundo os maiores declives da vertente é manifestamente não sustentável. Torna-se por isso imperioso a adoção de novas técnicas de preparação do solo para a plantação.

4.4. Resposta hidroquímica

Ao nível hidroquímico (tabela 7), os povoamentos adultos possuem poucas perdas por escorrência, enquanto que, mercê das elevadas quantidades da escorrência nas plantações de eucaliptos, e da grande disponibilidade de iões por parte das cinzas após os incêndios, as perdas de nutrientes nos usos do solo recentemente alterados são bastante elevados.

Os povoamentos regenerados apresentam diferentes graus de recuperação, mais rápida no caso do eucaliptal do que no caso do pinhal.

Com efeito, enquanto que as perdas de solutos nas bacias hidrográficas testemunho são diminutas (com excepção da exportação, não explicada, de sulfatos na Falgorosa, que arrasta uma grande quantidade de catiões), as perdas são muito controladas, especialmente ao nível dos macronutrientes (compostos azotados, sulfatos e catiões, com especial relevo para o potássio). Das bacias regeneradas, a que apresenta as menores perdas é a da Sernadinha, que possui a regeneração mais rápida, seguida pela Barrosa, onde domina o pinhal regenerado, seguido a pouca distância pela bacia com largas áreas de plantações de eucalipto: a Serra de Cima.

Por fim, a bacia hidrográfica queimada em 1991, apresenta perdas elevadas, em resultado da lavagem, através dos processos hídricos dos solos, da camada de cinzas resultante da combustão da matéria orgânica aquando do incêndio. A estas perdas estão associadas,

Tabela 7 – Quantidade de solutos exportados a partir das bacias hidrográficas, dissolvidos no caudal (FERREIRA, 1996).

Bacia	Falgorosa	Bouça	Sernadinha	Serra de Cima	Barrosa	Lourizela
NO ₂ Kg/ha	0,002	0,001	0,002	0,006	0,005	0,019
NO ₃ kg/ha	0,009	0,01	0,005	0,05	0,033	2,5
SO ₄ kg/ha	15,1	0,003	0,064	0,47	0,24	13,2
Cl kg/ha	7,25	2,1	8,7	13,4	12,0	39,9
Ca kg/ha	0,82	0,27	1,1	1,18	1,5	6,5
Mg kg/ha	4,3	0,67	2,4	2,2	2,44	8,7
K kg/ha	0,067	0,08	0,38	0,37	0,33	3,1
Na Kg/ha	8,3	2,73	11,3	15,3	14,6	30,1

como referimos, as alterações na estrutura do solo, que originam grandes quantidades de escorrência (maiores nas áreas lavradas do que nas áreas queimadas, onde o aparecimento de locais hidrófilos com macroporos, permitem a infiltração da escorrência originada nos locais hidrófobos); e consequentemente maiores e mais rápidos picos de cheia (COELHO et al., 1997b).

4.5. O impacto dos usos florestais do solo sobre a disponibilidade de recursos hídricos

O consumo de água pelos diferentes usos florestais do solo típicos do norte e centro de Portugal possui uma importância acrescida face à tendência para aumentar a área florestal nacional. Por outro lado, as áreas florestais em Portugal sofrem alterações significativas, como o demonstram as rápidas alterações ocorridas na Serra do Caramulo, que em pouco mais de duas décadas passou de uma predominância de pinheiro para uma predominância de eucalipto, num processo que contou com o efeito catalisador dos incêndios florestais (FERREIRA, 1996).

As rápidas rotações associadas ao *Eucalyptus globulus* Labill. implicam uma completa mudança da paisagem em poucos anos, e consequentemente uma alteração importante dos processos hídricos, hidroquímicos e erosivos.

A média estimada com base nos dados do pluviómetro da Campia (1932-1993) é de 1925mm/ano. A partir destes dados estimou-se a precipitação média anual na área de estudo em 1803mm/ano (WALSH et al., 1995). Comparativamente o ano de 1989/90 regista uma quebra de 20% em relação a essa média. 1990/91 apresenta uma quantidade de precipitação 7% inferior à média, e 1991/92 foi um ano extremamente seco, com apenas 59% da precipitação média (FERREIRA et al., 1998).

Em anos com precipitação próxima do normal, o escoamento representa 25 a 35 % da precipitação em bacias com povoamentos adultos (tabela 8). Esse valor aumenta sensivelmente para as bacias com povoamentos regenerados, que, mercê da menor cobertura orgânica, apresenta uma evapotranspiração na ordem dos 60% da precipitação incidente. Por fim,

a bacia hidrográfica da Serra de Cima, que além de possuir povoamentos regenerados de pinheiro e eucalipto, possui uma extensa área de plantação de eucalipto, possui uma evapotranspiração inferior a 50%.

Tabela 8 - Variação da evapotranspiração e do caudal nas bacias hidrográficas estudadas (FERREIRA, 1996)

	Bouça Pinhal e Eucaliptal adultos			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1989-90	1361	325	1036	76,1
1990-91	1843	484	1359	73,7
1991-92	986	32	954	96,8
	Falgorosa Eucaliptal adulto			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1989-90	1259	283	976	77,5
1990-91	1607	568	1039	64,6
1991-92	879	37	842	95,8
	Barrosa Pinhal regenerado			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1989-90	1403	545	859	63,4
1990-91	1654	657	997	60,3
1991-92	1028	159	869	84,5
	Sernadinha Eucaliptal regenerado			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1989-90	1427	547	880	61,7
1990-91	1683	719	964	57,2
1991-92	1046	97	949	90,7
	Serra de Cima Área lavrada			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1989-90	1428	727	701	49,1
1990-91	1683	906	776	46,1
1991-92	1046	170	877	83,8
	Lourizela Área queimada			
	Prec. (mm)	Caudal (mm)	ET (mm)	ET (%)
1991-92	982	476	506	51,5

O ano hídrico de 1989/90 (tabela 8), apresentou uma queda de precipitação 20% inferior à média. Nas bacias hidrográficas com povoamentos adultos, a evapotranspiração registou valores entre os 75 e os 80% da precipitação incidente, enquanto que as bacias regeneradas, apesar do menor desenvolvimento vegetativo que apresentariam no ano seguinte (com precipitação próxima da média), apresentam maior evapotranspiração do que para o ano hidrográfico de 1990/91. Assim, a evapotranspiração foi de 63,4 % na Barrosa e 61,7% na Sernadinha. Por fim, a Serra de Cima, mercê das extensas áreas que tinham sido desprovidas de vegetação em consequência da lavragem, apresenta uma evapotranspiração inferior a 50%.

No ano mais seco, 1991/1992 (figura 7) em que a precipitação apresentou uma quebra de 40%,

a evapotranspiração ultrapassa os 95% nas bacias hidrográficas com povoamentos adultos.

As bacias que sofreram alterações no seu coberto, apresentam menores valores de evapotranspiração. A bacia hidrográfica queimada, escoou 47% da precipitação, apesar de quase não possuir vegetação viva à sua superfície no primeiro ano após o incêndio. As bacias com povoamentos regenerados apresentam valores de evapotranspiração entre os 84,5% da Barrosa e os 90,7% da Sernadinha, que por esta altura possuía muitos povoamentos de eucalipto regenerados com 5 anos de idade, apresentando um porte já próximo dos com 8 a 12 anos de idade⁽¹⁾. Por fim, mesmo a bacia hidrográfica da Serra de Cima apresenta valores de evapotranspiração elevados, com 83,8% da precipitação a serem evaporados do solo e da vegetação, e usados pelas plantas.

Conclusão

Comparando as duas espécies florestais estudadas, o *Pinus pinaster* Aiton e o *Eucalyptus globulus* Labill., verificamos que tanto ao nível da hidrologia como da hidroquímica, como das perdas de solo ao nível das vertentes, as diferenças entre os povoamentos adultos das duas espécies é negligenciável quando comparados com as alterações produzidas por dois tipos de fenómenos de frequente ocorrência no norte e centro do país: os incêndios florestais e a lavragem segundo os maiores declives das vertentes.

Ao nível da copa, embora o pinheiro apresente uma menor área de céu coberta, as suas agulhas possuem uma maior eficácia na interceptação, pelo que as quantidades de água que se perdem por evaporação a partir da copa são muito semelhantes para os povoamentos estudados.

A lavragem gera grandes quantidades de escorrência, produzindo formas microtopográficas que se mantêm por mais de uma década e condicionam os fluxos de água no solo. No primeiro ano após a lavragem, as perdas de solos são superiores a 50 ton/ha/ano, um valor manifestamente não sustentável, especialmente se as intervenções deste tipo se sucederem após 3 a 4 rotações, como hoje acontece, com o objectivo de melhorar a produtividade dos povoamentos.

Os incêndios provocam a perda de quantidades elevadas de água e de nutrientes, uma boa parte dos quais provenientes das cinzas. A baixa quantidade de escorrência, resulta da existência de macroporos em resultado da incineração dos sistemas radiculares, por onde a água produzida nas áreas hidrófobas se pode escoar. Deste modo, embora a escorrência seja

(1) Na área de estudo os eucaliptos são cortados a revoluções de 8 a 12 anos, pelo que os povoamentos adultos de *Eucalyptus globulus* Labill. não atingem idades superiores a estas.

pouco superior a 10% da precipitação incidente, o escoamento é superior a 48% da precipitação incidente. Além dos fluxos através dos macroporos e da escorrência, a não existência de transpiração contribuem para explicar estes valores.

Mesmo 6 anos após o incêndio os povoamentos ainda não se encontram totalmente recuperados, quanto à hidrologia. Os valores da escorrência e do escoamento são manifestamente superiores aos dos povoamentos adultos. No entanto o eucalipto regista uma recuperação mais rápida.

Quanto às alterações provocadas pela variabilidade anual da precipitação, uma redução de 40% na quantidade de precipitação, resulta numa quebra de 93% no escoamento das bacias hidrográficas com povoamentos adultos.

Agradecimentos

Este trabalho contou com a contribuição dos projectos Praxis XXI: "Do *Eucalyptus globulus* ao papel. Estudo de LCA (Life Cycle Assessment)". Ref. 3/3.2/Papel/2323/95, e Praxis XXI: "Interação Floresta-Ambiente em ecossistemas sujeitos a perturbações naturais e/ou antropogénicas em regiões de transição Atlântico-Mediterrânica". Ref.3/3.2/Flor/2130/95.

À Prof. Dra. Celeste O.A. Coelho, pelo incentivo e orientação durante a realização da tese de Doutoramento, e pelas pertinentes sugestões a este trabalho.

Aos Prof. Dr. Rory P.D. Walsh e Richard A. Shakesby, pelas discussões científicas e companheirismo demonstrados no trabalho de campo e no País de Gales.

Ao Sr. António Ventura Ferreira e à Dra. Vitoriana Ferreira pelo seu auxílio nos trabalhos de campo, e ao Sr. José Pereira, pelas oportunas sugestões no desenho e pela construção de muito do equipamento instalado no campo.

Bibliografia

ALMEIDA, A.M. (1928) – "Portugal florestal", *Separata do Boletim do Ministério da Agricultura*, Lisboa, X, nº 8, 16p.

COELHO, C.O.A., FERREIRA, A.J.D., WALSH, R.P.D. e SHAKESBY, R.A. (1997a) – "Hydrological and erosional impacts of forest land use changes in the north and center of Portugal". in: MACHADO, J.R. e AHERN, J. *Environmental challenges in an Expanding Urban World and the role of emerging information technologies*, CNIG, p. 93-101.

COELHO, C.O.A., FERREIRA, A.J.D., WALSH, R.P.D. e SHAKESBY, R.A. (1997) – "Hydrological responses to forest land use in the central Portuguese coastal mountains". *European Conference on Environmental and Societal Changes in Mountain Regions*. Oxford 18-20 Dezembro 1997.

COELHO, C.O.A., SHAKESBY, R.A. e WALSH, R.P.D. (1995) – *Effects of forest fires and post-fire land management practice on soil erosion and stream dynamics. Águeda basin, Portugal*. Directorate General for Science, Research and Development. European Commission, Environment and Research Programme, Soil and Groundwater Research Report V, EUR 15689 EN, 91 p.

Direcção Geral das Florestas (1989). Inventário Florestal Nacional. Áreas florestais por distrito. *Estudos e Informação*, nº 299.

FERREIRA, A.J.D. (1996) - *Processos hídricos e hidro-químicos em povoamentos de Eucalyptus globulus Labill. e Pinus pinaster Aiton*. Tese de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Universidade de Aveiro, 418 p.

FERREIRA, A.J.D., COELHO, C.O.A. e TAMMINGA, K.Y. (1996) - "Erosão química em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton após incêndios". *V Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, I, p. 473-479.

FERREIRA, A.J.D., COELHO, C.O.A., GONÇALVES, A.J.B., SHAKESBY, R.A. e WALSH, R.P.D. (1998) - "Impact of climatic change on slope and catchment hydrology in forest areas, Central Portugal". *Geokodynamic*, Volume/Band 19, Heft 3/4, p. 165-178.

FERREIRA, A.J.D., COELHO, C.O.A., SHAKESBY, R.A. e WALSH, R.P.D. (1997) – "Sediment and solute yield in forest ecosystems affected by fire and rip-ploughing techniques, central Portugal: a plot and catchment analysis approach". *Phys. Chem. Earth*, 22, 3-4, p. 309-314.

GASH, J.H.C. (1979) – "An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J.R. Met. Soc.*, 105, p. 43-55.

LEYTON, L.; REYNOLDS, E.R.C. e THOMPSON, F.B. (1967) – "Rainfall interception in forest and moorland". in: W.E. SOPPER e H.W. LULL (eds), *Forest Hydrology*. Pergamon, Oxford, p. 163-178.

MADEIRA, M.A..V. (1986a) – *Influência dos povoamentos de Eucalipto (Eucalyptus globulus Labill.) no solo, comparativamente aos povoamentos de sobreiro (Quercus suber L.) e de Pinheiro (Pinus pinaster Ait.)*. Tese de Doutoramento, ISA, UTL.

Projecto Florestal Português (1982) - *Estratégia para o desenvolvimento do sub-sector florestal*. Relatório da FAO, Lisboa, 209 p. dactilografado.

SHAKESBY, R.A., BOAKES, D.J., COELHO, C.O.A., GONÇALVES, A.J.B. e WALSH, R.P.D. (1996) – "Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal: a comparison of alternative post-fire management practices". *Applied Geography*, 16, p. 337-355.

SMITH, D.I. e STOPP, P. (1978) – "The river basin, an introduction to the study of hydrology". *Cambridge topics in Geography Series*, Cambridge University Press, 120 p.

SOARES, J. (1993) – "Balanço da florestação em Portugal. Últimas cinco décadas". *Sociedade e Território*, 19, p. 29-32.

WALSH, R.P.D., BOAKES, D.J., COELHO, C.O.A., FERREIRA, A.J.D., SHAKESBY, R.A. e THOMAS, A.D. (1995) – "Post-fire land management and runoff responses to rainstorms in Portugal", in MCGREGOR, D.F.M. e THOMPSON, D. (Eds), *Geomorphology and land management in a changing environment*, Wiley, Chichester, p. 283-308.