



Ana Catarina da Silva  
Gomes

Risco de erosão numa área florestal ardida no  
Centro de Portugal





**Ana Catarina da Silva  
Gomes**

**Risco de erosão numa área florestal ardida no  
Centro de Portugal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica de Jan Jacob Keizer, Ph.D., e co-orientação de Doutor João Pedro Nunes, investigadores do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Tese desenvolvida no âmbito dos projeto EROSFIRE-II (PTDC/AGR-CFL/70968/2006), com apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) e com co-financiamento pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE – Programa Operacional Fatores de Competitividade (POFC).

Aos meus pais, irmão e namorado por todo o apoio e por me fazerem lutar sempre.

A todos os que passaram na minha vida ao longo de todo o meu percurso académico que de alguma forma contribuíram para eu chegar ao fim desta caminhada.

o júri

presidente

**Prof. Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho**

Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor António José Dinis Ferreira**

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas e do Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra

**Doutor Jan Jacob Keizer**

Investigador Auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Orientador)

**Doutor João Pedro Carvalho Nunes**

Estagiário de Pós-Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Co-orientador)

## **agradecimentos**

A realização desta dissertação só foi possível graças à colaboração e ao contributo de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de expressar o meu agradecimento e profundo reconhecimento.

Ao meu orientador Jacob Keizer, pela disponibilidade para orientar este trabalho, pela sua compreensão em alguns momentos mais difíceis que houve neste percurso e, pela cordialidade e simpatia demonstradas.

Ao meu co-orientador João Pedro Nunes, que estava sempre disponível para qualquer dúvida.

Aos funcionários do Laboratório de solos da ESAC, por permitirem o uso do mesmo.

Aos meus pais, irmão e ao Ricardo que sempre me apoiaram ao longo de todos estes anos dando-me forças para nunca desistir. Obrigada pelo vosso amor, alegria e atenção sem reservas.

E por último, mas em especial, à Diana que esteve sempre ao meu lado nesta caminhada, pelo tempo despendido e por estares sempre lá quando precisava.

A todos o meu apreço e gratidão. Obrigada.

**palavras-chave**

Fogos florestais; escorrência; erosão do solo; modelação.

**resumo**

Nas últimas décadas, os fogos florestais têm sido a maior ameaça para a floresta mediterrânea e portuguesa, e apresentam ainda uma tendência para aumentar em frequência e severidade. Os inúmeros fogos florestais que ocorrem todos os anos em Portugal representam um risco elevado para o aumento do escoamento superficial e da erosão nas áreas ardidas e, ainda, nas zonas aquáticas a jusante.

Esta dissertação tem como principal objetivo o estudo de fenómenos de erosão hídrica à micro-escala e à escala de encosta, três anos após um incêndio ocorrido em Agosto de 2008. A área de estudo pertence à localidade de Colmeal (distrito de Coimbra) e incide em quatro encostas com usos de solo distintos: Pinhal e Eucaliptal não lavrados e dois Eucaliptais lavrados em diferentes sentidos de encosta (maior declive e curvas de nível). Para modelar o risco de erosão do solo foi selecionado o modelo Morgan-Morgan-Finney (MMF), que foi desenvolvido para prever as perdas anuais de solo. Pretende-se então estudar a eficácia do MMF para prever a erosão durante o terceiro ano após um incêndio florestal.

As observações mostraram que a erosão é superior à escala das micro-parcelas que à escala de encosta, i.e., a erosão média à micro-escala foi cerca de 10x superior à observada à escala de encosta. Esta diminuição de erosão com o aumento da escala pode ser explicada por um maior tempo de contacto, permitindo uma maior (re-) infiltração de escorrência superficial. À microescala foi a parcela ELH que mais se destacou em termos de taxa de erosão. Esta obteve uma erosão de  $144,72\text{g.m}^{-2}$ , cerca de 4x superior que a parcela mais baixa (ENL), com  $31,91\text{g.m}^{-2}$ . À escala de encosta, a mesma parcela (ELH), foi quem obteve menor taxa de erosão ( $2,47\text{g.m}^{-2}$ ), e a parcela com maior erosão obteve uma taxa cerca de 5x superior ( $12,18\text{g.m}^{-2}$ ), (PNL).

Observaram-se falhas no modelo pois sobrestimou os resultados medidos, i.e., os resultados estimados foram muito superiores aos medidos para a escala de encosta. Este fato pode ser justificado pela não calibração do modelo a esta área de estudo.

**keywords**

Forest fires, runoff, soil erosion, modelling.

**abstract**

In recent decades, forest fires have been the biggest threat to Mediterranean and Portuguese forest, and still have a tendency to increase in frequency and severity, and still have a tendency to increase. The numerous forest fires that occur every year in Portugal represent a high risk to increase runoff and erosion in burned areas, and also downstream aquatic areas.

The aim object of this thesis was the study of the phenomena of erosion to the micro and slope scale, three years after a fire that occurred in August 2008. The study area belongs to Colmeal (district of Coimbra), and focuses on four slopes (one Pine and three Eucalyptus) with different forest management (not plowed and vertical and higher slope and contour lines). To model the risk of erosion was selected the Morgan-Morgan-Finney model (MMF), developed to predict annual soil losses. The aim is study the efficacy of the model to predict erosion during the third year after a forest fire.

The observations show that the erosion rates are bigger in microscale than slope scale, i.e., the erosion in microscale was 10xhigher than the erosion observed at the scale of slope. This reduction can be explained for longer periods of contact, allowing a bigger (re-)infiltration of runoff. In microscale was the ELH parcel that stood out in terms of rate erosion. This parcel got an erosion of  $144,72\text{g.m}^{-2}$ , 4xhigher than the lower parcel with  $31,91\text{g.m}^{-2}$  (ENL). Perhaps, in slope scale, the same parcel got a lower erosion rate ( $2,47\text{g.m}^{-2}$ ), and the parcel PNL, with higher erosion rate, obtained an erosion about 5xhigher ( $12,18\text{g.m}^{-2}$ ).

Observed with the application of the model, that this overestimated the erosion rates, i.e., the estimated erosion rates is greater than the field measurement. This fact can be justified by not calibrating the model to this area of study.



# Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	ii
Índice de Tabelas .....	iii
<b>Capítulo 1 – Introdução Geral .....</b>	<b>1</b>
1.1 Os Fogos Florestais em Portugal e no Mediterrâneo .....	1
1.2 Os efeitos dos incêndios florestais.....	3
1.3 Erosão do solo.....	4
1.4 Objetivos e estrutura da tese .....	6
<b>Capítulo 2 – Risco de Erosão numa área florestal ardida no centro de Portugal ..</b>	<b>9</b>
Resumo .....	9
Abstract .....	11
2.1 Introdução .....	12
2.2 Materiais e Métodos .....	14
2.2.1 Área de estudo .....	14
2.2.2 Caracterização das parcelas (desenho experimental) .....	16
2.2.3 Recolha de amostras e monitorização de campo .....	17
2.2.4 Análises laboratoriais.....	18
2.3 Modelação de Erosão (modelo Morgan-Morgan-Finney) .....	18
2.3.1 Descrição do modelo .....	18
2.3.2 Dados de entrada .....	20
2.3.3 Dados de saída .....	20
2.4 Resultados e Discussão .....	21
2.4.1 Totais de Precipitação .....	21
2.4.2 Totais de Escorrência e Erosão .....	22
2.4.3 Variação temporal e espacial da Precipitação com a Escorrência .....	23
2.4.4 Variabilidade espaço-temporal da Perda de sedimentos .....	30
2.4.5 Comparação com outros estudos .....	34
2.4.6 Modelação MMF .....	36
2.5 Conclusões.....	44
<b>Capítulo 3 – Considerações Finais .....</b>	<b>47</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>48</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Localização geográfica do local de estudo relativamente ao distrito, concelho e freguesia.....	14
Figura 2 – Localização das encostas de estudo na bacia central.....	15
Figura 3 – (a) Parcelas à escala de encosta, (b) Parcelas à microescala. ....	16
Figura 4 – (a) Pluviómetro totalizador e automático, (b) Grelha de descrição do coberto numa microparcela. ....	17
Figura 5 – Variação da precipitação semanal total durante o período de amostragem. ...	21
Figura 6 – Variabilidade temporal dos valores de escorrência e coeficiente de escorrência em todas as parcelas da microescala e da escala de encosta em todo o período de amostragem.....	27
Figura 7 – Correlação linear entre a precipitação (mm) e escorrência (mm) para ambas as escalas das quatro encostas.....	28
Figura 8 – Correlação linear da escorrência nas encostas não lavradas à microescala e à escala de encosta.....	29
Figura 9 – Correlação linear da escorrência nas encostas lavradas à escala de encosta e à microescala.....	30
Figura 10 – Perda de sedimentos às duas escalas em todas as encostas.....	31
Figura 11 – Taxa de Erosão vs. Escorrência nas duas escalas para as quatro encostas.....	34
Figura 12 – Taxas de erosão ( $\text{g.m}^{-2}$ ) medidas vs previstas. ....	39
Figura 13 – Taxas de erosão com origem nas medições de campo vs determinadas pelo modelo MMF nas duas escalas para todas as parcelas.....	39
Figura 14 – Correlação das perdas de solo estimadas com as perdas de solo medidas. ....	41

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Designação das áreas de estudo .....	15
Tabela 2 – Parâmetros de entrada do modelo revisto MMF (Adaptado de Morgan 2001)	19
Tabela 3 – Totais anuais de Escorrência e respetivo coeficiente no terceiro ano após fogo. (valores médios, n=4) .....	22
Tabela 4 – Totais anuais de taxa de erosão de estudos realizados para a área de estudo .....	23
Tabela 5 – Taxas de erosão obtidas nas duas escalas para todas as parcelas. ....	33
Tabela 6 – Valores de entrada no modelo para as quatro encostas.....	37
Tabela 7 – Valores medidos e modelados das taxas de erosão anuais paras as quatro encostas. ....	38
Tabela 8 – Valores medidos e modelados das taxas de erosão anuais paras as quatro encostas. ....	40
Tabela 9 – Valores de Eficiência e correlação. ....	41
Tabela 10 – Resultados medidos e previstos segundo o MMF por outros autores.....	43



# Capítulo 1 – Introdução Geral

## 1.1 Os Fogos Florestais em Portugal e no Mediterrâneo

Cerca de 38% do país é ocupado por floresta (IFN, 2005/06) e, comparando com os inventários florestais anteriores, apresenta uma tendência para aumentar (Pereira et al. 2007; Radich e Alves, 2000). Em Portugal, num ano médio, ardem cerca de 100.00ha de área florestal. Em 2010, cerca 133.090ha de área florestal foi consumida pelo fogo, o que representa um acréscimo relativamente à média do decénio (DUDF, 2010).

O fogo sempre fez parte da história dos ecossistemas florestais da região mediterrânica. De tal forma que modelou a vegetação nativa e favoreceu espécies adaptadas ao mesmo. No entanto, nos últimos anos esta região tem sido alvo de inúmeros incêndios. É aqui que se registam o maior número de incêndios e as maiores extensões de área ardida comparando com as outras regiões do globo (Vélez, 2006). Este cenário é idêntico se nos focarmos em Portugal, sendo o país da Europa mediterrânica mais afetado pelos incêndios florestais.

Tem sido dado uma elevada relevância aos fogos florestais uma vez que a severidade do fogo tem vindo a aumentar e tornou-se a ameaça natural mais importante que afeta as florestas da bacia mediterrânica, destruindo mais árvores do que qualquer outra calamidade natural (Alexandrian et al., 1999). O número elevado de incêndios florestais em Portugal deve-se essencialmente ao seu clima mediterrânico. Este caracteriza-se pela elevada precipitação no Inverno, que permite o crescimento da biomassa combustível, e por possuir um Verão longo, quente e seco. O facto da estação quente coincidir com o período mais seco do ano torna propícia a ocorrência do incêndio dado o estado de secura da vegetação (Catry et al., 2007). Para agravar a situação, o cenário das alterações climáticas indica esta região como uma das mais vulneráveis prevendo ainda um aumento substancial do risco meteorológico de incêndio (Santos e Miranda, 2006).

A floresta portuguesa, atualmente, representa-se essencialmente por pinheiros, eucaliptos e sobreiros, sendo que as espécies mais abundantes são Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), o Eucalipto glóbulo (*Eucalyptus globulus*) e o Sobreiro (*Quercus suber*) (Ferreira et al., 2005). De acordo com a Autoridade Florestal Nacional (afn.min-agricultura), o pinheiro bravo, o eucalipto e os carvalhos são as espécies mais afetadas pelos incêndios. O Pinheiro bravo começou a ser explorado para diversos tipos de construção, mas foi no século passado que expandiu sobretudo devido à iniciativa dos proprietários particulares, sendo hoje a principal espécie produtora de madeira do país (Fabião, 1996). O Eucalipto é uma espécie introduzida que se adaptou com grande facilidade às nossas condições edafo-climáticas. Inicialmente foi considerada uma espécie promissora pelo seu rápido crescimento e pelas suas características medicinais, mas revelou ser um problema devido ao seu comportamento invasor. No entanto, hoje em dia é importante para a economia nacional sendo explorada pelas indústrias de pasta de papel dada a qualidade das suas fibras (Silva, 2009). Valette (1990) estudou a inflamabilidade destas e outras espécies mediterrânicas, através de um índice de inflamabilidade, numa escala de 0 a 5 (pouco inflamável e extremamente inflamável). Determinou que, de acordo com os tecidos de cada espécie, os eucaliptos são extremamente inflamáveis (nota 5), seguindo-se as espécies de carvalho como bastante a extremamente inflamáveis (nota 4-5) e os pinheiros como moderadamente inflamáveis a inflamáveis (nota 2-3). No último inventário florestal realizado o Pinheiro bravo foi a espécie que registou maior área ardida, seguindo-se o Eucalipto. Algumas espécies, como o Pinheiro bravo, sugerem uma evolução com o fogo devido ao seu comportamento face ao mesmo e, entre outros aspetos, as suas pinhas abrem por ação do calor (Silva, 2009).

As causas diretas dos incêndios florestais são muito diversas. Têm origem humana, quer por negligência e acidente (queimadas, queima de lixos, lançamento de foguetes, cigarros mal apagados, linhas elétricas, etc.), quer intencionalmente. Os incêndios de causas naturais (ex: trovoadas) correspondem a uma pequena percentagem do número total de ocorrências. Ao contrário das outras regiões do globo onde uma grande percentagem de fogos é de origem natural, na bacia mediterrânica sobressaem os fogos de origem humana. Aqui as

causas naturais representam apenas uma pequena fatia do total de fogos (Alexandrian et al., 1999). Estes dados são válidos também para Portugal como se verificou em Pereira et al. (2006), entre 2001 e 2004 sendo as causas mais comuns registadas no país o incendiário e o uso do fogo. Causas acidentais, estruturais e naturais tiveram pouca representatividade para os mesmos anos.

## **1.2 Os efeitos dos incêndios florestais**

Reinhardt *et al.* (2001), afirmam que os efeitos dos incêndios podem ser classificados em: efeitos de primeira ordem e de segunda ordem. Os de primeira ordem ocorrem durante o fogo e nos momentos após o mesmo, sendo o resultado direto do processo de combustão, enquanto que os efeitos de segunda ordem ocorrem durante um longo período de tempo. Os efeitos de 1ª ordem são mais fáceis de modelar porque são imediatos, enquanto que os de 2ª ordem são mais morosos e têm em conta outros processos.

Segundo Chang (2002), os fogos florestais podem reduzir significativamente as taxas de interceção, de transpiração e de infiltração, aumentando a escorrência da precipitação e a perda de nutrientes. Os principais efeitos resultantes da ocorrência dos incêndios florestais são o consumo de combustível, produção e dispersão de fumo, mortalidade das plantas, aquecimento do solo, erosão, reciclagem de nutrientes e sucessão vegetativa (Reinhardt *et al.*, 2001).

Vários autores, como Emmerich (1998) e Spencer et al. (2003), relatam que o grau de impacto também depende da composição das espécies, da textura do solo, da estação do ano, das condições climáticas, da localização geográfica, da intensidade do incêndio e da distribuição do fogo dentro da bacia hidrográfica. De acordo com Shakesby & Doerr (2006), os principais impactos hidrológicos e geomorfológicos dos fogos florestais dependem da sua frequência e severidade. Quanto ao fator frequência, este varia muito entre os tipos de vegetação existentes e o clima. No que se refere à severidade, esta depende das interações

entre o fogo, especialmente a sua duração e intensidade, e as características da biomassa, do solo, do terreno e das condições climáticas do local.

### **1.3 Erosão do solo**

Portugal é um dos países europeus mais susceptíveis aos processos de desertificação física dos solos. Cerca de 68% dos solos nacionais estão ameaçados pela erosão e 30% encontram-se em processo acelerado de desertificação (Júnior, 2010)

O fenómeno de erosão refere-se ao movimento e arraste de partículas do solo pela água ou pelo vento, e tem muitas repercussões que vão afetar os horizontes superficiais mais produtivos do solo (zonas de erosão) e causar problemas nos rios e estruturas hidráulicas, vias de comunicação, etc. Para tentar resolver os problemas criados pelo fenómeno da erosão é necessário, em primeiro lugar, conhecer a origem ou a causa inicial dos mesmos, e também a sua magnitude e importância que justifique a realização de atividades direcionadas para a sua correção.

A erosão é consequência de uma série de processos e fatores que variam ao longo do tempo e do espaço, podendo-se destacar entre eles de forma evidente o clima, o solo, o relevo e a vegetação. O clima é o fator que inevitavelmente determina as grandes diferenças de erosão entre umas regiões geográficas e outras, através de um efeito direto no regime de precipitações e um efeito indireto sobre a cobertura vegetal. O clima, pela ação que exerce no regime de humidade e temperatura do solo, bem como na recuperação da vegetação após um incêndio, é um fator de elevada importância ao nível dos fenómenos de erosão. A sua importância assenta também no facto de ser a precipitação o responsável direto da erosão hídrica (Fernandes et al., 2010).

De acordo com Shakesby & Doerr (2006), a erosão, quando provocada pela ação da água, começa com o desprendimento de partículas do solo ou de pequenos aglomerados provenientes da superfície do solo. Uma vez desprendidas, as partículas são transportadas pela enxurrada, devido à

escorrência das chuvas, processo que é influenciado pelas propriedades do solo, pela topografia e pelas condições da superfície. Quando a capacidade do volume de sedimentos transportados é menor do que o peso das partículas do solo, verifica-se então que ocorre deposição destes. Deste modo, a erosão provocada pela água engloba três passos no seu processo: o desprendimento, o transporte e, por fim, a deposição. Durante uma única tempestade, uma partícula do solo pode chegar rapidamente a um curso de água, ou, por outro lado, pode levar anos, décadas ou até mesmo séculos a atingir o mesmo curso de água. A vegetação é um elemento que protege o solo, como agente passivo da erosão, frente ao agente ativo que são a precipitação e a escorrência. A influência da vegetação depende fundamentalmente da percentagem de cobertura que oferece a nível das copas, segundo a sua altura média e a nível do próprio solo, que lhes oferece maior proteção. Os mesmos autores ainda afirmam que, a consequente redução de vegetação das florestas deixa o solo propício ao impacto das gotas da chuva, reduzindo assim as oportunidades de armazenamento de água, de modo que a erosão por via do fluxo terrestre tende a ocorrer mais depressa. A destruição da camada orgânica expõe o solo, provocando modificações nas suas propriedades físicas (principalmente porosidade e permeabilidade), favorecendo o aparecimento da erosão dos solos. Consideram também, que estes efeitos estão relacionados com a severidade dos incêndios, uma vez que refletem a quantidade de solo destruído, afetando importantes propriedades deste, tais como a sua estabilidade de agregação e a repelência da água. Referem ainda que, após um incêndio florestal, há geralmente um grande fornecimento de cinzas e de carvão vegetal na superfície do solo que levam à sua erosão.

Johnson et al. (2007) referem no seu estudo que os primeiros eventos de chuva que ocorrem após o incêndio resultam numa visível enxurrada e consequente erosão, contribuindo, indubitavelmente, na “exportação” de alguns dos nutrientes do solo das florestas e, eventualmente, também na superfície do solo. Os fogos reduzem de forma drástica a cobertura vegetal e afetam quer os povoamentos quer os matos. Desta forma, as taxas de erosão após o fogo aumentam substancialmente e comprometem a reserva edáfica, essencial à recuperação da cobertura vegetal.

Com a finalidade de estudarem uma forma de limitarem a erosão do solo, os autores Coelho et al. (1991) e Shakesby et al. (1996) referem que, após um incêndio numa área de eucaliptos, a colocação de restos de madeira e de vegetação (folhas de eucalipto), pode ajudar muito na proteção do solo. Shakesby et al. (1996) observaram que a aplicação destes restos levou à uma redução de perda de solo até 95%.

O controle da erosão é fundamental para a preservação do meio ambiente, pois o processo erosivo faz com que o solo perca as suas capacidades e propriedades nutritivas, impossibilitando o crescimento da vegetação no terreno atingido e causando sérios desequilíbrios ecológicos. A prevenção da erosão do solo requer a utilização de um conjunto de práticas capazes de impedir a perda da camada superficial do solo, que é a mais fértil. Para além disso, durante o processo de erosão há um arrastamento de elementos, verificando-se não só uma perda quantitativa do solo, mas também uma diminuição da qualidade do solo.

As áreas com riscos de erosão são zonas onde se verificam declives bastante acentuados (superiores a 16%), sendo necessário mantê-los revestidos com vegetação, com a intenção de evitar o escoamento das águas, garantir a sua estabilidade e diminuir os riscos de erosão. É importante ter em conta os diferentes estratos da vegetação, cumprindo assim a sua função de proteção do solo sujeito à erosão. O controlo da erosão é essencial para o uso sustentado da terra. As estratégias para impedir a degradação do solo e promover a sua recuperação passam pelo reforço de matéria orgânica do solo, ao melhoramento da estrutura do solo, ao acréscimo das reservas de nutrientes, da biodiversidade da vegetação e do solo.

## **1.4 Objetivos e estrutura da tese**

O presente estudo tem como principal objetivo uma melhor compreensão dos efeitos dos incêndios florestais na resposta hidrológica e de erosão à micro-escala e à escala de encosta, em diferentes usos de solo (Pinhal e Eucaliptal), tendo como base o terceiro ano após fogo.

Os objetivos específicos são:

- Analisar os dados de escorrência e erosão obtidos em dois usos do solo distintos (Pinhal e Eucaliptal), segundo três tipos de gestão florestal: não lavrado, lavrado vertical (maior declive) e lavrado horizontal (curvas de nível);
- Comparar as respostas hidrológicas e erosivas a duas escalas espaciais: microescala e escala de encosta;
- Aplicar e avaliar o modelo Morgan – Morgan – Finney (MMF) para modelação da erosão durante o terceiro ano após fogo.

Este estudo insere-se no âmbito do projeto “EROSFIRE”II (Ferramenta de apoio na decisão para identificação, com base em modelação, do risco de erosão do solo após incêndios florestais; POCI/AGR/60354/2004). Este Projeto, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do programa nacional de apoio a projetos de I&D (Investigação e Desenvolvimento), foi criado para responder às necessidades ao nível da predição do risco de erosão, através do desenvolvimento de uma ferramenta de modelação para identificação das áreas com maior risco de erosão hídrica após incêndios, e na sequência das práticas florestais posteriores (Malvar et al., 2011).

A presente dissertação encontra-se dividida em três capítulos. No primeiro capítulo (Introdução geral) é feita a apresentação do tema da dissertação e dos objetivos do trabalho. No segundo capítulo, redigido em formato de artigo, é apresentada uma breve descrição do tema, a caracterização da área em estudo, a metodologia adotada para atingir os objetivos propostos, nomeadamente no que respeita à metodologia de campo (recolha de análises e monitorização de parâmetros físicos do solo), e de laboratório (determinação de sedimentos.). Neste capítulo é ainda realizada a discussão e conclusão dos resultados obtidos. Por fim, apresentam-se as considerações finais do trabalho desenvolvido e enumeram-se as referências bibliográficas utilizadas neste documento.



## Capítulo 2 – Risco de Erosão numa área florestal ardida no centro de Portugal

Gomes A.C.S. \*, Vieira D.C.S. \*\*, Nunes J.P.C.\*\*, Keizer J.J. \*\*

\* Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

\*\* Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

### Resumo

Nos últimos anos, os fogos florestais têm sido a maior ameaça da floresta mediterrânea e portuguesa e a sua severidade tende a aumentar. Portugal, devido a características como a aridez dos solos e precipitação irregular e intensa, encontra-se inserido no contexto da problemática da degradação dos solos, dado o elevado risco de incêndio associado aos países do Mediterrâneo. Dado os inúmeros fogos florestais que Portugal sofre todos os anos, a floresta portuguesa tem-se deparado com elevados problemas no aumento da escorrência superficial e da erosão.

O presente estudo, está inserido no projeto EROSFIRE II e apresenta resultados de monitorização de escorrência e erosão do solo três anos após um incêndio, numa bacia do centro de Portugal, com uma área ardida de aproximadamente 70ha. Para este estudo foram selecionadas quatro encostas com diferentes usos e gestão florestal, avaliados a duas escalas espaciais: microescala (0,25-0,50m<sup>2</sup>) e escala de encosta (100-150m<sup>2</sup>). Em cada escala foram instaladas quatro parcelas para recolha de escorrência.

Os resultados indicam maior valor de escorrência e taxa de erosão à escala das microparcels. Estas parcelas apresentaram em média um coeficiente de escorrência de 38% e, à escala de encosta 2.8%. Em termos de erosão, também foi verificado maior taxa nas microparcels, com uma média de 78,15g.m<sup>-2</sup> e apenas 7,11g.m<sup>-2</sup> à escala de encosta. Em ambas as escalas o uso do solo

Pinhal apresentou maior risco de erosão (pouca profundidade e fácil saturação). Em termos de lavragem, constatou-se que esta (realizada antes do fogo) pode ter impacto na resposta hidrológica pois apresenta valores superiores quando comparamos com parcelas não lavradas. Ao longo do tempo, e como foi observado por outros autores, existe uma diminuição das taxas de escorrência e erosão com o aumento da escala, resultado de maiores interferências, maior tempo de contacto e perda de escorrência. Em comparação com estudos feitos para a mesma área, os encontrados neste estudo (3ºano) são superiores.

Em termos de modelação os resultados obtidos sobrestimam o modelo o que indica que a sua aplicação sem calibração não é a mais indicada. No entanto, assim como nos resultados de campo o modelo também indica que a parcela de Pinhal é a que apresenta maior risco de erosão. Assim, e visto que o modelo teve sucesso em outros estudos, propõem-se uma nova parametrização e calibração a esta área de estudo.

**Palavras-chave:** uso do solo, gestão florestal, escorrência, erosão do solo, incêndios florestais, modelação.

## Abstract

In the past years, forest fires were the major threat to the Mediterranean and Portuguese forest, and its severity tends to increase. Portugal, due characteristics like the aridity of soil and irregular and intense rainfall, is included in the context of soil degradation, given the high risk of fire associated to Mediterranean countries.

This study is part of the project EROSFIRE II and presents the results from monitoring of runoff and soil erosion, three years after a fire, in a basin of central Portugal, with a burnt area of approximately 70ha. For this study were selected four slopes with different uses and forest management. These slopes are evaluated at two spatial scales: microscale (0,25-0,50m<sup>2</sup>) and slope scale (100-150m<sup>2</sup>). To collect runoff, were installed four plots on each side.

The results indicate higher rates of runoff and erosion on the scale of microplots. These plots had an average runoff coefficient of 38% and slope scale only 2.8%. In terms of erosion, the microplots obtained an average of 78.15g.m<sup>-2</sup> and slope scale only 7.11g.m<sup>-2</sup>. In both scales, Pine had a higher risk of erosion (litter depth and easy saturation). In terms of tillage (made before the fire), this may have impact on the hydrological response because the parcels with tillage has higher values compared with non-tilled plots. Over time, observed by other authors, there was a decreased on runoff and erosion rates, with the increasing of scale, as a result of increased interference, contact time and loss of seepage. In comparison to studies done for the same area, the results found for the third year are ore higher.

In terms of modelling the results overestimate the runoff and erosion rates that indicates that your application without calibration in not the most appropriate. However, also the model indicates the Pine plot with increased risk of erosion. Thus, once the model has been successful in other studies, we propose a new parameterization and calibration of this study area.

**Keywords:** soil use, forest management, runoff, soil erosion, wildfires, modeling.

## 2.1 Introdução

Na última década, os incêndios florestais em todo o mundo continuaram a aumentar de tamanho e de gravidade. As principais preocupações após os incêndios florestais são o aumento da escorrência e erosão devido à perda da camada protetora da floresta, da perda de armazenamento de água, e de condições de repelência de água ao solo (Robichaud, et al, 2011)

O solo é um recurso natural não renovável à escala da vida humana, e como tal, indispensável a sua conservação. A degradação do solo está relacionada com qualquer modificação dos seus constituintes, propriedades ou comportamento que conduza a alterações de sentido negativo das suas funções nos ecossistemas. Como as funções do solo dizem respeito à sua capacidade para sustentar a vida vegetal, as alterações de sentido negativo nessas funções são as que afetam as condições do meio físico e do ambiente químico e nutritivo que as plantas encontram no solo (Ramos, 2008).

Uma das formas de degradação do solo é a erosão hídrica e a chuva é um dos elementos de clima que mais contribui para essa degradação. A erosão hídrica está associada à perda de solo por efeito da água da precipitação e do escoamento superficial, representando a velocidade do impacto das gotas da chuva, um fator determinante nesse processo. A erosão hídrica apresenta uma estreita ligação com o problema da desertificação, na medida em que a redução da espessura do solo, a perda de nutrientes, entre outros fatores leva à perda de vegetação e causa problemas a jusante como eutrofização, assoreamento das albufeiras e dos leitos dos rios (Morgan & Rickson, 1995).

O problema da erosão do solo em áreas florestais ardidas no centro de Portugal tem sido alvo de investigação, no âmbito dos projetos EROSFIRE e EROSFIRE II. O projeto EROSFIRE (POCI/AGR/60354/2004) surgiu como consequência dos incêndios florestais ocorridos durante 2003, em Portugal, e teve como proposta base o desenvolver de uma ferramenta de modelação para a avaliação do risco de erosão em áreas recentemente ardidas (Fernandes et al, 2010).

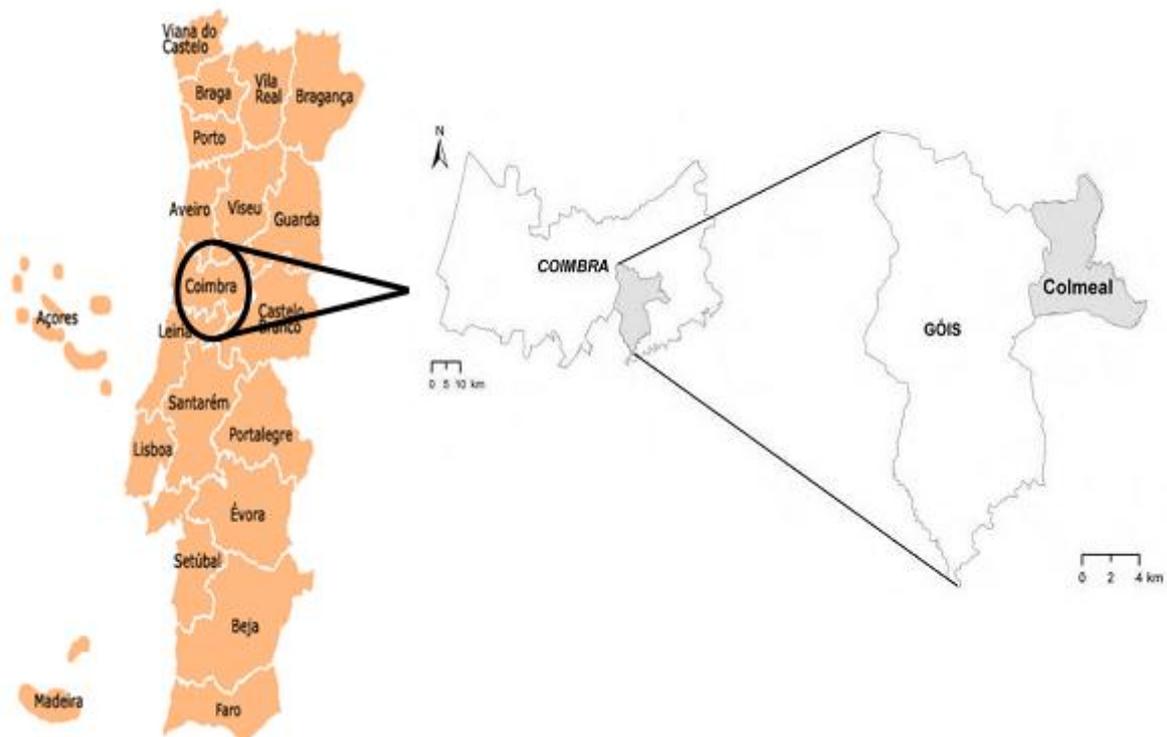
Quanto ao projeto EROSFIRE-II, este surge como uma extensão do projeto EROSFIRE, porém a recolha de dados e o desenvolvimento de ferramentas de modelação estão a ser efetuados para outras áreas geográficas, ou seja, com diferentes características físico-ambientais (por exemplo, precipitação), distintos tipos de cobertura terrestre (especialmente pinhais), diferente gestão do solo após incêndio e/ou intensidades de incêndio mais severas. Por outro lado, o projeto tem intenção de avaliar e prever o risco de erosão após incêndio a diferentes escalas. A análise será efetuada não só ao nível de micro parcelas e encostas individuais, mas também à escala da micro bacia hidrográfica (incluindo os canais e as estradas florestais) (Fernandes et al, 2010).

É assim neste projeto que se encontra o presente trabalho. O local de estudo, Colmeal, Concelho de Góis, enquadra-se na região geográfica em que o projeto EROSFIRE II trabalha. As respostas hidrológicas e de erosão do solo correspondem ao terceiro ano pós incêndio florestal e foram medidas e analisadas desde Setembro de 2010 a Junho de 2011, numa área florestal mista de pinhal e eucaliptal. O estudo foi efetuado a duas escalas espaciais, através da monitorização de microparcelas (“bounded plots”) e parcelas abertas (“open plots”). Outro objetivo deste projeto é a avaliação e verificação de um modelo de erosão do solo. Assim, escolheu-se o modelo Morgan-Morgan-Finney (MMF, Morgan, 2001), visto que o mesmo já foi utilizado por outros autores (Keizer et al., 2008; Vieira et al., 2010; Fernandez et al., 2010), tendo obtido sucesso. Este retém as vantagens de uma abordagem empírica no que toca a simplicidade conceitual, facilidade de cálculo e requisitos de dados de entrada (Vieira, 2010).

## 2.2 Materiais e Métodos

### 2.2.1 Área de estudo

O local de estudo encontra-se junto á aldeia do Colmeal, localizado no distrito de Coimbra, concelho de Góis (40°08'34"N, 8°0'12"O), situado na zona Centro de Portugal (Figura 1). Neste local deflagrou um incêndio no dia 27 de Agosto 2008, apresentando no final uma área ardida de cerca de 70ha. Foram afetadas pelo fogo três bacias, tendo sido uma delas queimada quase completamente onde foi instalada uma estação hidrométrica.



**Figura 1** – Localização geográfica do local de estudo relativamente ao distrito, concelho e freguesia.

Para estas áreas foram seleccionadas quatro encostas onde foram instaladas quatro parcelas fechadas e quatro parcelas abertas, em que três situam-se dentro da bacia e uma delas fora (Figura 2). As parcelas em estudo têm diferente uso do solo e gestão florestal e estão caracterizadas na Tabela 1.

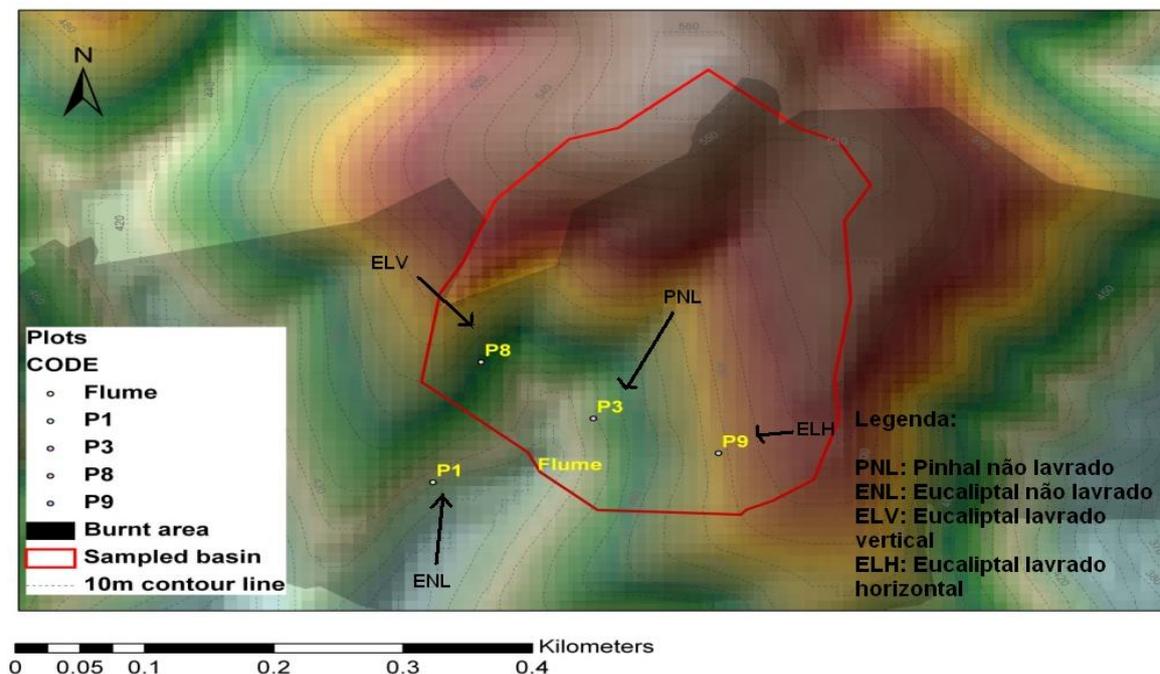


Figura 2 – Localização das encostas de estudo na bacia central.

Tabela 1 – Designação das áreas de estudo

Designação	Uso do solo	Gestão florestal	Declive (°)	Comprimento (m)	Profundidade do solo (cm)
Encosta 1	Eucaliptal	Não lavrado	26	50	15-20
Encosta 3	Pinhal	Não lavrado	27	85	0-3
Encosta 8	Eucaliptal	Lavrado vertical	29	62	15-20
Encosta 9	Eucaliptal	Lavrado horizontal	24	95	5-15

Á área de estudo apresenta um clima mediterrânico. Nesta região, o verão é quente e seco, e o inverno é instável e húmido. A temperatura média anual da área de estudo situa-se entre os 10 e os 12,5°C, enquanto que a precipitação média anual é estimada entre os 1400 e os 1600mm. Quanto ao tipo de solo, a área de estudo apresenta um solo predominantemente do tipo Cambissolo sobre xisto (Fernandes et al, 2010).

## 2.2.2 Caracterização das parcelas (desenho experimental)

As parcelas abertas são dispositivos colocados nas encostas que possibilitam a recolha de água sobre a forma de escorrência. Estas parcelas são constituídas por um conjunto de placas metálicas, que totalizam cerca de dois metros de largura, com uma área de drenagem média por parcela (Figura 3 (a)). Esta área de drenagem é estimada com base na sua largura até ao final da secção de encosta e pode ter alguma incerteza. Estas placas têm a forma de um “vê” que levam a escorrência por um orifício que está ligado a uns tanques de recolha, também conectados a outros de forma a que toda a água seja recolhida quando o primeiro atinge a capacidade total.

As micro-parcelas possuem uma saída também em “vê”, ligada a uma mangueira que encaminha a escorrência para tanques de recolha que armazenam a escorrência, que é medida quinzenalmente, no caso de ocorrência de precipitação, e amostrada também para análise posterior em laboratório. No entanto, têm áreas mais pequenas, entre os 0,25-0,50m<sup>2</sup>, delimitadas por umas placas metálicas (Figura 3 (b)).



**Figura 3** – (a) Parcelas à escala de encosta, (b) Parcelas à microescala.

### 2.2.3 Recolha de amostras e monitorização de campo

Para o presente estudo, foi analisada a escorrência de quatro encostas, tendo sido estudadas quatro micro-parcelas e quatro parcelas abertas. De duas em duas semanas, foram realizadas leituras do volume de escorrência, onde estas eram recolhidas quando o seu volume era igual ou superior a 0.250L, tentando sempre que o volume permitia, recolher amostras de 1.5L. Foram recolhidas um total de 738 garrafas que foram posteriormente analisadas no laboratório quanto ao teor de Sedimentos. Conjuntamente mediu-se a chuva nos pluviómetros totalizadores e foram também realizadas medições de precipitação através de quatro pluviómetros automáticos e de um totalizador (Figura 4), de forma a associar uma dada escorrência a um evento chuvoso.



**Figura 4** – (a) Pluviómetro totalizador e automático, (b) Grelha de descrição do coberto numa microparcela.

## **2.2.4 Análises laboratoriais**

A determinação da concentração de sedimentos na escorrência, para posterior cálculo das taxas de erosão, foi efetuada em laboratório. As amostras recolhidas em campo em garrafas PET de 1,5L, foram filtradas gravimetricamente, com filtros de 330 mm de diâmetro e porosidade 12-15  $\mu\text{m}$ , que foram previamente pesados. O material recolhido no filtro, foi seco a 105°C durante 24 horas numa estufa, para a determinação da concentração dos sedimentos.

## **2.3 Modelação de Erosão (modelo Morgan-Morgan-Finney)**

### **2.3.1 Descrição do modelo**

O modelo Morgan-Morgan-Finney (MMF) (Morgan, 2001), separa o processo de erosão do solo em duas fases: a da água e a dos sedimentos. A fase aquosa determina a energia da chuva disponível para o desprendimento das partículas do solo bem como o volume de escoamento. Na fase de erosão, as taxas de desprendimento de partículas do solo pela chuva e pelo escoamento são determinados juntamente com a capacidade de transporte do escoamento.

Este modelo foi desenvolvido para prever as perdas anuais de solo em áreas agrícolas para parcelas à escala de encosta. Tem como principais características, tratar-se de um modelo empírico, desenvolvido para áreas agrícolas, para prever taxas de erosão à escala de encosta e, permite também estimar a formação de escorrência e desta forma oferecer uma forma de comparação com medições do campo. Embora o MMF mantenha a simplicidade da Equação Universal de Perda de Solo, tem em conta avanços mais recentes na compreensão do processo de erosão. Para proceder ao cálculo de perdas de solo, este modelo utiliza 15 parâmetros de entrada, como por exemplo a

precipitação anual, o número de dias com precipitação por ano e o declive da encosta, para a operação das 12 equações que o modelo revisto apresenta (Tabela 2).

**Tabela 2** – Parâmetros de entrada do modelo revisto MMF (Adaptado de Morgan 2001)

<b>Fator</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Definições</b>
<b>Precipitação</b>	R	Precipitação anual (mm)
	Rn	Número de dias com precipitação por ano
	I	Valor típico de intensidade de precipitação (mm/h); Utilizar 10 para clima temperados, 25 para climas tropicais e 30 para climas de elevada sazonalidade.
<b>Solo</b>	MS	Capacidade de campo de conteúdo hídrico (%w/w)
	BD	Densidade aparente da camada superior de solo (mg/m <sup>3</sup> )
	EHD	Profundidade hidrológica efetiva do solo (m)
	K	Erodibilidade do Solo (g/J)
	COH	Coesão da superfície solo (kPa) medido com o torvane em condições de saturação.
<b>Forma terreno</b>	S	Declive da encosta (°)
<b>Coberto vegetal</b>	A	Fração (entre 0 e 1) da interceção da precipitação realizada pela vegetação.
	E <sub>t</sub> /E <sub>0</sub>	Razão de evapotranspiração total (E <sub>t</sub> ) por potencial (E <sub>0</sub> )
	C	Fator de coberto vegetal, combina o fator C com o P da USLE (C*P)
	CC	Fração da densidade das copas das árvores (entre 0 e 1).
	GC	Fração da densidade de coberto vegetal (entre 0 e 1).
	PH	Altura da vegetação (m)

### **2.3.2 Dados de entrada**

No que respeita a três dos quinze parâmetros de entrada do modelo MMF, houve a necessidade de utilizar dados de outras fontes. Tratou-se de três parâmetros relacionados com a vegetação, isto é, fração de interceção (A), a fração de densidade das copas das árvores (CC) e a razão da evapotranspiração total e potencial. Para a fração de Interceção (A), utilizou-se o valor de 0,102, que foi apresentado por Ferreira (1996), para um eucaliptal na Serra do Caramulo que tinha ardido à cinco anos. O mesmo trabalho foi considerado para o fator de densidade das copas das árvores (CC). Por sua vez, para a razão de evapotranspiração total por potencial, foi considerado o valor apresentado por Vieira (2008), baseando-se em dados do Instituto de Meteorologia de Portugal e do Atlas do Ambiente Digital.

Existem ainda outros fatores como o valor de erodibilidade do solo (K) e a coesão do solo (COH), que foram obtidos através de valores adaptados de Morgan (2001), tendo em consideração a classe de textura determinada por Faria (2008) para o local de estudo. Porém, houve parâmetros que foram obtidos pela medição em campo: R, Rn, MS, BD, S, C\*P, GC e PH.

### **2.3.3 Dados de saída**

O modelo MMF permite a saída de dados correspondentes à escorrência e às perdas de solo anuais e, permite ainda uma comparação da capacidade de desagregação de solo anual (F+H) com a capacidade de transporte de sedimentos anual por parte da escorrência ( $T_c$ )

## 2.4 Resultados e Discussão

### 2.4.1 Totais de Precipitação

Este estudo foi realizado ao longo de dez meses (Setembro 2010 a Junho 2011), e corresponde ao terceiro ano após fogo. Ao longo deste período, observou-se um total de 1291 mm de precipitação, aproximada à precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Mondego com 1233 mm (pt.wikipedia.org). Destacam-se os meses de Outubro 2010 a Janeiro de 2011 com 838 mm, que representam 65% da precipitação total e, o mês de Fevereiro 2011 onde houve semanas sem qualquer registo de precipitação, seguindo-se depois por um pico de 151 mm de precipitação (Figura 5).

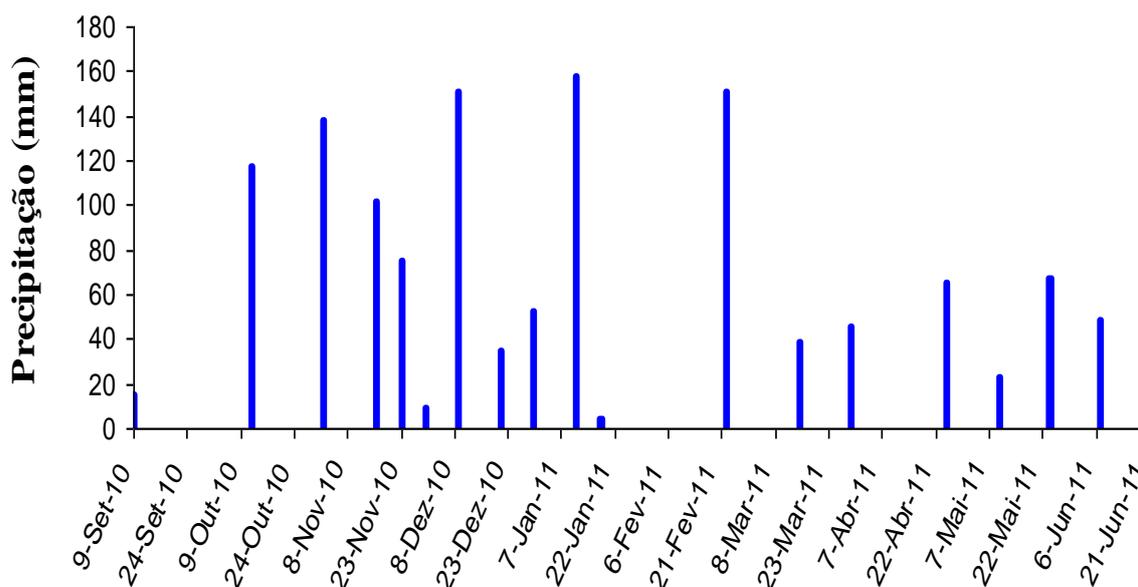


Figura 5 – Variação da precipitação semanal total durante o período de amostragem.

## 2.4.2 Totais de Escorrência e Erosão

A Tabela 3 apresenta os totais anuais de escorrência e erosão para as duas escalas em todas as encostas, no período de amostragem. À microescala, nas duas parcelas sem lavragem, a parcela PNL apresenta maior valor de escorrência. Esta parcela é mais longa e tem menor profundidade do solo (0-3cm) levando à rápida saturação do mesmo, conduzindo à ocorrência de escorrência. Nas parcelas com lavragem (ELV e ELH), foi a parcela ELH quem obteve maior escorrência. Este resultado não seria de esperar pois esta lavragem dificulta a passagem de água, porém pode ser explicado por a parcela ter sido instalada num local com maior inclinação e pela falta de coberto na mesma. À escala de encosta, verifica-se a mesma tendência à exceção da parcela ELH onde o efeito da lavragem poderá ser mais notório. Em ambas as escalas, as medições de erosão são proporcionais às quantidades de escorrência onde a parcela com maior escorrência foi a que obteve maior índice de erosão, seguindo sempre a mesma ordem.

**Tabela 3** – Totais anuais de Escorrência e respetivo coeficiente no terceiro ano após fogo.  
(valores médios, n=4)

Escola	Microparcelas				Escala de Encosta			
Parcela	PNL	ENL	ELV	ELH	PNL	ENL	ELV	ELH
<b>Escorrência total (mm)</b>	616	201	328	814	56	21	40	24
<b>Coeficiente de Escorrência (%)</b>	48	16	25	63	4,4	1,7	3,1	1,9
<b>Taxas de erosão (g.m<sup>-2</sup>)</b>	74	33	64	145	12	6	8	4

Os resultados mostram ainda, assim como foi constatado por vários autores, que com o aumento da escala, os valores vão diminuindo (Coelho et al., 2004; Shakesby et al., 1996 e Prats et al., 2012). À escala das microparcelas, o

mínimo e o máximo variam entre 16% e 63%, enquanto que à escala de encosta esta variação é muito mais pequena, entre 1,5% e 4,5%.

Para enquadrar os resultados encontrados, na Tabela 4, encontram-se resultados obtidos por duas autoras, para os quatro primeiros meses (Fernandes et al, 2010) após o incêndio e para o primeiro ano (Vieira et al, 2010), para a mesma área de estudo.

**Tabela 4** – Totais anuais de taxa de erosão de estudos realizados para a área de estudo

<b>Escala</b>	<b>Microparcelas</b>				<b>Escala de Encosta</b>			
<b>Parcela</b>	<b>PNL</b>	<b>ENL</b>	<b>ELV</b>	<b>ELH</b>	<b>PNL</b>	<b>ENL</b>	<b>ELV</b>	<b>ELH</b>
<b>3º Ano (presente estudo)</b>	0,74	0,33	0,64	1,45	0,12	0,06	0,08	0,04
<b>4 Meses (Fernandes et al, 2010)</b>	0,31	-	0,27	-	0,15	-	0,02	-
<b>1º Ano (Vieira et al, 2010)</b>	0,57	-	0,62	0,64	0,24	-	0,05	0,02

Verifica-se que a ordem de grandeza é concordante ao longo dos três anos, não havendo grande alteração na resposta erosiva ao longo do tempo. Assim, como foi verificado para o estudo atual, nos primeiros 4 meses e no 1º ano também se observou mais perdas à escala das microparcelas. Em todos os estudos, a parcela de Pinhal é que apresenta maior tendência de risco de erosão possivelmente devido à disponibilidade do solo desta parcela.

### **2.4.3 Variação temporal e espacial da Precipitação com a Escorrência**

Ao longo de todo o período de amostragem, verificou-se que a maior quantidade de escorrência registada concentrou-se, nas duas escalas, entre os meses de Outubro 2010 a Janeiro 2011, coincidindo como seria de esperar, com

os maiores eventos chuvosos (Figura 6). A escorrência apresenta grandes diferenças entre as duas escalas quando comparadas em termos de uso do solo.

Quando analisadas as parcelas à escala de encosta, verificou-se que os valores de escorrência são da mesma ordem de grandeza. É perceptível a esta escala que as encostas seguem a mesma tendência, sendo que a parcela PNL foi quem apresentou os valores mais elevados de escorrência, havendo uma exceção no mês de Março 2011 (dia 8) até Maio 2011 (dia 7). Este período foi antecedido por um grande evento chuvoso. Ao lavrar os solos, a sua estrutura é alterada, facilitando a infiltração e reduzindo significativamente a escorrência. Assim, como esta parcela apresenta um solo não lavrado este fica mais compactado, facilitando a escorrência (Silvério, 2000). Uma outra explicação para a encosta PNL, poderá ter a ver com a pouca profundidade do solo neste local (3 cm), que faz com que este sature com mais facilidade, escorrendo em maior quantidade.

À microescala, foi a parcela ELH quem mais se evidenciou, seguida da parcela PNL. Dado ao tipo de lavrado da parcela ELH, não seria de esperar esta encosta apresentar maior valor de escorrência, pois este tipo de lavrado dificulta a evapotranspiração ou a repelência à água dos solos (Fernandes et al., 2010). É ainda de salientar que à escala das microparcelas todas elas apresentam variações temporais semelhantes, porém é de distinguir o período de Fevereiro 2011 a Março 2011, onde todas apresentam um pico de escorrência. Constata-se que neste período, ocorreu um elevado valor de precipitação, antecedido por um período seco (entre Janeiro 2011 a Fevereiro 2011). Segundo Coelho, et al., (1991), existe uma tendência para a escorrência aumentar após períodos secos, pelo crescimento de uma camada hidrofóbica junto à superfície do solo que complica a infiltração da água, levando a elevados valores de escorrência. É ainda de destacar a esta escala, a parcela PNL também com valores mais elevados de escorrência. Uma explicação poderá estar no comprimento e na área da encosta, que determinará o aparecimento de escorrência por saturação do solo na parte baixa de uma encosta longa, conforme se observou também para outras bacias hidrográficas (e.g. Fernandes et al, 2010; Soler et al., 2008). Estes valores mais elevados para a parcela de pinhal, no mesmo local, também foram

verificados no primeiro ano após fogo por Fernandes et al., (2010). Quanto às outras duas parcelas (ENL e ELV), estas variam de igual forma entre si, apresentando valores mais baixos de escorrência.

Quanto aos coeficientes de escorrência estes são muito díspares quando analisadas as duas escalas. Porém, é à escala de encosta que as parcelas apresentam um comportamento mais díspar. A esta escala, os máximos atingidos no início variam entre as parcelas PNL e ENL e, no final a PNL atinge também um valor mais alto enquanto que a parcela ENL já tem o valor mais baixo registado. O comportamento das parcelas ELV e ELH é quase idêntico. Os valores de coeficiente de escorrência são da mesma ordem de grandeza nunca ultrapassando os 15%. No início do período de amostragem, o máximo registado foi de aproximadamente 12%, sofrendo ao longo do estudo um ligeiro decréscimo em todas as parcelas. No entanto, as parcelas de solo não lavrado apresentaram um ligeiro decréscimo, ao contrário das encostas lavradas onde os valores dos coeficientes de escorrência aumentaram ligeiramente. Nas microparcelas, evidencia-se mais uma vez a parcela PNL desta vez seguida com a parcela ELH, sendo esta última quem apresenta valores mais elevados de coeficiente de escorrência. Os coeficientes de escorrência são muito mais elevados que os valores apresentados à escala de encosta. Mais uma vez se constata que com o aumento da escala, as taxas diminuem (Shakesby and Doerr, 2006).

Verifica-se no final do estudo um aumento em todas as parcelas, tendo principal destaque a parcela ELH onde o último valor registado chega quase aos 100%. Este resultado tratar-se-á de um erro que poderá ter acontecido por vários factores. O facto da monitorização ter sido quinzenal o que poderá levar a perdas de precipitação por evaporação, acabando por existir erros de medição. Outra possibilidade para justificar este resultado poderá resultar do facto de ter entrado água por cima da parcela, fazendo com que a área ficasse saturada. As parcelas mais idênticas são as ENL e ELV, que têm uma tendência para diminuir ao longo do período de estudo chegando muitas vezes perto dos 0% (entre Dezembro 2010 e Janeiro 2011). Verificou-se em ambas as escalas, que os maiores valores de coeficientes registados nem sempre correspondem aos maiores eventos chuvosos. Como exemplo tem-se os valores apresentados entre o mês de Maio

2011 e Junho 2011 onde se observaram valores elevados de coeficiente de escorrência e, por outro lado, valores mais baixos de precipitação (Figura 6). Foi também evidente o comportamento da parcela de pinhal nas duas escalas, pois independentemente da ordem de grandeza, é este uso do solo quem apresenta quase sempre valores mais elevados de escorrência. Poderia então dizer-se, que a plantação deste pinhal tem menor capacidade de retenção de água em relação a uma plantação de eucaliptal. Neste caso dever-se-á ao facto desta plantação de pinhal ter uma profundidade de 3 cm contra os 15 cm do eucaliptal, ou seja, o volume de água armazenada em 3 cm de solo é muito inferior ao armazenado em 15 cm de solo. Outra possibilidade poderá dever-se ao facto de existir menos vegetação na encosta, pois o solo ao ficar sem protecção da vegetação, reduz a sua capacidade de retenção e armazenamento de água (Martin e Moody, 2001; Meyer, 2002).

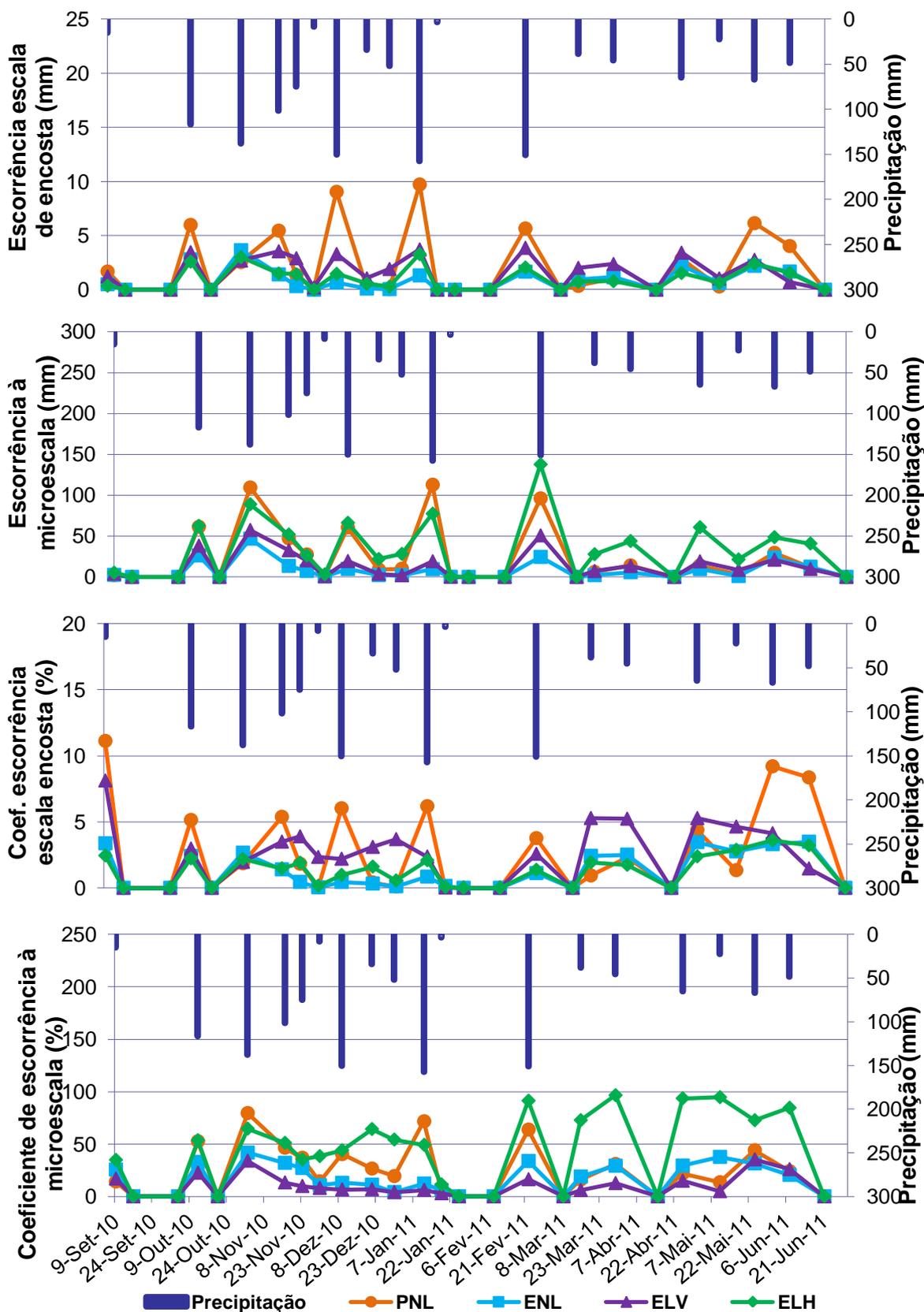
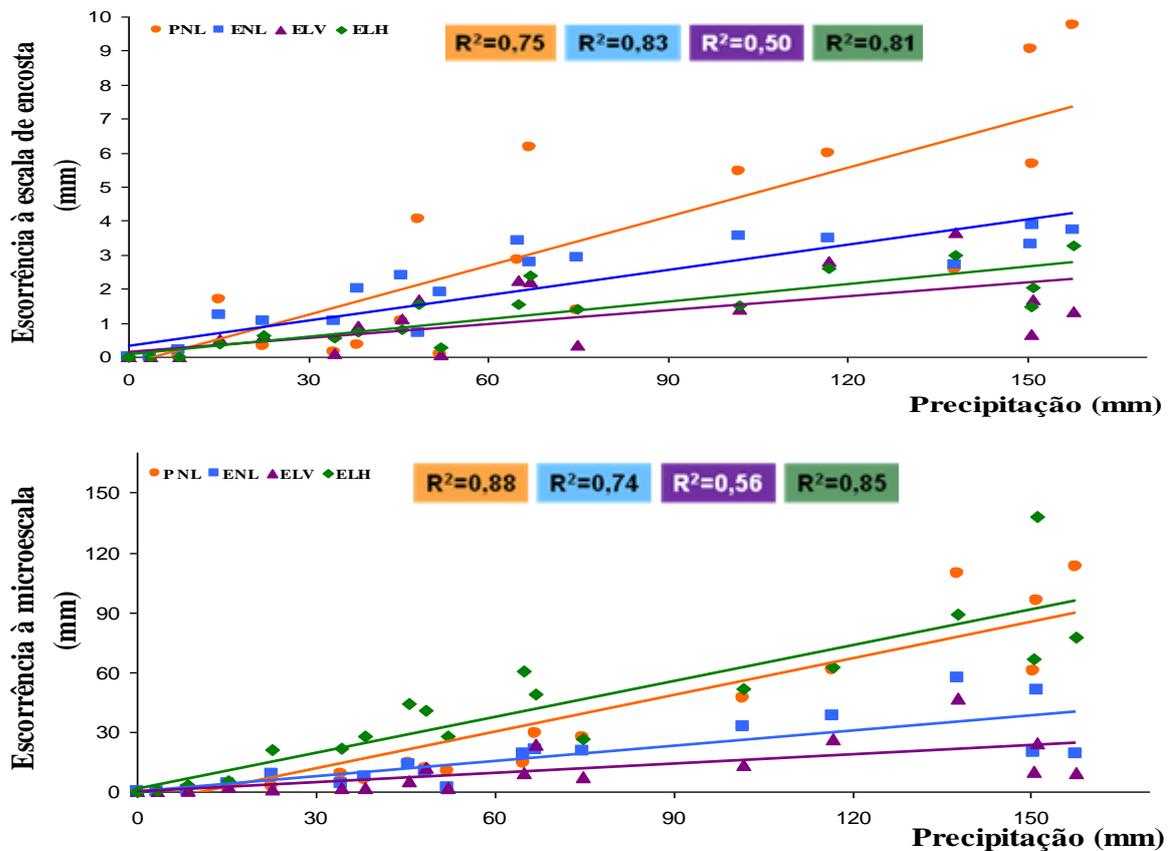


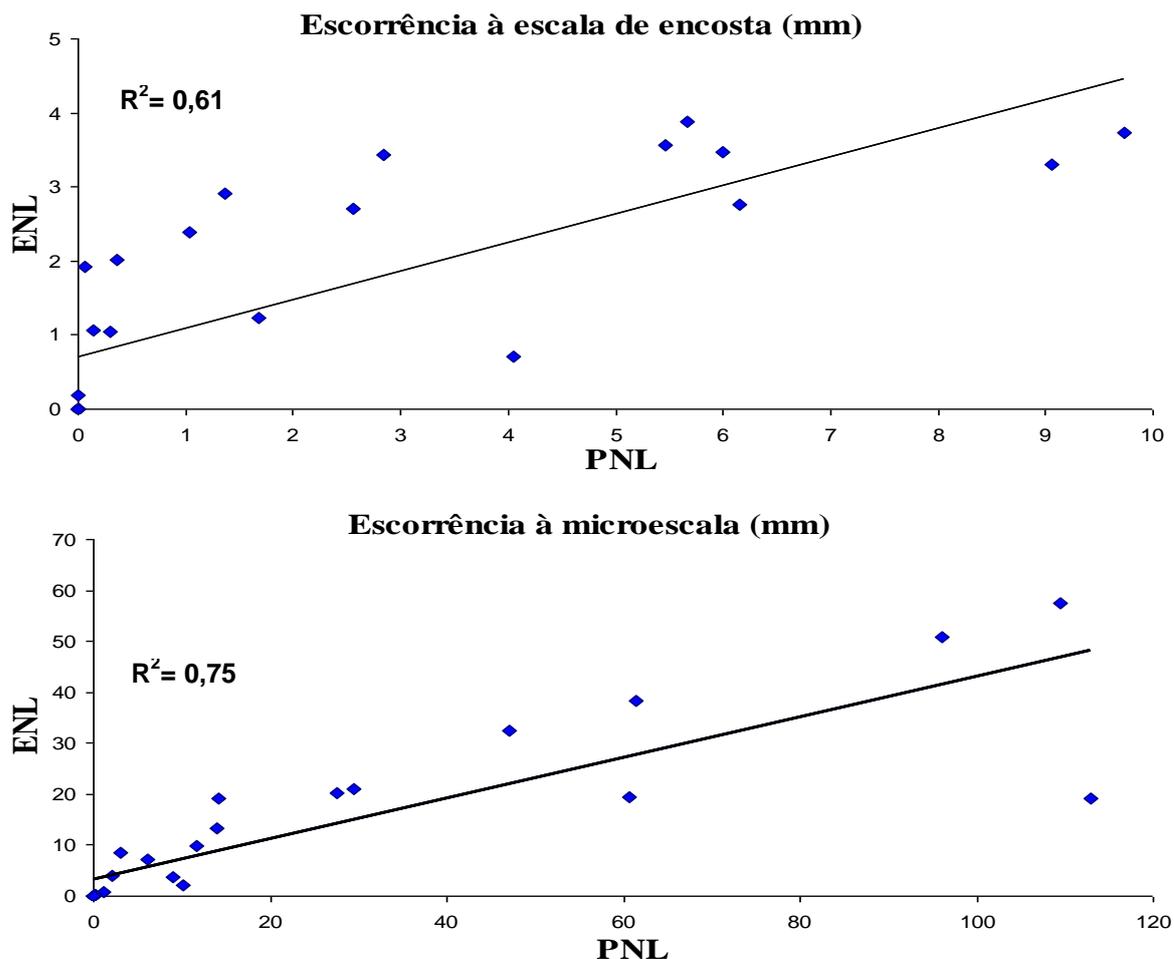
Figura 6 – Variabilidade temporal dos valores de escorrência e coeficiente de escorrência em todas as parcelas da microescala e da escala de encosta em todo o período de amostragem.

Para melhor compreender como a escorrência se relaciona com a precipitação, calcularam-se os coeficientes de correlação linear ( $r$ ) entre estes dois parâmetros. À escala de encosta verificou-se uma boa relação em três encostas: PNL, ENL e ELH, com coeficientes de correlação de 0,75; 0,83 e 0,81, respetivamente. Quanto às microparcelas, também ocorreu uma boa relação nestas três encostas com coeficientes de correlação de 0,88 (PNL), 0,74 (ENL) e 0,85 (ELH). Em ambas as escalas a escorrência na parcela ELV foi quem apresentou relação mais baixa com a precipitação. Apesar dos coeficientes de correlação variarem em ambas as escalas aproximadamente entre 0,50 e 0,90, as parcelas apresentam um comportamento mais homogêneo à microescala (Figura 7). Apesar da diferente ordem de grandeza entre escalas, pode-se verificar boa relação entre estes dois parâmetros em ambas as escalas. É ainda de notar a parcela 9 (ELH), que apresenta correlações mais elevadas nas microparcelas, possivelmente devido ao facto desta escala não ser tão representativa da realidade tendo muito pouco coberto naquela área.



**Figura 7** – Correlação linear entre a precipitação (mm) e escorrência (mm) para ambas as escalas das quatro encostas.

Os resultados foram ainda analisados tendo em conta a gestão do solo (lavrados e não lavrados). Em primeira análise temos as encostas com solo não lavrado para as duas escalas. Estas parcelas acabam por ter um comportamento semelhante em termos de escorrência, apresentando à escala de encosta um coeficiente de correlação de 0,61 e, à microescala um coeficiente de 0,75 o que não deixam de ser substanciais (Figura 8).



**Figura 8** – Correlação linear da escorrência nas encostas não lavradas à microescala e à escala de encosta.

No que toca às parcelas lavradas, a relação destas com a escorrência também é considerável apresentando à escala de encosta um valor de 0,76 e à microescala 0,62. No entanto, verifica-se para estas parcelas que os valores apresentam-se mais equidistantes, o que nos pode indicar que estas apresentam características muito distintas.

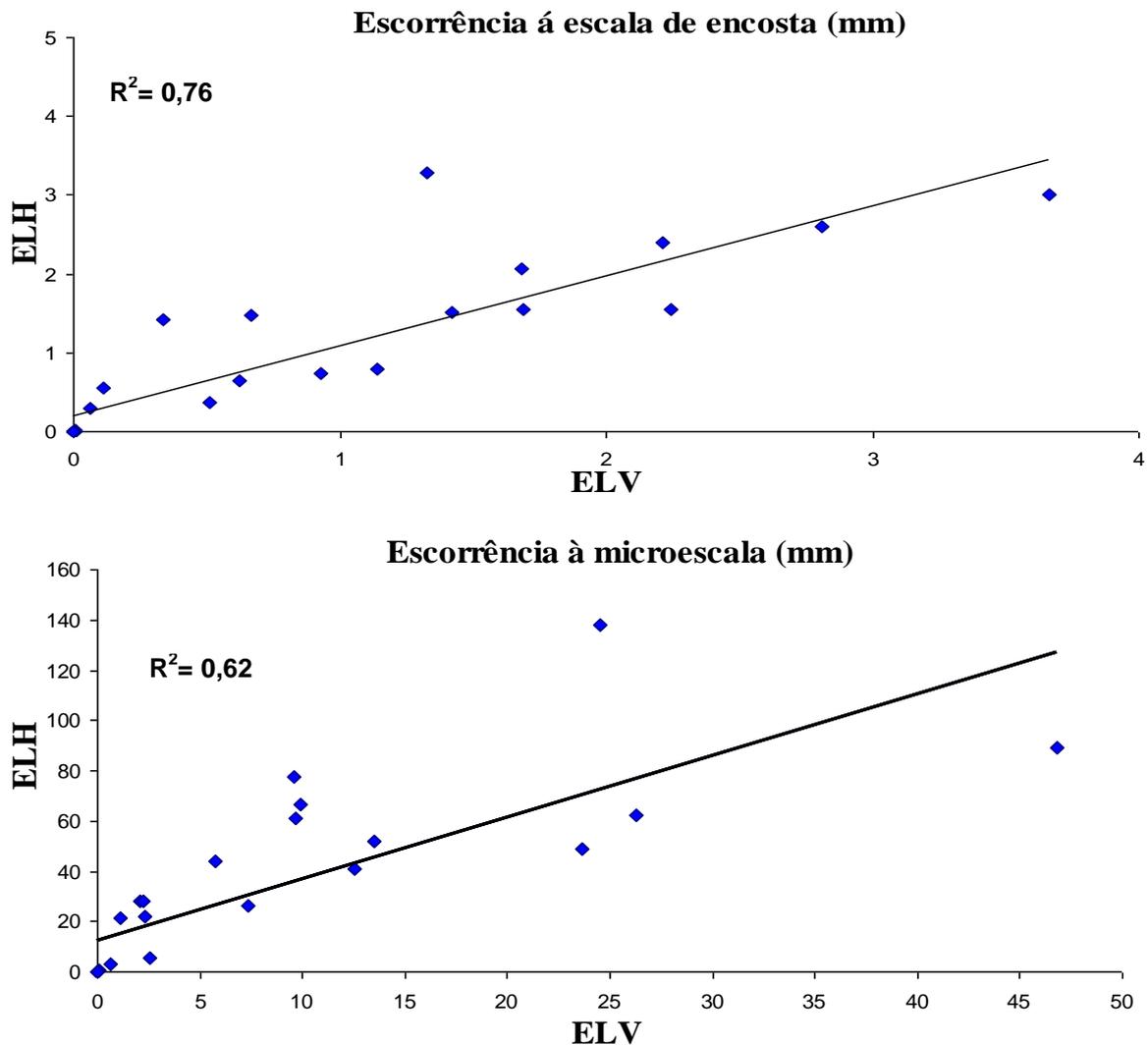


Figura 9 – Correlação linear da escorrência nas encostas lavradas à escala de encosta e à microescala.

#### 2.4.4 Variabilidade espaço-temporal da Perda de sedimentos

Na Figura 10, observa-se a variação da perda de sedimentos para as duas escalas. Pode constatar-se às duas escalas que não existe muita dispersão dos resultados. No entanto são de destacar dois períodos para ambas as escalas: Setembro a Dezembro e Março a Junho. Ambas as situações são antecedidas por períodos secos, no entanto, no primeiro período temos uma situação de grandes períodos de chuva em pouco espaço de tempo. Este fenómeno vai fazer com que o solo sature muito rapidamente e assim haja escorrência por saturação. Destaca-

se a parcela de PNL à escala de encosta, pois é uma encosta longa que levará à escorrência por saturação na parte mais baixa da encosta. No outro período (Março a Junho), ocorre precipitação depois de um período de grande seca levando ao despreendimento do solo, ocorrendo a denominada escorrência por salpico.

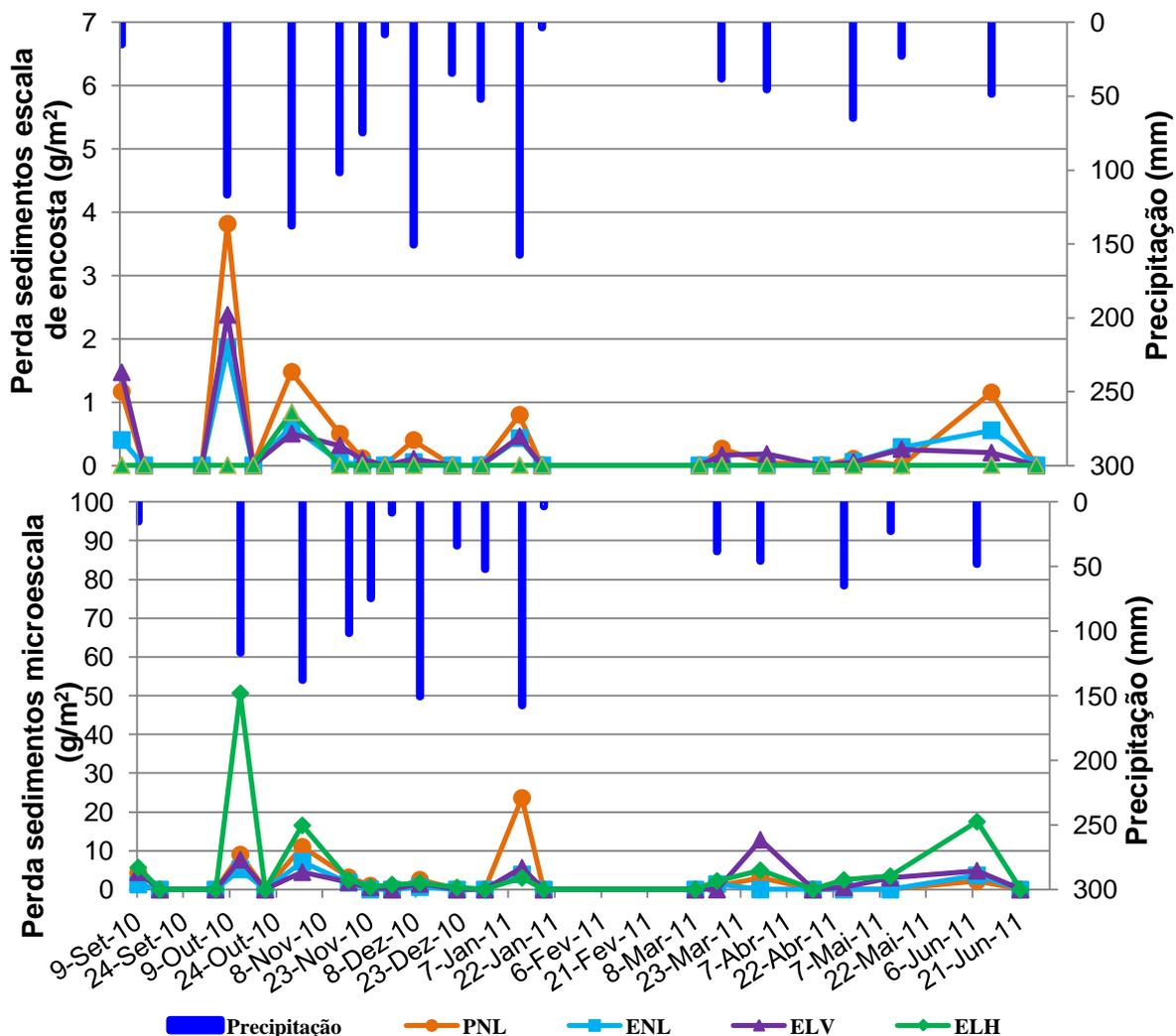


Figura 10 – Perda de sedimentos às duas escalas em todas as encostas.

A Tabela 5 apresenta os valores de taxa de erosão para as diferentes parcelas às duas escalas e a média das encostas. As perdas por erosão resultante do escoamento diferem consideravelmente entre parcelas. Verifica-se que estas perdas são muito superiores à escala das micro-parcelas, que apresenta um valor de  $78,15g.m^{-2}$ , contra as  $7,11g.m^{-2}$  de perdas por erosão apresentadas à escala de encosta. As perdas observadas à microescala são 10

vezes superiores às encontradas para a escala de encosta. Assim como foi verificado na escorrência, é também à microescala que a erosão se destaca com valores muito superiores aos encontrados à escala de encosta. Estas diferenças podem dever-se às diferentes características das encostas, ou seja, à escala de encosta a área de drenagem das parcelas pode não ser tão realista.

Quando analisados os valores, comparando o diferente uso do solo, verificou-se grandes diferenças nas taxas de erosão, independentemente da escala das encostas. À escala de encosta, quando analisadas as parcelas não lavradas, verificou-se que a parcela 3 (PNL), é a que apresenta maior taxa de erosão ( $12\text{g.m}^{-2}$ ), enquanto que a parcela ENL (1) apresenta quase metade desse valor ( $6\text{g.m}^{-2}$ ). Quanto às parcelas lavradas, a parcela 8 (ELV) apresenta um valor três vezes superior ao apresentado pela parcela 9 (ELH), isto é,  $8\text{g.m}^{-2}$  e  $4\text{g.m}^{-2}$ , respetivamente.

Quanto à microescala, também se verificou que nas parcelas não lavradas é a encosta de pinhal que apresenta maior taxa de erosão. A parcela 3 (PNL) apresenta uma taxa de erosão duas vezes superior à parcela 1 (ENL), com  $74\text{g.m}^{-2}$  e  $32\text{g.m}^{-2}$ , respetivamente. Já em relação às parcelas lavradas, a situação é diferente da verificada à escala de encosta, ou seja, neste caso a parcela 9 (ELH) obteve uma taxa de erosão de  $145\text{g.m}^{-2}$  e a parcela 8 (ELV)  $64\text{g.m}^{-2}$ , ou seja duas vezes inferior à parcela ELH. Em termos de coberto este resultado seria de esperar pois a parcela PNL apresenta um coberto  $\approx 40\%$ , contra  $\approx 10\%$  de coberto da parcela 1 (ENL). O mesmo acontece nas parcelas com lavragem onde a parcela (ELV) apresenta maior percentagem de coberto ( $\approx 40\%$ ) em relação à parcela 9 (ELH), com um coberto de  $\approx 5\%$ . Este coberto é considerado como um conjunto de pedras e vegetação, que confere assim protecção ao solo. Assim, de uma forma geral, quanto maior a protecção que o coberto dá ao solo, menor o risco de erosão.

**Tabela 5** – Taxas de erosão obtidas nas duas escalas para todas as parcelas.

<b>Escala</b>	<b>Microparcels</b>				<b>Escala de Encosta</b>			
<b>Parcela</b>	<b>PNL</b>	<b>ENL</b>	<b>ELV</b>	<b>ELH</b>	<b>PNL</b>	<b>ENL</b>	<b>ELV</b>	<b>ELH</b>
<b>Taxa de Erosão (g/m<sup>2</sup>)</b>	74	33	64	145	12	6	8	4
<b>Média de encosta</b>	78,15				7,11			

No que toca à relação entre taxas de erosão com a formação de escorrência, verificou-se que não houve em ambas as escalas uma correlação elevada em todas as parcelas (Figura 11). À escala de encosta os coeficientes de correlação foram de 0,17; 0,20; 0,30 e 0,45 para as parcelas ELV, ELH, PNL e ENL, respetivamente. Já à microescala os valores são um pouco mais elevados com as parcelas ELV e ELH a apresentarem valores muito baixos, 0,18 e 0,24, respetivamente. Já as parcelas para solos não lavrados apresentam uma relação mais substancial sendo o valor de correlação mais elevado para a parcela ENL com 0,62 seguindo a parcela PNL com 0,56.

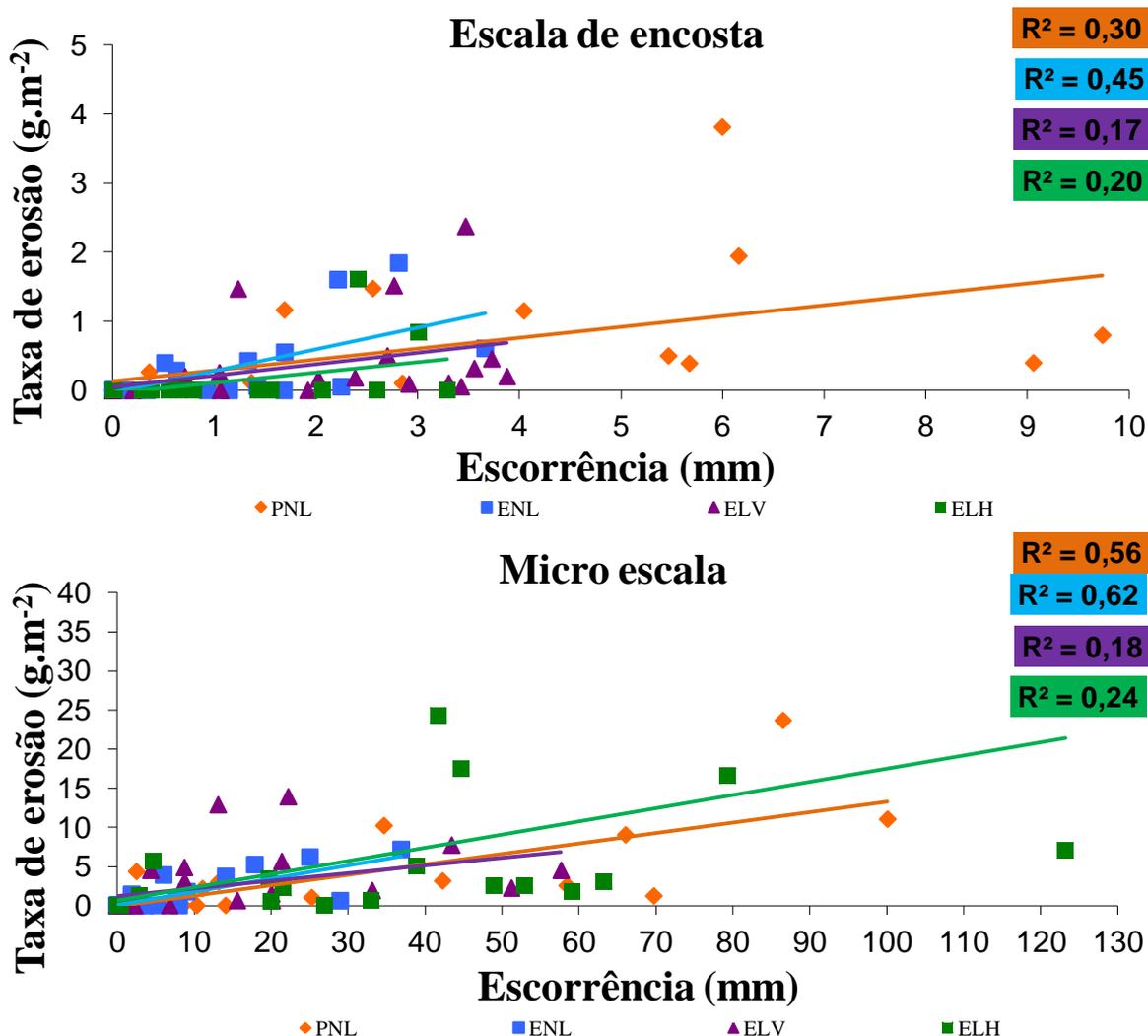


Figura 11 – Taxa de Erosão vs. Escorrência nas duas escalas para as quatro encostas.

### 2.4.5 Comparação com outros estudos

De forma a avaliar a resposta hidrológica e erosiva, foram feitas comparações dos resultados obtidos com estudos realizados por outros autores. Em primeiro lugar refere-se o estudo realizado por Fernandes (2010) que foi realizado para a mesma área deste estudo. No entanto, é de salientar que o estudo desta autora focou-se no primeiro ano pós-fogo e apenas para as parcelas 3 (PNL) e 8 (ELV). Fernandes (2010) obteve coeficientes de escoamentos da ordem dos 30% nas microparcelas e de 1% nas parcelas de encosta. Quanto á erosão do solo obteve uma média de 32g.m<sup>-2</sup> nas microparcelas, e de

aproximadamente  $2\text{g.m}^{-2}$ , nas parcelas de encosta. Os resultados obtidos no presente estudo não foram muito díspares. Os valores de coeficiente de escorrência obtidos foram também mais elevados á microescala entre 16 a 63 % e, à escala de encosta entre 1,7 a 4,4 %. Quanto á erosão no terceiro ano pós-fogo os valores médios de erosão foram superiores aos encontrados para o primeiro ano. No entanto é de notar que no estudo realizado por Fernandes (2010), apenas foram consideradas duas encostas, enquanto que no presente estudo foram analisadas quatro encostas.

Refere-se ainda o estudo de Malvar (2007) na área de Açores. Malvar (2007) apresentou coeficientes globais de escorrência entre 23 a 25 %. Em relação á escorrência determinada no Colmeal, estes valores são muito inferiores. Quanto aos valores de erosão, Malvar (2007) obteve perdas entre  $49\text{g.m}^{-2}$  a  $55\text{g.m}^{-2}$ . Estes valores revelam-se bastante elevados quando comparados com o valor médio obtido para o presente estudo à escala de encosta ( $7\text{g.m}^{-2}$ ). Por outro lado, á microescala obteve-se um valor de  $78\text{g.m}^{-2}$  de erosão, sendo superior aos valores obtidos por Malvar (2007).

Verificou-se neste estudo, que existem diferenças entre escalas nos valores de escorrência e respetivos coeficientes. Obteve-se valores para a escala de encosta e microescala de 1 a 5 % e 16 a 63 %, respetivamente. O mesmo foi constatado por Vieira (2010) também para a vila de Colmeal, onde, foram registados coeficientes de escorrência muito semelhantes (1 a 5 % e 15 a 45 %, para a escala de encosta e microescala, respetivamente). Esta autora, justificou estes resultados com base em outros dois autores, Shakesby e Doerr (2006). Estes autores afirmam que o facto da área à escala de encosta, que contribui para a escorrência de cada parcela, ser inferior à estimada (largura da parcela x comprimento da encosta) e/ou então a heterogeneidade espacial na superfície do solo e as suas propriedades que podem aumentar a infiltração da escorrência. A mesma autora Vieira (2008) também registou taxas inferiores de erosão à escala de encosta num estudo realizado na área de Açores.

Ferreira et al (2008), também obtiveram valores mais baixos de coeficiente de escorrência com o aumento da área da encosta. Coelho et al., (2004) e Ferreira et al., (2009), justificaram que nas parcelas à escala de encosta, a

distância percorrida pela escorrência é muito maior, podendo ficar retida nas descontinuidades do solo, na vegetação existente, ou até mesmo passar em locais com maior capacidade de infiltração.

#### **2.4.6 Modelação MMF**

Esta secção iniciará com a modelação de risco de erosão à escala de encosta nas quatro parcelas de estudo. Na Tabela 6, encontram-se os dados de entrada estimados e os dados de campo utilizados para proceder ao cálculo das Taxas de Erosão para as quatro encostas. De referir que o modelo não foi calibrado para esta área de estudo, podendo levar a erros na escolha de alguns parâmetros, Os dados estimados pelo modelo MMF foram comparados com os dados de erosão obtidos à micro-escala e á escala de encosta.

Através dos dados de entrada estimados e recolhidos em campo e de acordo com as características das encostas, pode-se verificar que o modelo apresenta valores de erosão elevados em todas as parcelas, sendo de destacar a parcela PNL com maior risco de erosão.

**Tabela 6** – Valores de entrada no modelo para as quatro encostas.

Fator	Parâmetro	PNL	ENL	ELV	ELH
Precipitação	R	1290,62			
	R <sub>n</sub>	117			
	I	30			
Solo	MS	0,22	0,16		
	BD	0,58	0,7		
	EHD	0,03	0,05		
	K	0,1	0,7		
	COH	3	2		
Forma de terreno	S	28	26	30,5	23,5
Coberto Vegetal	A	0,102			
	E <sub>v</sub> /E <sub>0</sub>	0,57			
	C*P	0,35	0,1	0,4	0,008
	CC	0,05	0,681		
	GC	0,3			
	PH	1	3		
Taxa de Erosão do solo (g.m <sup>-2</sup> )		54,4	42,4	49,5	35,0

De seguida, procedeu-se à comparação entre a resposta do modelo MMF com os dados obtidos segundo a análise laboratorial feita para as quatro parcelas em ambas as escalas (Tabela 7).

**Tabela 7** – Valores medidos e modelados das taxas de erosão anuais para as quatro encostas.

Taxa de erosão (g.m <sup>-2</sup> )				
	PNL	ENL	ELV	ELH
Micro-escala	73,5	32,8	64,3	145,2
Escala de encosta	12,23	6,06	7,96	4,15
Modelação MMF	54,4	42,4	49,5	35,0

Como se pode aferir, o modelo estima valores bastante superiores aos medidos nas parcelas de encosta, enquanto tende a responder de forma inversa para as parcelas à microescala. Pode dever-se ao facto do modelo não ter sido calibrado para a área de estudo, levando à sobrestimativa da escorrência. Estas diferenças poderão ocorrer pois o modelo foi adaptado para uma área florestal recentemente ardida, quando originalmente foi desenvolvido para áreas agrícola. Poderão existir algumas justificações para estes valores serem muito superiores aos medidos em campo. O modelo pode ter estimado uma escorrência elevada o que por sua vez levará a uma erosão elevada levando a que a taxa de escorrência seja superior e assim o modelo obter uma taxa de erosão também muito elevada. No entanto, tanto no modelo como nas medições em campo para a escala de encosta, o risco de erosão das parcelas varia da mesma forma, ou seja, em ambos os casos a parcela PNL é quem apresenta maior risco de erosão.

Na Figura 12 pode constatar-se a sobrestima dos resultados de erosão do modelo para as parcelas à escala de encosta. O modelo fornece, à exceção da parcela ELH, valores de erosão mais próximos da que se observou no campo para as microparcels.

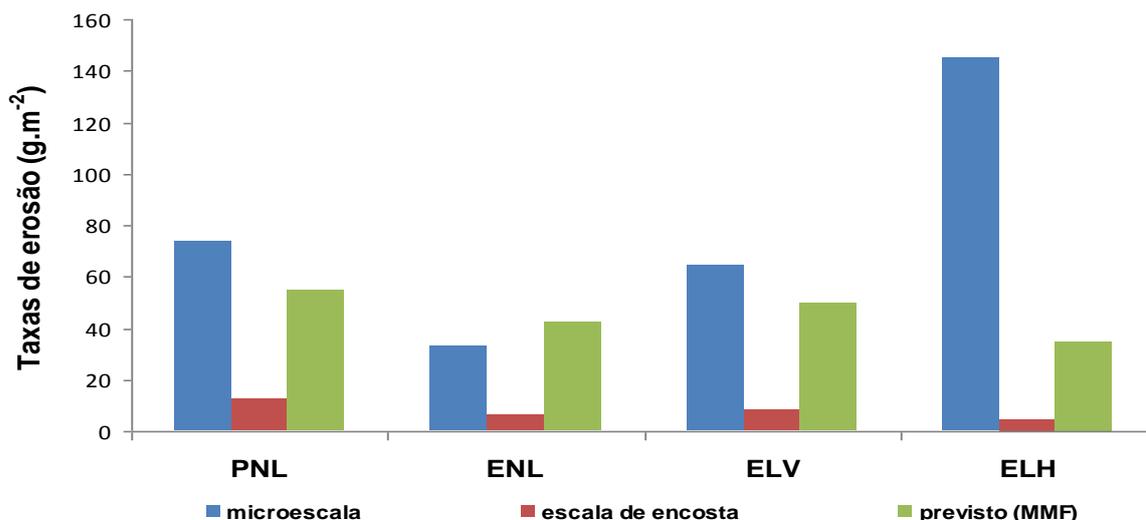


Figura 12 – Taxas de erosão (g.m<sup>-2</sup>) medidas vs previstas.

Para averiguar a existência de uma boa relação dos valores estimados com os valores medidos foi ainda realizada uma correlação entre ambos. Verificou-se uma relação linear da modelação, em que tanto as perdas de solo modeladas como as perdas de solo medidas, foram superiores nas microparcelas. No entanto, a correlação em ambas as escalas apresenta-se muito baixa, obtendo um valor de 0,08 em ambas as situações (Figura 13).

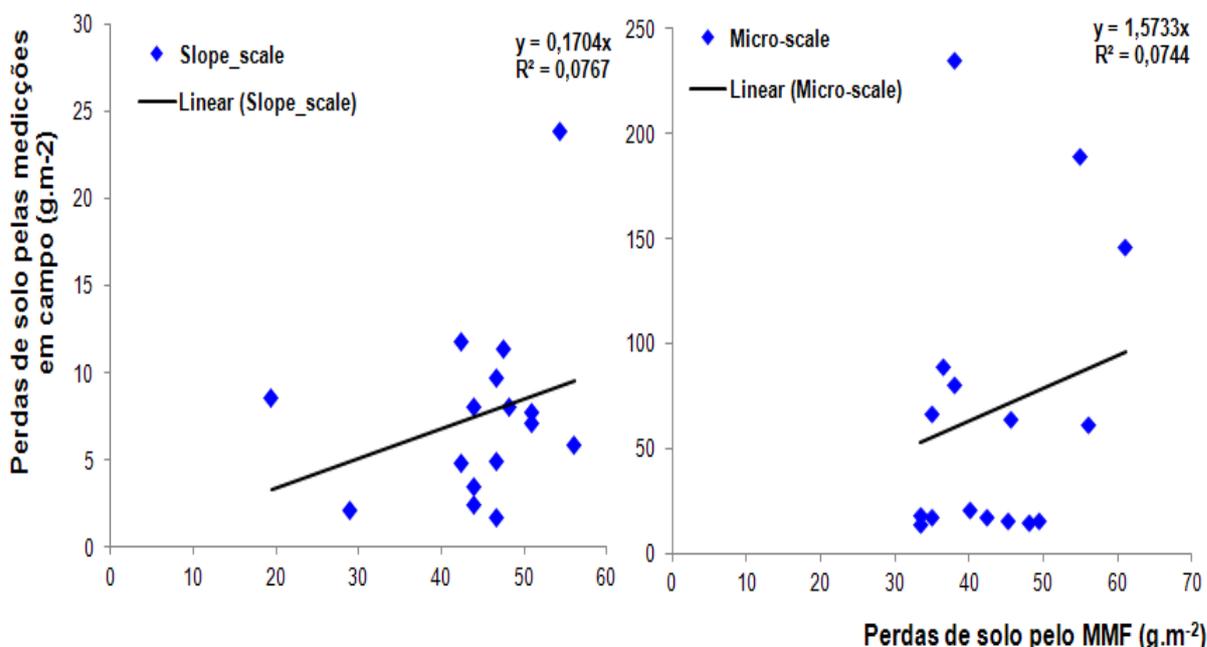


Figura 13 – Taxas de erosão com origem nas medições de campo vs determinadas pelo modelo MMF nas duas escalas para todas as parcelas.

Dado que o modelo permite o estudo da formação de escorrência, foi ainda realizada uma comparação segundo este parâmetro, para assim melhor compreender os resultados obtidos anteriormente (Tabela 8).

**Tabela 8** – Valores medidos e modelados das taxas de erosão anuais para as quatro encostas.

Escorrência (mm.ano)				
	PNL	ENL	ELV	ELH
Micro-escala	616	201	328	814
Escala de encosta	56	21	40	24
Modelação MMF	966	1059	966	966

Verifica-se os mesmos erros que os encontrados nas taxas de erosão. Mais uma vez o modelo sobrestima os valores quando comparadas com os valores medidos à escala de encosta. É de referir que o último cálculo efetuado no modelo, consiste em igualar as taxas de erosão ao valor mais baixo dos resultados referentes à capacidade de desagregação do solo (F+H) e à capacidade de transporte de sedimentos (TC). Para o caso de estudo, o modelo ofereceu em todas as parcelas e em ambas as escalas, o TC como o valor mais baixo, apresentando-se assim este como o valor da taxa de erosão modelada. Verifica-se assim um valor muito elevado no cálculo das taxas de escorrência, possivelmente devido ao valor baixo de evapotranspiração total utilizado, levando a elevadas taxas de escorrência. Ao fazer alterações de pequena ordem de grandeza neste fator, verificou-se alterações significativas no valor de escorrência (diminuição) e, por conseguinte, no valor de erosão.

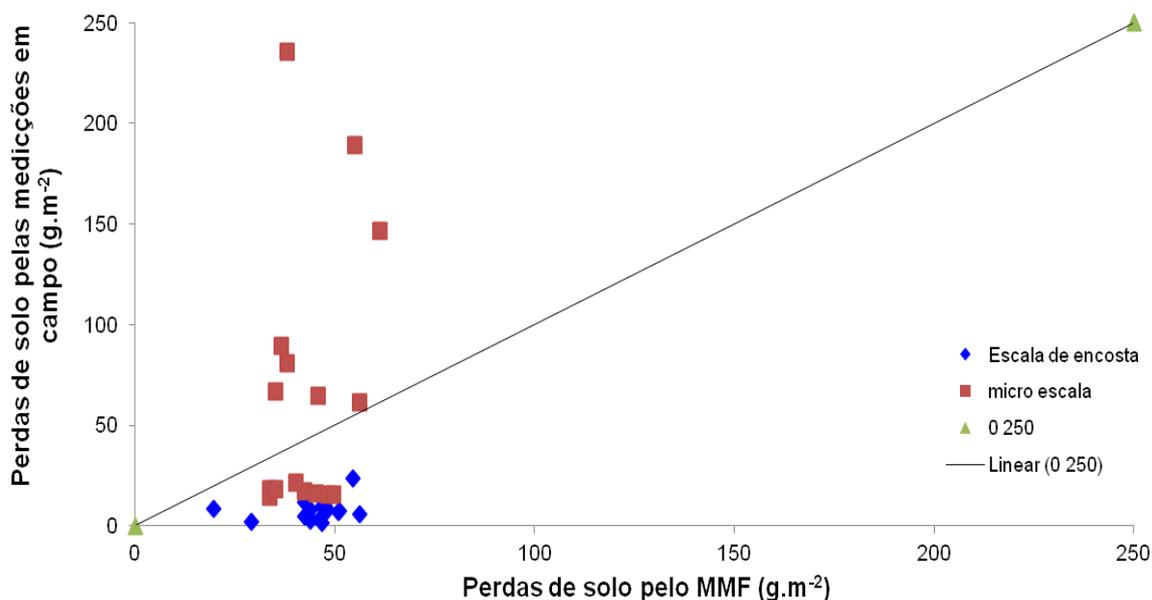
Para avaliar a eficiência do modelo, foi calculada a correlação e o coeficiente de eficiência (Nash and Sutcliffe, 1970), entre os resultados modelados e os medidos no local. Os coeficientes que indicam o desempenho do modelo (coeficiente de correlação e Índice de Nash- Sutcliffe), entre os resultados modelados e os valores observados de erosão, constam na Tabela 9. Globalmente, os resultados iniciais são fracos em termos de desempenho do

modelo. A correlação entre os resultados do modelo e resultados observados é baixo com 0,08 para a escala de encosta e 0,10 para a microescala. O modelo parece ter uma resposta mais concordante para as microparcelas verificando-se índices de eficiência e coeficientes de correlação mais elevados.

**Tabela 9 – Valores de Eficiência e correlação.**

	Modelação vs Escala de encosta	Modelação vs Micro-escala
R <sup>2</sup>	0,08	0,10
Nash	- 53	- 0,28

Pela Figura 14, verifica-se uma maior dispersão à escala das microparcelas e ainda que as correlações sejam baixas o Nash-Schifle indica melhor previsão a esta escala.



**Figura 14 – Correlação das perdas de solo estimadas com as perdas de solo medidas.**

Por fim, pode-se avaliar este modelo como não sendo capaz de prever as taxas de erosão da mesma ordem de grandeza que as taxas de erosão reais. Analisando as várias encostas, pode-se dizer, que para o terceiro ano após fogo, este modelo apresenta resultados mais ou menos aceitáveis, tendo em conta que

a área de estudo é caracterizada por um solo esquelético, com um coberto de pedras elevado, limitando as taxas de erosão ( $< 3t/ha.ano$ ). No entanto, há que ter em conta que os dados de entrada provêm de medições em campo, que por vezes apresentam elevada variabilidade e de referências que podem não ser as mais adequadas para este estudo. É também de referir que o modelo não tinha como “input” a proteção de eventuais pedras e outros elementos da natureza, que poderão justificar a diferença de valores obtida pelo modelo.

Para comentar quanto ao rigor aplicado a este estudo, na Tabela 10 foi realizada uma comparação com outros estudos. De uma maneira geral, quase todos os estudos apresentam valores inferiores que o determinado pelo presente estudo. No entanto no estudo realizado por De Jong et al., (1999), existem duas situações em que os valores estimados são muito superiores aos apresentados pelo estudo atual.

**Tabela 10** – Resultados medidos e previstos segundo o MMF por outros autores.

Descrição	Precipitação (mm.ano)	Taxa de erosão medida (ton/ha.ano)	Taxa de erosão prevista (ton/ha.ano)	Modelo aplicado	Fonte
Cartografia de risco de erosão em áreas ardidas (Açores, Albergaria-a-Velha)	1134	Qualitativa	0,001-0,310	MMF	Vieira (2008)
Solo franco arenoso, 7% declive (El Ardal, Espanha)	n/a	0,0009	0,0948	MMF	Morgan (2001)
Determinação de erosão do solo usando o SEMMED e deteção remota em áreas Mediterrâneas	>800	Qualitativa	0 - 9,76x10 <sup>-3</sup>	MMF	De Jong et al., (1999)
		7,4	3,56		
		4,7	2,78		
Risco de erosão numa área ardida do centro de Portugal	1291	Micro-escala 0,33 – 1,45 Escala Encosta 0,04 – 0,12	0,35 – 0,54	MMF	Presente estudo

## 2.5 Conclusões

As principais conclusões deste estudo sobre a erosão hídrica após incêndios florestais, nomeadamente durante o terceiro ano pós-fogo foram as seguintes:

- **À escala das micro-parcelas:**
  - ✓ Foram observados coeficientes de escorrência mais elevados em duas parcelas de si muito distintas, PNL e ELH.
  - ✓ A parcela ELV obteve um valor mais baixo de escorrência, o que não seria esperar.
  - ✓ No período de Fevereiro a Março de 2011, todas as parcelas apresentam um máximo de escorrência, onde ocorreram valores elevados de precipitação, antecidos por um período seco.
  - ✓ Apesar de seguirem uma mesma linha de tendência em termos de erosão, é a parcela ELH quem apresenta valores mais elevados.
  - ✓ Saliem-se dois picos máximos distintos: um em Outubro para a parcela ELH e outro em Janeiro para o PNL. Houve nestes meses grande quantidade de precipitação nestes locais, que possam ter provocado uma enxurrada, que transportou grande quantidade de material, aumentando a erosão
  
- **À escala de encosta:**
  - ✓ Os valores de escorrência superficial foram bastante elevados em duas das quatro encostas, correspondendo à % de 4,4 para PNL e 3,1 para ELV: Uma possível explicação pelo elevado valor de escorrência no Pinhal prende-se com o maior comprimento e a maior inclinação desta encosta.
  - ✓ Todas as encostas apresentam o máximo de escorrência durante Fevereiro e Março de 2011, quando ocorreram os valores mais elevados de precipitação após um período seco.
  - ✓ A esta escala, a parcela ELH já apresenta valores inferiores de erosão, devendo a esta encosta ter um comprimento superior que impossibilita que o material

arrastado pela chuva ganhe velocidade, acabando por ser infiltrado e não provocar erosão.

- ✓ Em termos de erosão, a esta escala as parcelas obtiveram uma taxa média cerca de 10x inferior.
- ✓ Comparando as parcelas de eucaliptal, a que não apresenta lavragem é quem têm maior taxa de erosão ( $12,18\text{g.m}^{-2}$ ). A manta morta e o solo desprotegido podem levar a este aumento.
- ✓ Diminuição das taxas de escorrência e erosão com o aumento da escala.

- **Comparação das duas escalas:**

- ✓ As encostas estudadas apresentam padrões de escorrência diferentes entre escalas. À microescala os coeficientes de escorrência são muito maiores que à escala de encosta. Tendo em conta que à escala de encosta as áreas são estimadas, estas poderão influenciar os resultados na medida em que a sua contribuição para a escorrência pode na realidade ser menor que o calculado.
- ✓ As parcelas á escala de encosta, apresentam valores de coeficiente de escorrência e de taxas de erosão muito inferiores às parcelas á micro-escala. O coeficiente apresenta valores médios de 3% e 38%, respetivamente. Quanto às taxas de erosão, o valor médio obtido para as microparcelas foi de  $78,2\text{g.m}^{-2}$  e de  $7,1\text{g.m}^{-2}$  para as parcelas à escala de encosta.
- ✓ O uso do solo Pinhal apresenta maior risco de erosão (pouca profundidade e fácil saturação).
- ✓ A lavragem anterior ao incêndio, parece ter impacto na resposta hidrológica.
- ✓ Verificou-se boa relação da escorrência com a erosão em ambas as escalas.
- ✓ Na maioria os valores são superiores quando comparados com o 1ºano, revelando que o impacto ainda possa estar presente.

- **Modelação com MMF**

- ✓ As taxas de erosão foram sobrestimadas, na qual os resultados finais do modelo apresentaram valores mais elevados que os valores medidos.
- ✓ Assim, o modelo não se aproxima da realidade no que toca à ordem de grandeza das taxas de erosão estimadas.
- ✓ No entanto, também destacou a parcela de Pinhal como a que apresenta maior risco de erosão.
- ✓ Dado que para outros autores, o mesmo modelo foi aplicado com sucesso, propõe-se uma nova parametrização calibrando o modelo à área de estudo.

## Capítulo 3 – Considerações Finais

Esta dissertação tinha como objetivo o estudo dos efeitos dos incêndios florestais na erosão do solo, na região centro de Portugal, através da comparação de áreas com diferentes cobertos (Pinhal vs. Eucaliptal) e diferente gestão florestal (tipo de lavrado). Desta forma foram analisados os parâmetros de escorrência e de erosão em diferentes encostas efetuando a análise a duas escalas distintas (microescala e escala de encosta).

Os valores de erosão encontrados para o terceiro ano pós fogo, não diferenciavam muito dos encontrados para o primeiro ano pós fogo. Desta forma, seria relevante uma análise das taxas anuais desde a ocorrência do incêndio até aos dias de hoje ara verificar a que ponto estamos a nível de impacto. Juntamente poderia ser feito uma análise à escala da bacia hidrográfica.

No que toca ao modelo MMF, este deve ser sempre ajustado á área de estudo usando-o como indicador de risco de erosão.

## **Referências Bibliográficas**

Alexandrian, D., Esnauld, F. e Calabri G., 1999. Forest fires in the Mediterranean area. *Unasylva*, 197, 35-41.

Catry, F., Bugalho, M. e Silva, J., 2007. Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra. CEABN-ISA, Lisboa, 36 pp.

Chang, M., 2002. *Forest Hydrology: An introduction to water and forest*. CRC Press.

Coelho, C.; Shakesby, R.; Walsh, R., 1991. Effects of Forest Fire on Soil Erosion and Drainage Basin Dynamics. Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e Departamento of Geography University College of Swansea, (Report to E.C. in fulfillment of Research Contract).

Coelho, C.O.A., Ferreira, A.J.D., Boulet, A.K., Keizer, J.J., 2004. Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 37, 233–240.

De Jong, S.M., Paracchini, M.L., Bertolo, F., Folving, S., Megier, J., De Roo, A.P.J., 1999. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED abd remotely sensed data. *Catena* 37, 291 – 308.

DUDF (2010): Relatório anual de áreas ardidas e ocorrências 2010. Autoridade Florestal Nacional.

Emmerich, W.E., 1998. Estimating prescribed burn impacts on surface runoff and water quality in southeastern Arizona, in *Proc., Rangeland Management and Water Resources*, Potts, D.F., Ed., AWRA, pp, 149-158.

Fabião, A. M. D., 1996. Árvores e Florestas. Publicações Europa – América, Mem-Martins, 228pp.

Faria, S.R.M., 2008. Repelência à água em Solos Florestais queimados e não queimados na região Centro. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro.

Fernandes, I.A.C., Nunes, J.P., Ferreira, R.S.V., Pereira, L.M.G.P., Vieira, D.C.S., Keizer, J.J., (2010). Escorrência e erosão a múltiplas escalas espaciais numa área florestal recentemente ardida no centro de Portugal. Revista Territorium, n.º 17, 2010, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Ferreira, A.J.D., 1996. Processos hidrológicos e hidroquímicos em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. e *Pinus pinaster* Aiton" Tese de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Universidade de Aveiro, 418p.

Ferreira, A.J.D, Coelho, C.O.A., Boulet, A.K, Lopes, F.P., 2005. Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal. International Journal of Wildland Fire 14, 401–412.

Ferreira, A., J., D., Coelho, C., Ritsema, C., Boulet, A., Keizer, J., 2008. Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach, Catena, 74, pp 273-285.

Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Silva, J.S., Boulet, A.K., Keizer, J.J., 2009. Portuguese Experience Managing Fire Effects. Fire Effects on soils and restoration strategies Cerdà A and Robichaud P (eds), Land Reconstruction and Management, vol. 5, Science Publishers, 401 – 424.

Jonhson, D., Murphy, J.D., Walker, R.F., Glass, D.W. & Miller, W.W., 2007. Wildfire effects on forest carbon and nutrient budgets. Ecological Engineering, 31, 183-192.

Júnior, Sabino, 2010. Dossier didático: XV - Desenvolvimento Sustentável. O caso de Portugal: Ambiente e Recursos.

Malvar, M., 2007. Resposta hidrológica e de erosão do solo em eucaliptais recentemente ardidos, e a sua modelação com MEFIDIS. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra.

Malvar, M.C., Prats, S.A., Nunes, J.P., Keizer, J.J., 2011. Post fire overland flow generation and inter rill erosion under simulated rainfall in two eucalypt stands in north-central Portugal. *Environmental Research* 111, 222–236.

Martin, D., Moody, J., 2001. Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds, *Hydrological Processes*, 15, pp 2893-2903.

Meyer, G., 2002. Fire in western conifer forests: geomorphic and ecologic processes and climatic drivers, *GSA Annual Meeting, Geological Society of America*, pp 46.

Miranda, P. M. A., 2001. *Meteorologia e Ambiente. Fundamentos de Meteorologia, Clima e Ambiente Atmosférico*. Universidade Aberta, Lisboa, 321pp.

Morgan, R.P.C., and R.J. Rickson. 1995. *Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach*. E & F Spon, London, England.

Morgan, R.P.C., 2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan- Morgan-Finney model. *Catena* 44, 305-322.

Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.

Pereira, J. M. C., Carreiras, J. M. B., Silva, J. M. N. e Vasconcelos, M. J. (2006) Alguns conceitos básicos sobre fogos rurais em Portugal. In: *Incêndios Florestais*

em Portugal: caracterização, impactes e prevenção. Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., Silva, T. P. (eds.). ISAPress, Lisboa, 133-164.

Pereira, J. S., Martins, H. e Borges, J. G. C. (2007) Forests for the 21th Century? In: A Portrait of State-of-the-Art Research at the Technical University of Lisbon. Pereira, M. S. (eds.). Springer, Netherlands, 385-400.

Prats, S. , 2007. Simulações de chuva para a medição e modelação da erosão do solo em áreas florestais recentemente ardidas. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Prats, S. A., MacDonald, L.H., Monteiro, M. S. V., Ferreira, A. J. D., Coelho, C.O.A., Keizer, J.J., 2012. Effectiveness of forest residue “mulching” in reducing post-fire runoff and erosion in a pine and a eucalypt plantation in north-central Portugal.

Radich, M. C. e Alves, A. A. M., 2000 Dois Séculos da Floresta em Portugal. Celpa, Lisboa, 226 pp.

Ramos, M. A. P., 2008. Erosão Hídrica e Dinâmica do Carbono: Um estudo à micro-escala com Simulação de Chuva. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Instituto Politécnico de Bragança.

Reinhardt, E. D., Keane, R. E., Brown, J. K., 2001. Modeling fire effects. International Journal of Wildland Fire 10, 373-380.

Robichaud, P.R., Brown, R.E., Wohlgemuth, P.M., Wagenbrenner, J.W., 2011. Measuring post-wildfire erosion control treatment effectiveness. ISELE Paper Number 11071.

Santos, F. D. e Miranda, P., 2006. Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa, 505pp.

Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J.B., Walsh, R.P.D., 1996. Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalypt forests in Portugal. *Applied Geography* 16, 337–356.

Shakesby, R., Doerr, S. (2006) Wildfire as a hydrological and geomorphological agent, *Earth-Science Reviews*, 74, pp 269 – 307.

Silva, A.F.R., 2009. Modelação do dano causado pelos incêndios florestais em Portugal. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa.

Spencer, C.N., Gabel, K.O., Hauer, F.R., 2003. Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. *Forest Ecology and Management*, 178, 141-153.

Soler, M.; Latron, J.; Gallart, F. (2008) – “Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees)”. *Geomorphology*, 98: 143-152.

Valette, J., C., (1990): Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières, *Rev.For.Fr.* 42 pp 76-92.

Vélez, R., 2006. A defesa da floresta contra incêndios florestais: estratégias, recursos, organização. In: *Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção*. Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., Silva, T. P. (eds.). ISAPress, Lisboa, 355-368.

Vieira, D.C.S., 2008. Cartografia de risco de erosão, à escala de encosta, numa área recentemente ardida na região Centro. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro.

Vieira, D. C. S., Keizer, J. J., Nunes, J. P. Fenandes, I. A. C. Faria, R. S. V, Pedrosa, E. T., Varela, M. E. T., Pereira, L. M. G. (2010): Runoff at the micro-plot and slope scale following wildfire, central Portugal. FUEGORED 2010, Santiago de Compostela, Internatonal workshop, pp 325.

**Outras referências:**

IFN (2005/06). Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/>

pt.wikipedia.org/wiki/Rio\_Mondego.

Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\\_Mondego](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Mondego)

Afn.min-agriultura

Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/outros/faqs/ordenamento-e-gestao/>