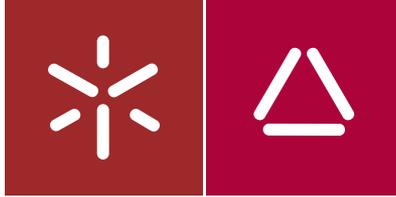




Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

José Manuel Fernandes Rocha

Incêndios florestais como fator de
erodibilidade do solo: aplicação experimental
de técnicas de fogo controlado e de parcelas
de erosão no município de Santo Tirso



Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

José Manuel Fernandes Rocha

Incêndios florestais como fator de
erodibilidade do solo: aplicação experimental
de técnicas de fogo controlado e de parcelas
de erosão no município de Santo Tirso

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Geografia
Especialização em Planeamento e Gestão do Território

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor António Avelino Batista Vieira
Professor Doutor António José Bento Gonçalves

Declaração

Nome: **José Manuel Fernandes Rocha**

Endereço eletrónico: jmanuelfrocha@sapo.pt Telefone: 917034479

Número do Bilhete de Identidade:14182368

Título dissertação: **Incêndios florestais como fator de erodibilidade do solo: aplicação experimental de técnicas de fogo controlado e de parcelas de erosão no município de Santo Tirso**

Orientadores: **Professor Doutor António Avelino Batista Vieira**

Professor Doutor António José Bento Gonçalves

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado: Mestrado em Geografia – Área de especialização em Planeamento e Gestão do Território

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:_____

Agradecimentos

Aos meus orientadores, o Professor Doutor António Vieira e o Professor Doutor António Bento Gonçalves agradeço todo o apoio e disponibilidade ao longo deste ciclo de aprendizagem, pela partilhada de conhecimentos, de ensinamentos e das técnicas de trabalho de campo e laboratoriais, sem dúvida conhecimentos fundamentais à aprendizagem de um geógrafo.

À minha família, meus pais e aos meus avós, que desde o primeiro momento até ao final desta etapa proporcionaram todo o apoio, carinho e dedicação, para concluir mais um “fragmento” da minha vida, acreditando em mim e nas minhas capacidades. Agradeço ao Rui Pedro, todo o auxílio que, apesar dos momentos de mau humor sempre me apoiou na concretização deste trabalho, muitas vezes me livrou de tarefas inerentes.

Ao meu amigo Rúben, todas as conversas de incentivo, ao apoio nos momentos mais difíceis, e às ocasiões de gracejo e de boa disposição.

Aos meus colegas de percurso e amigos de sempre. À Helena que duramente me acompanhou nesta batalha, com os nossos momentos de conversa, mas essencialmente de apoio. À Catarina e ao Hélder, pessoas fundamentais no apoio e nos devaneios de circunstância, mas essencialmente pela ajuda na concretização da dissertação através dos “diálogos científicos” pertinentes.

À Elisabete, o carinho e a preocupação, sempre com persistência para que alcançasse este período, mas essencialmente pelas horas perdidas e o apoio incondicional nos momentos de fraqueza.

Ao Telmo, à Márcia e à Joana, obrigado pela amizade, pelos momentos de boa disposição e pela preocupação.

Agradeço a todos professores do Departamento de Geografia da Universidade do Minho que me formaram enquanto geógrafo, e a um ou outro que me ajudaram nas contradições deste trabalho. Aos funcionários do Departamento de Geografia da UM, à D. Isabel e ao Sr. Carlos, que sempre estiveram no auxílio a todos os pedidos.

Agradeço ao Dr. Gil que disponibilizou as suas propriedades (Bouça da Samoça) para realização do estudo. Aos Bombeiros Voluntários de Santo Tirso e à Câmara Municipal de Santo Tirso, principalmente ao GTF, pela colaboração na realização da queima experimental.

Muito obrigado a todos.

Resumo

INCÊNDIOS FLORESTAIS COMO FATOR DE ERODIBILIDADE DO SOLO: APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DE TÉCNICAS DE FOGO CONTROLADO E DE PARCELAS DE EROÇÃO NO MUNICÍPIO DE SANTO TIRSO

O solo é um “organismo vivo” e dinâmico que sofre transformações ao longo do tempo, resultado da interação de diversos fatores, de origem natural ou antrópica, alguns dos quais com consequências nefastas, que conduzem frequentemente à sua erosão e degradação.

O elevado número de incêndios florestais ocorridos anualmente em Portugal, tem tido como consequência elevados valores de área ardida, facto agravado por um efeito de recorrência cada vez mais frequente, o que implica um agravamento de processos que poderão aumentar os efeitos de erosão e degradação dos solos. Os efeitos de erosão provocados por incêndios florestais são potenciadores de um fator de erodibilidade mais elevado, pela influência que o fogo tem nas prioridades químicas e físicas do solo.

As propriedades químicas e físicas do solo podem sofrer alterações em função da intensidade e da severidade do fogo, com consequências no que concerne à presença da qualidade e da quantidade de matéria orgânica, crucial para uma possível regeneração do coberto vegetal.

Estes efeitos ocorridos no solo após os incêndios podem levar à remoção dos elementos constituintes do solo, não possibilitando uma regeneração tão rápida do coberto vegetal. Este facto é condicionado pela influência dos processos erosivos na degradação e erosão dos solos, devido à remoção dos nutrientes.

Com o objetivo de prevenir a erosão após incêndio, é necessária uma preocupação com a mitigação dos fatores que contribuem para a erosão, minimizando-os através da implementação de medidas, no sentido da mitigação deste risco.

Assim, com a realização de uma queima experimental em floresta de *Eucalyptus globulus* e em matos, procura-se avaliar as perdas e alterações de solo verificadas após incêndio, concretizando recolhas de dados e solo, e aplicando técnicas laboratoriais, procedendo-se a obtenção dos resultados da forma como os efeitos do fogo instigam a erosão do solo.

Em suma, pretende-se avaliar se a utilização de técnicas de fogo antes de período crítico de incêndios é favorável para diminuição da carga de combustível, e por sua vez, efetivarem-se como medidas de mitigação dos efeitos do fogo sobre o solo e redução dos incêndios florestais dramáticos.

Palavras-chave: Queima experimental, incêndios florestais, solo, erosão, degradação

Abstract

WILD FIRES AS FACTOR OF ERODIBILITY OF THE SOIL: EXPERIMENTAL APPLICATION OF PRESCRIBED BURN TECHNIQUES AND SOIL EROSION PLOTS IN SANTO TIRSO MUNICIPALITY

The soil is a dynamic and “living organism” that undergoes transformations over time, which result in the interaction of various factors, both of natural and anthropic origin; some of which with negative consequences which frequently lead to its erosion and degradation.

The considerable number of forest fires occurring annually in Portugal has resulted in a large amount of burnt area, a fact aggravated by an ever more frequent recurrence effect. This results in the increase of processes, which could increment the effects of erosion and soil degradation. The consequences of erosion provoked by wildfire increases the probability of erodibility factor, due to the influence the fire has in the chemical and physical priorities of the soil.

The chemical and physical properties of the soil can suffer alterations depending on the intensity and severity of the fire, with consequences in relation to the presence of quality and quantity of organic material, which is crucial for a possible regeneration of the ground cover.

The consequences to the soil in the aftermath of a forest fire can result in the removal of constituent elements of the soil, which hinders a more rapid regeneration of the ground cover. This fact is conditioned by the influence of erosive processes in the degradation and erosion of soils, due to the removal of nutrients.

Seeking to prevent the erosion in the aftermath of a forest fire, what is necessary is a concern with the mitigation of factors that contribute to erosion, minimizing these factors through the implementation of measures aiming to mitigate this risk.

Therefore, through prescribed burning in the bush and in a forest of *Eucalyptus globulus*, we intend to evaluate the loss and alteration of the soil verified in the aftermath of a forest fire, materialized through data and soil collection, and application of laboratorial techniques, so as to collect results of the way the consequences of a wildfire instigate soil erosion.

In short, we intend to evaluate if the utilization of fire techniques previous to the critical period of wildfire is favourable to the minimization of the amount of combustible material, and in turn, if these materialize as mitigation measures for the consequences wildfire have on soils and in the overall reduction of dramatic wildfire.

Keywords: Prescribed burning, wildfire, soil, erosion, degradation

Índice

Introdução	1
Objetivos	3
Metodologia	5

Capítulo I – Os efeitos dos incêndios nos solos

1. Os solos	7
1.1. Formação dos solos	7
1.2. Componentes do solo	9
1.3. Propriedades dos solos.....	12
1.3.1. Propriedades físicas	12
1.3.2. Propriedades químicas	16
1.4. Perfil do solo.....	21
1.5. Classificação dos solos	23
1.6. Erosão dos solos	26
1.6.1. Tipos de erosão	26
2. Os incêndios e a erosão	30
2.1. Tipos de incêndio florestal.....	30
2.2. Regime dos incêndios.....	32
2.3. Os efeitos dos incêndios (severidade e intensidade)	33
2.3.1. Na vegetação	35
2.3.2. Na água	37
2.3.3. Na atmosfera	37
2.3.4. No Solo	38
2.4. A erosão hídrica após incêndio florestal	43
2.5. Medidas de mitigação do solo após incêndio florestal.....	45

Capítulo II – A área de estudo (freguesia da Reguenga)

1. Retrato físico do município e área de estudo.....	49
1.1. Enquadramento da área no município de Sto. Tirso	49
1.2. Geologia	50
1.3. Relevo	51
1.4. Clima	55
1.5. A floresta	56
1.6. Os solos	59
2. Os incêndios	63
2.1 O número de incêndios e as áreas ardidas	64
2.1.1 A evolução temporal	64
2.1.2 A Repartição espacial	66
2.2. A recorrência dos incêndios	66

Capítulo III – Os efeitos de uma queima experimental no solo em Eucaliptal e em matos

1. Queima experimental.....	69
1.1. A Bouça da Samoça	70
1.2. A queima experimental - método	76
1.3. O desenho experimental	84
1.3.1. As Parcelas.....	84
1.3.2. As características do modelo (<i>design</i>) de parcela	87
1.3.3. Identificação das Parcelas.....	89
1.4. Materiais e Métodos	90
1.4.1. Procedimentos em Campo.....	92
1.4.2. Procedimentos/técnicas em laboratório	93
1.4.3. Análise e quantificação de índices	95

1.4.4. Análise estatística.....	96
2. Análise empírica.....	99
2.1. Dados	99
2.1.1 Escorrência e Precipitação	99
2.1.2. A erosão.....	100
2.1.3. Matéria mineral: análise diferencial entre Parcela P e M.....	102
2.1.4. Matéria orgânica: diferencial entre a Parcela M e P.....	111
2.2. Resultados.....	113
3. Discussão.....	117
Conclusões.....	123
Bibliografia.....	127
Anexos	141

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de Textura	13
Figura 2 - Representação simplificada de argila, de catiões adsorvidos e dos iões em solução .	19
Figura 3 - Escala de pH, com estado típico de alguns solos	21
Figura 4 - Horizontes do Solo	22
Figura 5 - Incêndio de superfície	30
Figura 6 - Imagem representativa de Incêndio de Copa	31
Figura 7 - Imagem representativa de Incêndio Subterrâneo	31
Figura 8 – Localização geográfica da freguesia da Reguenga (Santo Tirso)	49
Figura 9 - Mapa Geológico do município de Santo Tirso	51
Figura 10 - Hipsometria do Município e da Área de Estudo.....	52
Figura 11 - Exposição das vertentes do município e da área de estudo.....	53
Figura 12 - Mapa de declives do município e da área de estudo	54
Figura 13 - Gráfico Termopluviométrico da estação de Santo Tirso (1951 a 1980).....	55
Figura 14 - A área de total das espécies florestais, por quinquénio.....	57
Figura 15 - Espécies por povoamentos dominantes	58
Figura 16 - Distribuição territorial dos povoamentos florestais.....	58
Figura 17 – Uso do solo no município de Santo Tirso, em 1990	61
Figura 18. Uso do solo no município de Santo Tirso, em 2006	62
Figura 19 - Área ardida e o número de ocorrências, no município de Santo Tirso entre 1980 e 2014	65
Figura 20 - Área ardida e o número de ocorrências, na freguesia da Reguenga entre 1980 e 2014	65
Figura 21 - Repartição espacial dos incêndios no município e na área de estudo (1990 a 2013)	67
Figura 22 - Recorrência dos incêndios florestais no município e na área de estudo (1990 a 2013)	67
Figura 23 - Enquadramento geográfico da área de estudo e das parcelas de erosão	70
Figura 24 - Enquadramento geomorfológico e das áreas ardidas, na área de estudo das Parcelas	71
Figura 25 - Esquema da parcela e da caixa de erosão " <i>Gerlach modificado</i> "	85
Figura 26 - Esquema do coletor de água e da caixa de erosão.....	86

Figura 27- Fluxo de erosão em áreas queimadas e consoante a parcela aplicada.....	88
Figura 28 - A escorrência e precipitação registada na Parcela M.....	99
Figura 29 - A escorrência e precipitação registada na Parcela P.....	100
Figura 30- A erosão e precipitação registada na Parcela P.....	101
Figura 31 - A erosão e precipitação registada na Parcela M.....	101
Figura 32 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Out. 2014.....	102
Figura 33 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Nov. 2014.....	103
Figura 34 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Jan. 2015.....	104
Figura 35 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Fev. 2015.....	105
Figura 36 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Mar. 2015.....	106
Figura 37 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Abr. 2015.....	107
Figura 38 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Jun. 2015.....	108
Figura 39 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Ago. 2015.....	109
Figura 40 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Set. 2015.....	110
Figura 41 - Matéria orgânica presente nas Parcelas M e P.....	111
Figura 41 - Matéria orgânica presente nas Parcelas M e P	Erro! Marcador não definido.

Índice de Fotografias

Fotografia 1 - Faixa de gestão de combustível.....	77
Fotografia 2 - Amostra de local de recolha da vegetação	77
Fotografia 3 - Bombeiros Voluntários de Santo Tirso e Sapadores florestais	78
Fotografia 4 - Veiculo de Combate a Incêndios Florestais dos Bombeiros Voluntários de Santo Tirso	78
Fotografia 5 - Aplicação das técnicas de fogo, pelo técnico de PDMFCI, com pinga-lume	79
Fotografia 6 - Linha de fogo com aplicação de técnica de fogo de flanco/lateral.....	81
Fotografia 7 - Linha de fogo com técnica de fogo “a favor”	81
Fotografia 8 - Área de Matos após aplicação de técnica de fogo controlado.....	83
Fotografia 9 - Linha de fogo com técnica de fogo “a favor” com chamas elevadas.....	83
Fotografia 10 - Montagem inicial das parcelas de erosão.....	86
Fotografia 11 – Caixa de erosão.....	87
Fotografia 12 - Parcela M – parcela introduzida em Matos	89
Fotografia 13 - Parcela P – parcela introduzida em Povoamentos	90
Fotografia 14 - Pluviómetro colocado no solo	91
Fotografia 15 - Procedimento de recolha do solo	91
Fotografia 16 - Medição da água de escorrência acumulada.....	92
Fotografia 17 - Sequência dos procedimentos na caixa de erosão, com recolha dos sedimentos erodidos e manutenção da caixa	93
Fotografia 18 - Mufra	93
Fotografia 19 - Limpeza das amostras de solo.....	94
Fotografia 20 - Agitador de peneiros	94
Fotografia 21 - Forno.....	95

Índice de Quadros

Quadro I - Calor específico de alguns constituintes do solo	15
Quadro II - Classificação do solo, baseado na classificação americana de 1949.....	23
Quadro III - A severidade do fogo considerando os combustíveis consumidos e os efeitos.....	34
Quadro IV - Escala de calibração - Desvio- Padrão.....	98
Quadro V - Valores de assimetria de <i>phi</i>	98
Quadro VI - Valores de angulosidade.....	98
Quadro VII – Quadro síntese das análises estatísticas da matéria mineral pelo "Método dos Momentos" e de Folk	114

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Textura mineral e MO do solo "não ardido" da Área de Estudo (Bouça da Samoça) .	76
Tabela 2 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Out. 2014).....	103
Tabela 3 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Nov. 2014)	104
Tabela 4 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Jan. 2015).....	105
Tabela 5 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Fev. 2015).....	106
Tabela 6 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Mar. 2015)	106
Tabela 7 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Abr. 2015).....	108
Tabela 8 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Jun. 2015).....	109
Tabela 9 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Ago. 2015)	110
Tabela 10 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Set. 2015)	110

Introdução

O solo é um “organismo vivo” e natural que é condicionado por diversos fatores. Este elemento físico é variável quanto à sua formação e constituição, assegurando à vegetação uma base sólida e consistente que permita a circulação de ar, água e agilize a penetração das raízes (Costa, 1985).

Assim, o estudo do solo é importante para através de medidas proteção, permitir a preservação dos ecossistemas, pois é a base para o sustento dos seres vivos e em particular do Homem.

O estudo pedológico, isto é, o conhecimento do solo, permite a caracterização das tipologias, da formação, dos componentes, das propriedades, da classificação, bem como dos perfis dos solos que são condicionados pelos agentes erosivos.

Na formação de um solo deve-se ter em conta os cinco principais fatores que limitam a formação deste elemento, ou seja, o clima, os organismos, o relevo, a idade geológica e a água, que, através de processos conjuntos, podem originar horizontes com tipologia diferenciada. A composição do solo é resultado de quatro constituintes (ar, água, matéria mineral e matéria orgânica), os quais apresentam uma representatividade variável no que compete à estrutura de um solo.

Assim, é importante o conhecimento das propriedades químicas e físicas do solo. Como propriedades físicas entende-se o peso específico (unidade volume do solo), a textura, a estrutura, a coesão, a tenacidade, a plasticidade, a adesividade e a permeabilidade do solo. Já as propriedades químicas, aborda as diferentes formas de combinação química que se pode perceber nos nutrientes do solo e na atividade química do solo (quimismo do solo), isto é, a argila que o constitui, as trocas iónicas, a acidez, a toxicidade e o rH (Cerqueira, 2001).

Os diversos tipos de solo formam-se e constituem-se principalmente pelos fatores como o clima, a geologia e o relevo, originando grupos e subgrupos, constituindo-se em três grandes ordens (zonal, intrazonal e azonal), no que respeita a sua classificação.

«A erosão do solo é uma das maiores ameaças relacionadas com a perda de solo fértil para a produção de alimentos e com a poluição dos ecossistemas aquáticos» (Petan et al., 2010, pág. 100)

Como salienta Cerqueira (2001), a erosão é um processo que se assemelha à formação dos solos. Contudo, a aceleração deste processo produz resultados opostos, pelo que a abordagem

dos diversos processos erosivos é fundamental para a compreensão dos efeitos, por exemplo, após ocorrência do fogo.

Os incêndios florestais são um fenómeno frequente em domínio mediterrâneo, tendo impactes significativos sobre os solos, especialmente pelo agravamento da sua ocorrência que se tem vindo a verificar desde o início do último quartel do século XX.

A ocorrência de incêndios florestais em Portugal tem registado uma ligeira diminuição ao longo da última década, comparativamente com anos subsequentes, sendo que a área ardida e a recorrência acompanhou esta evolução (Lourenço *et al.*, 2012).

No entanto, é necessário conhecer «*el régimen de incêndios que se caracteriza por su intensidad, severidade, estacionalidade, frecuencia, recurrencia y extension quemada (Moya, 2013, pág. 1)*». Os recorrentes incêndios têm consequências para o meio natural envolvente, desde a fauna, à flora, à atmosfera e ao solo.

Os incêndios florestais originam uma brusca alteração das condições da superfície do solo provocando um aumento do risco de erosão (Bautista *et al.*, 2010 citando DeBano *et al.*, 1998).

Neste sentido, o estudo de técnicas e estratégias de mitigação dos impactes negativos sobre o solo após incêndio florestal é fundamental para se assegurar a sustentabilidade deste recurso, sendo que é de vital importância a sua implementação ao nível da microescala, mas que poderá ser relevante também à mesoescala. Moreira *et al.* (2010), citando Ferreira *et al.* (2005a), demonstra que a maioria das perdas registadas no solo ocorre nos primeiros 4 meses após o incêndio, pelo que é também importante a atuação a diferentes escalas temporais, com estratégias diferenciadas, de forma a aumentar a eficácia das mesmas e aumentar a resiliência dos ecossistemas afetados.

No sentido de comprovar as alterações que se verificam a nível do solo após incêndio florestal, aplicou-se no terreno uma situação experimental, que consiste numa queima experimental com recurso a duas técnicas de fogo controlado, em floresta de *Eucalyptus globulus* e em matos. *A posteriori*, instalaram-se duas parcelas para a avaliação da erosão verificada no solo queimado. A avaliação do risco de erosão do solo implica o conhecimento dos fatores responsáveis pela degradação do solo, como o clima, o relevo e os fatores antrópicos, mas também dos efeitos do fogo no solo que, ao conjugar-se todos os fatores, levam à erosão acelerada do solo (Grimm *et al.*, 2002).

Objetivos

A erosão está diretamente relacionada com as alterações da estrutura do solo, por ação dos processos erosivos atuantes à superfície da Terra, dos quais os mais frequentes são os de gênese eólica e hídrica. A ocorrência de incêndios florestais, pela diminuição da vegetação e dos matos que produzem, conduzem à exposição direta do solo aos referidos agentes erosivos, aumentando a sua erodibilidade, por exemplo pela diminuição da porosidade do solo, devido ao impacto direto da chuva sobre o solo (Pereira *et al.*, 2010)

O objetivo principal da presente dissertação é o de avaliar a erosão do solo após incêndio florestal, relativamente ao solo que não foi sujeito a pressão, ou seja, à ação do fogo, tentando assim compreender de que forma o ecossistema se desenvolve depois de ser afetado pelo fogo, através de um conhecimento dos efeitos do fogo em floresta de Eucaliptos e matos. Pretende-se também avaliar as alterações que provocam no solo, procurando-se perceber como outros fatores podem, em conjunto com o fogo, aumentar a erodibilidade do solo.

Numa abordagem teórica pretende-se caracterizar os diversos tipos de solo do território português, tendo em conta as suas características, os constituintes, as propriedades físicas e químicas, a formação e as classificações existentes, abordando também literatura referente aos tipos de erosão do solo.

No subcapítulo relativo a “Os incêndios e a erosão”, propõe-se descrever, ainda que de forma sintética, os efeitos do fogo sobre o solo. Deste modo, é necessário um conhecimento quanto à tipologia e ao regime do fogo (e.g. intensidade do fogo, duração da combustão, época do ano), porque o tipo de resposta do fogo é variável em função da interação entre diversos fatores que o constituem (Moreira *et al.*, 2010).

No caso específico, retratou-se a área de estudo (município de Santo Tirso) quanto à geologia, ao relevo, com a elaboração da cartografia representativa das altitudes, das exposições e dos declives do território em estudo. Realizou-se também uma análise climatológica, tendo em conta os índices de precipitação e temperatura. Prosseguiu-se com a identificação da tipologia dos solos da área, assim como da floresta, com intuito de entender como as espécies arbóreas e a cobertura vegetal influenciam as áreas afetadas pelo fogo, uma vez que a floresta tem função de proteção contra a erosão e um valor recreativo e paisagístico elevado. Atentou-se ainda à avaliação e identificação dos incêndios e das áreas ardidadas, numa perspetiva temporal e espacial.

Com a finalidade de comprovar as teorias abordadas, recolheram-se dados relativos à queima experimental em solo de Eucaliptal e em matos. Neste sentido, realizámos uma queima

experimental utilizando diferentes técnicas de fogo de controlado e implementámos parcelas de erosão para avaliação do índice de erodibilidade do solo. Posteriormente, com recurso a técnicas de laboratório que permitem validar, essencial ao objetivo principal, as alterações a que o solo é sujeito e a cientificidade do estudo, permitindo a reiteração de conclusões através da utilização de ferramentas específicas de trabalho de campo e de laboratório.

Deste modo, os objetivos deste trabalho, passam por:

- Avaliar os efeitos dos incêndios sobre as propriedades do solo e constituintes;
 - Analisar os diferentes processos de erosão identificados e as suas consequências;
 - Analisar as propriedades do fogo, em especial a severidade e a intensidade;
 - Elaborar um histórico das áreas ardidas e da recorrência dos incêndios do município em estudo;
- Compreender a importância de diferentes técnicas de fogo experimental como medida para redução dos combustíveis e consequente mitigação dos incêndios;
 - Caracterizar as medidas de mitigação da erosão;

Metodologia

Na sequência desta dissertação utilizou-se um processo metodológico diversificado, com vista ao cumprimento dos objetivos definidos.

Assim, a componente teórica consistiu na pesquisa bibliográfica com recurso a bibliografia diversa para identificação e suporte literário da caracterização dos solos, descrição dos tipos e regimes dos incêndios, permitindo compreender como a ação do fogo afeta os tipos de solo e o ecossistema envolvente. Neste sentido, tiveram-se em consideração alguns autores com trabalho relevante nestas temáticas, como Lepsch (1977); Cerqueira (2001); Moreira (2005); Pausas (2012); Lourenço (*e.g.*: 1990, 2012).

Para a caracterização climática teve-se em conta os indicadores de precipitação e temperatura, indispensáveis na avaliação do risco de incêndio, que por sua vez são índices de elevada importância na análise dos incêndios para a estrutura do solo. Os dados serão obtidos pela estação termopluviométrica mais próxima da área de estudo, que se localiza em Santo Tirso (Santo Tirso), sendo a fonte da informação o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), no qual se obterão as médias da temperatura mensal e o total de precipitação, porque, como referencia Partidário (1999), o clima é importante quanto à capacidade erosiva e a hidrofobicidade do solo.

A interpretação do relevo da área de estudo é importante na perceção da hipsometria, das exposições das vertentes e dos declives do território. Neste sentido, a Carta Militar de Portugal, folhas nº 98 e 111, do Instituto Geográfico do Exército, série M888 do ano de 1998, à escala 1:25000, permitirá essa visualização e compreensão do território. Porém, a manipulação através dos Sistemas de Informação Geográfica são uma mais-valia para a modelação das cartas de declives, de exposições e altimetria, pelo que para isso se recorreu à versão 10.2 do ArcMAP, *software* ArcGIS (ESRI).

Para perceber os tipos de solos e geologia presentes na área em estudo foi necessária a consulta da Carta Geológica de Portugal, folhas N° 9-B (Guimarães) e N°9-D (Penafiel), do Serviço Geológico de Portugal, ano de 1986. No contexto da classificação dos solos, recorreu-se a Carta dos Solos elaborada pela Direcção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho, folha nº9 (Porto) à escala 1:100000, de forma a caracterizar localmente a formação geológica e os solos, respetivamente.

No que concerne aos incêndios florestais e para a compreensão espacial e temporal, ou seja, da historicidade do fogo no município de Santo Tirso, deve-se ter em conta a informação

disponível pelo Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), que disponibiliza no seu sítio da internet informação digital em *shapefile* referente aos anos e às áreas ardidas, possibilitando a elaboração da carta de recorrência dos incêndios florestais e das áreas ardidas.

A vertente empírica da dissertação consiste na avaliação dos efeitos de uma queima experimental no solo em floresta de *Eucalyptus Globulus* e em matos, localizado na Bouça de Samoça (Reguenga – Santo Tirso), e frequente monitorização com recolha de amostras de solo nas áreas ardidas, de forma a perceber os impactos no horizonte “O” ou “A0” do solo. Numa primeira fase realizou-se uma queima experimental com recurso a duas técnicas de fogo controlado, efetuadas pelos técnicos do Gabinete Técnico Florestal (GTF) credenciados em fogo controlado, auxiliados pelos sapadores florestais e pela proteção civil do município de Santo Tirso, bem como pelos Bombeiros Voluntários de Santo Tirso e supervisionado pela equipa de investigadores do Departamento de Geografia da Universidade do Minho.

Numa fase posterior, ao longo de várias saídas de campo realizou-se a instalação das parcelas, a recolha de amostra de sedimentos e georreferenciação dos locais de recolha.

No apoio à consecução do trabalho de campo, a análise laboratorial representa um complemento importante, pois após a recolha das amostras procede-se à análise granulométrica, da textura, da matéria orgânica, etc., como forma de avaliar a evolução e comprovar as quantidades de matéria orgânica presente no solo após incêndio e como esse resultado influenciará a renovação ecossistémica do território onde o fogo deflagrou.

A presente dissertação insere-se no âmbito do projeto de investigação que tem como objetivo a avaliação do uso de técnicas de fogo controlado para a gestão de combustíveis em áreas florestais e avaliação de medidas para a recuperação de áreas ardidas, desenvolvido pelo Departamento de Geografia da Universidade do Minho (DGEO) e do CEGOT UMinho, sob responsabilidade dos docentes e investigadores Professor Doutor António Vieira e Professor Doutor António Bento Gonçalves, implementado através de um protocolo entre o DGEO e a Câmara Municipal de Santo Tirso, e com a colaboração dos Bombeiros Voluntários de Santo Tirso e do proprietário da Bouça da Samoça

Capítulo I – Os efeitos dos incêndios nos solos

1. Os solos

A definição mais genérica de solo vem do grego *pedon*, que significa solo ou terreno, sendo que a Pedologia, ciência do solo, surge da composição das palavras *pedon* e *logos* (conhecimento) (Schaetzl e Anderson, 2005).

Costa (1985) refere que o solo é uma parte instável e superficial do processo geológico. Assim sendo, «*o solo é toda a ocorrência natural de depósitos brandos e moles, cobrindo um substrato rochoso e que é produzido por desintegração e decomposição física e química das rochas, podendo conter ou não matéria orgânica*» (Fernandes, 1994, pág. 1.1, citando Mineiro, 1978). Compreende-se o solo como um corpo natural sujeito a evolução, devido a fatores de ação conjunta que provocam a sua desagregação, resultado da interação «*do clima, seres vivos sobre as rochas de acordo com determinadas condições topográficas durante um certo período de tempo*» (Cerqueira, 2001, pág.10).

1.1. Formação dos solos

Os solos têm diversos processos de transformação envolvidos. A rocha transforma-se em solo, resultado da exposição à superfície da terra, das ações físicas do vento, da água e da gravidade, que provocam a fracturação e fissuração dos blocos rochosos. A fracturação e fissuração da rocha ocorre devido à ação dos agentes erosivos e, por conseguinte, as rochas tendem a desagregar-se gradualmente em pequenos fragmentos que formam o solo (Fernandes, 1994, traduzindo Scott, 1968).

A formação dos solos é condicionada por fatores como o clima, os organismos (microrganismos), o material de origem (rocha-mãe), o relevo, o tempo (idade de formação geológica), e por vezes influenciados pela ação antrópica.

O clima influencia a formação dos solos, pois a temperatura e a precipitação são fatores de regulação da velocidade e do tipo de meteorização, evidenciando a existência de diferentes tipos de solo derivados da mesma litologia (Lepsh, 1977; Foth, 1990; Buol *et al.*, 2011). A ação do calor, resultando do aquecimento das rochas pelo sol, durante o dia, seguindo-se de arrefecimento rápido, ao longo da noite, fá-las estalar e desagrar-se (Costa, 1985). Em sentido

oposto, também se verifica a desagregação das rochas pela congelação da água, que através da ação do frio congela a água que se encontra em estado líquido dentro da rocha, levando ao aumento do volume e a desagregação (crioclastia), conduzindo à formação do solo (Breemen e Burman, 2002).

A água carregada de ácido carbônico é *«responsável pela maioria das reações químicas que tem lugar durante a meteorização das rochas»* (Lepsch, 1977, pág. 57), originando partículas de solo que *«dão lugar à solução de minerais presentes nos grãos»* (Fernandes, 1994, pág. 1.12), sendo que esta solução tende a criar partículas minerais com dimensão mais reduzida.

Segundo Lepsch (1977), os organismos vivos são o segundo fator mais crucial para o solo, pois promovem a desagregação da rocha. Os microrganismos podem ser algas, bactérias ou fungos, que desempenham uma função importante na decomposição dos restos vegetais e animais para a formação do húmus. *«O Húmus é pois uma parte apenas da matéria orgânica do solo, resultando de uma evolução particular dos resíduos orgânicos incorporados no solo (...)»* (Costa, 1985, pág. 114).

A ação do coberto vegetal no solo pode resultar de uma forma direta ou indireta para a sua evolução, pois a penetração das secreções orgânicas nas fendas das rochas vão acelerar o processo de meteorização de forma direta. No entanto, os líquenes, os musgos, as ervas, etc., que vivem sobre as rochas, desagregam-nas em virtude dos seus sucos gástricos (Cerqueira, 2001) e vão permitir a fixação de espécies vegetais com um porte maior, como o coberto arbóreo, em que *«as raízes das árvores penetrando a profundidade consideráveis»* (Lepsch, 1977, pág. 60), provocam a deterioração da rocha, indiretamente.

Os animais, em conjunto com os outros organismos, contribuem para a formação do húmus, pois através da sua movimentação cavam galerias, trituram os restos vegetais e misturam minerais dos diferentes horizontes, pelo que originam grande movimentação da matéria (Buol *et al.*, 2011).

O Homem, através da sua ação, tem provocado alterações significativas no solo, em virtude de um consumo desmedido dos recursos, sem atender às características biofísicas dos territórios (Oliveira, 2001, referindo DGOT, 1988), pelo que *«(...) pode levar à destruição total da camada arável e mesmo do horizonte B»* (Lepsch, 1977, pág. 80).

A formação geológica de que provém o solo é um fator extremamente importante na sua evolução, bem como as suas características intrínsecas (estruturais e composicionais), podendo inclusivamente contribuir para a resistência à formação dos mesmos, pois *«(...) os maciços rochosos apresentam maior ou menor fracturação, que se reflete de algum modo a distribuição*

de tensões e a disposição cristalina no seu interior» (Fernandes, 1994, pág. 1.33), uma vez que «*O solo forma-se pela intemperização das rochas da crosta terrestre (...)*» (Lepsch, 1977, pág. 63).

Assim sendo, o solo desenvolve-se simultaneamente com a alteração da rocha e o processo de transformação do material de origem confunde-se com o processo de formação do solo. No entanto, estes dois processos são distintos sendo difícil de estabelecer os seus limites (Lepsch, 1977; Fernandes, 1994, traduzindo Scott *et al.*, 1968).

O relevo forma-se na sequência dos diversos climas e da distribuição espacial da precipitação, da luz, da insolação e de processos erosivos, que contribuem para a formação dos diferentes tipos de solos, diferenças que podem ser perceptíveis *in situ*.

A precipitação varia com a latitude e altitude, por exemplo a água da chuva acumula-se nas partes mais baixas das vertentes, tendo como consequência direta a secura das áreas mais elevadas, conduzindo a uma evolução mais ativa dos solos na base das vertentes. A erosão impera consoante o declive, pois quanto maior a inclinação maior é a erosão, diminuindo também a qualidade do solo e retardando a sua formação (Costa, 1985 e Foth, 1990).

A luz e a insolação variam em torno da orientação da vertente e o número de horas de exposição, pois, em teoria, as vertentes com menos insolação são as que têm maior capacidade pedológica (Brandy e Weil, 2013).

Por último, a idade geológica representa a formação do solo em toda a sua evolução desde o Litossolo até ao Podzólo. Com a evolução temporal, o perfil do solo vai ficando mais espesso em virtude da erosão e da acumulação de sedimentos. Este processo pode ser acelerado com a exposição de material à superfície através da erosão eólica e do transporte fluvial, vulcanismo e desabamentos, com influência direta e rápida na evolução dos solos (Lepsh, 1977).

1.2. Componentes do solo

O solo é constituído por partículas sólidas, e nos espaços intersticiais estão presentes espaços vazios, os poros. Este elemento é, na sua génese, um corpo poroso complementado por matéria sólida.

O solo constitui-se em três fases, determinado pela mistura de substâncias sólidas, líquidas e gasosas, que, segundo Costa (1985), se denomina como um sistema anisotrópico.

Os componentes básicos do solo são a matéria mineral, a matéria orgânica, a água e o ar do solo. O volume dos componentes básicos do solo varia em volume, sendo 45% matéria mineral,

25% água, 25% ar e 5% matéria orgânica (Osman, 2013). A matéria mineral e orgânica constitui a fase sólida do solo (Lepsch, 1977).

A matéria mineral é o principal volume do solo. Porém, esta poderá, a determinada profundidade, apresentar também matéria orgânica, que «*pode variar tanto entre um tipo de solo e outro como entre horizontes de um mesmo perfil*» (Lepsch, 1977, pág. 40). No entanto, este elemento poderá conter pouco volume de matéria orgânica, ou vice-versa, apresentar pouca matéria mineral (Costa, 1985).

Os detritos rochosos que resultam da desagregação das rochas pela influência dos diversos agentes erosivos, formam a matéria mineral do solo. Esta matéria pode apresentar fragmentos ou partículas de formas e dimensões variáveis, desde pedras a cascalho, até fragmentos tão finos com propriedades coloidais, como a argila (Lepsch, 1977; Costa, 1985; Cerqueira, 2001; Buol *et al.*, 2011).

Na sua origem as partículas minerais do solo provêm de minerais primários ou minerais secundários (Costa, 1985). Os primeiros resultam da resistência aos fatores químicos permanecendo assim mais tempo no solo. No entanto, tendem a sofrer maior ação dos fatores físicos. Já os minerais secundários formam-se pela decomposição dos minerais da rocha-mãe (Lepsch, 1977).

Segundo Cerqueira (2001) à medida que as partículas do solo se tornam mais pequenas, maior é o volume da superfície que ocupa, ou seja, mais transformações sofrem, como é o caso da argila, que se forma através de novos minerais da rocha-mãe de onde foi fragmentado.

A matéria orgânica provém de resíduos animais e vegetais em diferentes estados de decomposição (*e.g.* estrume, animais mortos, folhas, raízes, ramos, dejectos, etc.), decompostos pela ação de outros seres vivos, geralmente microrganismos (*e.g.* bactérias, fungos, etc.). Os produtos decompostos da matéria orgânica mais resistente misturam-se e formam complexos minerais compostos (Cerqueira, 2001; Osman, 2013).

Os microrganismos desempenham um papel importante no solo, pelo facto de contribuírem beneficemente para as características físicas, servindo de «*fonte de energia*» (Lepsch, 1977, pág. 47) e como fonte de fertilidade. «*A matéria orgânica é habitada por grande número de microrganismo em actividade*» (Costa, 1985, pág. 14), é através da ação dos microrganismos que a matéria orgânica é decomposta e forma-se o húmus. Do ponto de vista da fertilidade, o húmus «*contém todos os elementos nutritivos das plantas, embora em quantidades moderadas e é permeável ao ar e a água*» (Cerqueira, 2001, pág. 17).

Assim, em solos arenosos e calcários, o húmus, *«liga entre si as partículas mais grosseiras, permitindo reter nos solos humidade e elementos nutritivos»* (Cerqueira, 2001, pág.17). Já nos solos argilosos, torna-os *«mais permeáveis e fáceis de trabalhar»* (Cerqueira, 2001, pág. 17).

A água e o ar do solo *«ocupam os espaços intersticiais existentes entre as partículas terrosas»* (Costa, 1985, pág. 15) e entre agregados de partículas cuja forma, dimensões, etc., caracterizam a estrutura do solo.

A água do solo *«pode estar retida tanto nos poros, entre torrões, como na superfície das partículas coloidais»* (Lepsch, 1977, pág. 49), e desempenha principalmente um papel de nutrição para as plantas. A sua reposição é realizada pelo ciclo da água. A água do solo apresenta diversas formas de “circular” no solo, sendo constituída pela:

“a) Água hidroscópica – água fixada, envolve as partículas do solo que apresentam características colodais;

b) Água capilar – constitui películas contínuas em torno das partículas terrosas preenchendo os poros menores existentes entre os espaços intersticiais;

c) Água gravitacional – é a água absorvida pelos poros maiores, que não sendo retida pelo solo, desloca-se apenas nos macroporos sob ação da gravidade devido ao seu próprio peso (Lepsch, 1977; Cerqueira, 2001);

d) Água de combinação – é a água que combinada substâncias químicas, que formando-se um composto (Cerqueira, 2001), por exemplo a caulinite que resulta da *«água das chuvas carregada de água de anidrido ou de ácido carbónico, decompõem certas rochas»* (Cerqueira, 2001 pág. 11).

O ar ou atmosfera do solo são *«os espaços porosos não preenchidos pela água são ocupados pelo ar do solo e a quantidade deste dois constituintes, (...) é variável com o tempo»* (Lepsch, 1977, pág.54). As raízes das plantas necessitam de oxigénio, é esse ar presente no solo que irá fazer com que as plantas se desenvolvam. Além disso, os microrganismos são na sua maioria regulados nas condições de aeração, ou seja, *«(...) na presença abundante de ar, rico em oxigénio, os microrganismos participam ativamente na transformação em húmus dos restos das plantas e animais (...)»* (Lepsch, 1977, pág. 56). A atmosfera do solo (5%) tem mais dióxido de carbono que a atmosfera exterior (0,035%). O facto da percentagem de CO₂ no solo ser mais elevada deve-se a ação microbiana, dos animais e das raízes presente no solo (Shaetzl e Anderson, 2005).

Em áreas permanentemente saturadas por água, o processo de decomposição das plantas é lenta, acontecendo a acumulação desta em camadas espessas, por isso a solos muitos húmidos designam-se de terras frias, uma vez que o «(...) *aquecimento do solo pelo ar depende do seu poder maior ou menor de encharcamento*» (Cerqueira, 2001 pág. 23).

1.3. Propriedades dos solos

O solo apresenta uma elevada complexidade, evidenciando diversas características físicas, químicas e biológicas na sua constituição, correspondentes às suas propriedades.

Na física do solo, as principais propriedades, como explicam Reinert e Reichert (2006), são a textura, que compreende a distribuição das partículas pelas diferentes classes de tamanho, e a estrutura do solo, que se define pelo agrupamento das partículas em forma e dimensão.

1.3.1. Propriedades físicas

As propriedades físicas «*estão relacionadas às partículas sólidas do solo e à maneira como elas estão agregadas*» (Brady e Weil, 2013, pág. 106).

A textura do solo é a «*proporção, relativa em tal horizonte ou camadas de lotes constituídas por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites*» (Costa, 1985, pág. 45), definindo-se assim as diferentes classes de partículas que constituem o solo, isto é, a proporção relativa de diferentes matérias do solo da matéria que o constitui. A textura do solo passa pela determinação das proporções de terra por frações de dimensão das partículas (Buol *et al.*, 2011). A escala recomendada pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo consiste em cinco frações de texturas (Osman, 2013):

- Pedras – com diâmetro maior que 20 mm;
- Cascalho – diâmetro de 20 a 2 mm;
- Areia – de diâmetro de 2 a 0,02 mm;
- Limo/Silte – com diâmetro de 0,02 a 0,002 mm;
- Argila – com diâmetro menor que 0,002 mm.

As diferentes predominâncias de partículas que constituem o solo definem a tipologia de solo quanto à textura. Assim, solos com mais de 30% de argila são denominados de *argilosos*. Quando a proporção de areia for superior a 85%, a amostra é classificada de *arenosa*. Porém, se

a quantidade de argila é superior à areia e apresentar mais de 50% de limo, o solo é franco (Lepsch, 1977; Costa, 1985; Cerqueira, 2001; Brady e Weil, 2013). Numa abordagem mais detalhada pode-se considerar diferentes tipos de texturas (Figura 1).

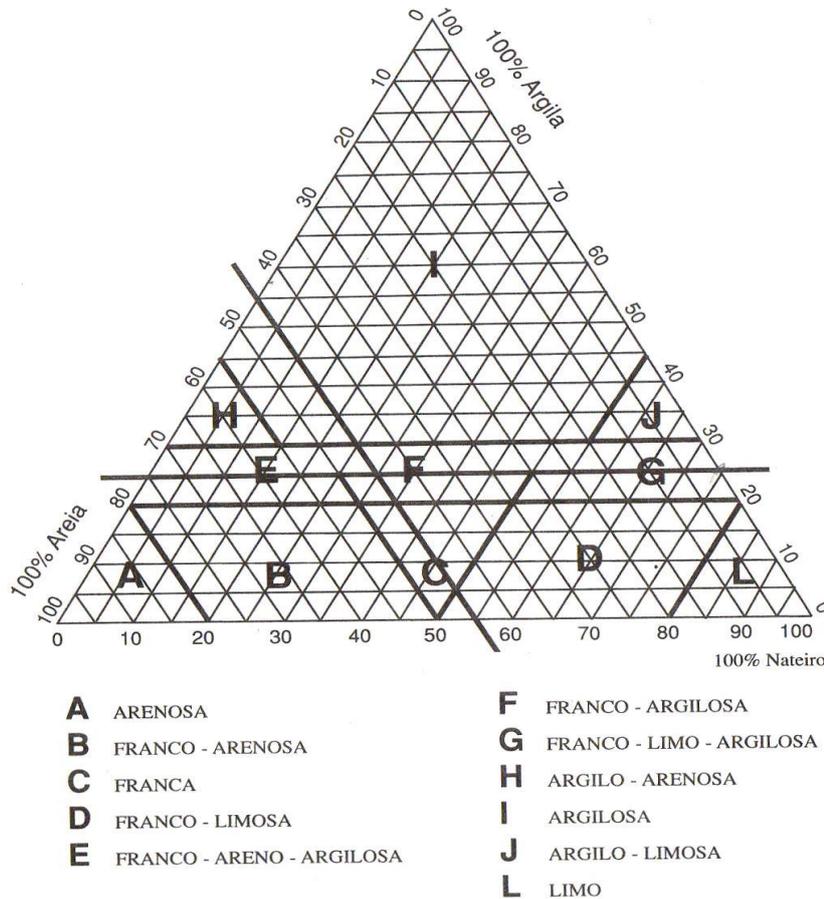


Figura 1 - Diagrama de Textura (Cerqueira, 2001)

Quanto à estrutura do solo, descreve as formas como as partículas estão agregadas, ou seja, como se agrupam (Shoeneberger *et al.*, 2002). Bayer, citado em Costa (1985), define a estrutura do solo como aglomerado de partículas primárias que agregadas formam a estrutura do solo. Segundo alguns geomorfólogos corresponde «a agregação de partículas primárias em partículas compostas» (Costa, 1985, pág. 288).

O solo é composto pelo “pedes” ou agregados estruturais, que formam as partículas compostas da estrutura do solo. Este “pedes” «são conjuntos naturais de partículas terrosas em que a ligação das partículas constituintes é mais forte do que a ligação dos agregados uns aos outros» (Costa, 1985, pág. 289). Porém, apresentam «formato e tamanhos variados e estão separados uns dos outros por pequenos fendilhamentos» (Lepsch, 1970, pág. 34), resultado da decomposição dos restos vegetais e das substâncias minerais (*e.g.* resultado de óxidos de ferro e argilas). Este fendilhamento é proporcionado pela humidade e secura do solo, penetração e

expansão de raízes, escavações feitas pela fauna do solo, atividade humana e maquinaria, afetando a agregação do solo (Lepsch, 1977; Brady e Weil, 2013).

Os processos originados pela atividade microbiana e pelas características do solo diferenciam o solo em 4 unidades estruturais: granular (sujeita a mudanças rápidas e amplas); laminar (resultado da rocha-mãe ou pela compactação do solo); blocos (geralmente característicos de regiões húmidas); e prismática (de solos de origem árida e semiárida) (Schoeneberger *et al.*, 2002).

Contudo, a cimentação da ligação das partículas do solo desenvolve-se através de diferentes fatores que desempenham ações sobre o solo: «*colóides minerais; matéria orgânica de diferente composição; microrganismos; elementos da macrofauna do solo (e.g. minhocas)*» (Costa, 1985, pág.319).

As propriedades coloidais da argila são um dos fatores com principal relação na coesão das partículas, isto é, «*quando um catião fique suficientemente próximos das superfícies de duas partículas vizinhas (...), ligando-as uma à outra*» (Costa, 1985, pág. 315), resultado da troca química (iônica).

Os organismos do solo são agentes de agregação das partículas do solo e os responsáveis pelo processo biológico que resulta das raízes das plantas e das hifas de fungos (libertam polissacarídeos que se assemelham ao açúcar) e outros componentes orgânicos que unem microagregados e partículas individualizadas de solo em macroagregados, ou seja, verifica-se a agregação das partículas soltas ou de pequenos agregados de solo em agregados de solo maiores que promove a estabilidade do solo (Foth, 1990; Brady e Weil, 2013).

Na estabilização do solo a matéria orgânica desempenha um papel importante como agente responsável. É, sobretudo, responsável no processo de agregação de materiais argilo-húmicos, pois, na sua generalidade, «*são agregados menos consistentes nos estados secos e húmidos*» (Costa, 1985, pág. 316). Assim, a matéria mineral (silte e areia fina) é revestida por matéria orgânica decomposta e que na interação química as «*partículas de argilas silicatadas e óxido de ferro e de alumínio*» (Brady e Weil, 2013, pág.121), possibilitam a agregação das partículas minerais individuais tornando-os «*agregados estáveis à água.*» (Brady e Weil, 2013, pág. 121).

Neste sentido, os agregados argilo-húmicos são «*mais brandos quando secos e mais friáveis quando húmidos do que os agregados ligados essencialmente por argila.*» (Costa, 1985, pág. 323).

A consistência do solo, ou também designada coesão ou adesividade, é a «*resistência que o material oferece a deformação ou à rotura*» (Costa, 1985, pág. 354). A primeira resulta das «*partículas constitutivas do solo se aglomerando entre si*» (Cerqueira 2001, pág. 26), e as segundas é a propriedade do material, o solo, aderir a objetos (Buol *et al.*, 2011). A consistência aumenta na relação com a proporção de argila, quando esta matéria se encontra no estado seco ou húmido, verifica-se uma diminuição da matéria orgânica.

Porém, a plasticidade do solo no seu limite inferior e superior aumenta com a proporção de argila. A plasticidade é a possibilidade do solo deformar sem romper (Buol *et al.*, 2011). Assim, quando há um índice de «*plasticidade baixo indica em geral a facilidade de mobilização sem se deteriorar a agregação*» (Costa, 2001, pág. 362), dos solos com um teor de água elevado.

O grau de humidade e arejamento do solo são influenciados pela permeabilidade, capilaridade e o poder de absorção do solo.

A permeabilidade verifica-se através da circulação facilitada de água e ar do solo. Assim, num solo com fácil circulação denominamos de solo permeável (Cerqueira, 2001; Shaetzi e Anderson, 2005).

A capilaridade resulta da ascensão verificada da «*água das camadas profundas*» (Cerqueira, 2001, pág. 28) pelos espaços intersticiais do solo. Será de esperar que a abundância e a dimensão dos poros capilares aumente a ascensão capilar, como se verifica nos solos arenosos. Pelo contrário, os solos argilosos «*têm uma elevada proporção de poros muito finos*» (Brady e Weil, 2013, pág. 149), que torna lenta a ascensão capilar, «*mas, com o tempo geralmente excede a de solos arenosos*» (Brady e Weil, 2013, pág. 149).

O poder de absorção revela uma ligação com a permeabilidade e a capilaridade do solo, ou seja, «*é o poder que as terras têm em absorver a água*» (Cerqueira, 2001, pág. 28), também designada capacidade de campo, isto é, a capacidade de reter humidade resistindo as secas, promovendo um arejamento regular do solo.

A temperatura do solo é resultado da cor, da textura e teor de matéria orgânica. Assim, a reflexão, absorção e radiação da energia promove o aquecimento da superfície com a conjugação dos fatores constituintes do solo (Shaetzi e Anderson, 2005). A matéria orgânica e a textura apresentam diferente poder calorífico dependendo do material (Quadro I).

Quadro I - Calor específico de alguns constituintes do solo (Costa, 1985)

Elemento	Calorias/g	Calorias/cm³
Areia	0,10	0,51

Argila	0,23	0,55
Calcário	0,21	0,55
Húmus	0,47	0,58

Todavia, a orientação do terreno é um fator preponderante para que a superfície do solo seja mais ou menos aquecida. Assim, um terreno *«inclinado a Sul, com igual valor à horizontal, a radiação solar incide quase perpendicularmente ao solo, concentrando mais calor por unidade de superfície, enquanto o (...) / (...) terreno for para Norte, os raios solares incidirão tão obliquamente que se dispersarão por uma área muito maior»* (Cerqueira, 2001, pág. 28 e 29).

A cor do solo, juntamente com outras características físicas do solo, é importante na classificação e avaliação da sua aptidão. A tabela de Munsell é a tabela padronizada de cores para avaliação dos solos, que segundo Lepsch (1977); Cerqueira (2001); Shaetzl e Anderson (2005); Brady e Weil (2013), descreve-se pela matriz (a cor), o valor (grau de clareza, entre claros e escuros), e o croma (saturação ou intensidade de saturação).

Os fatores que influenciam a cor do solo não é só o material originário mas também *«o conteúdo de matéria orgânica, o teor de água e a presença e o estado de óxidos dos óxidos de ferro e manganês»* (Brady e Weil, 2013, pág. 107).

O solo quando apresenta uma cor escura é constituído por matéria orgânica. Se for avermelhado é constituído por minerais com presença de ferro. No entanto, a presença de cor escura resulta, por vezes, do manganês ou humidade (Shaetzl e Anderson, 2005).

1.3.2. Propriedades químicas

As propriedades químicas do solo formam-se pela diversidade de elementos que compõem o solo. Num solo, a matéria mineral e matéria orgânica constituem parte importante deste. Os elementos que constituem o solo podem desencadear diversas reações químicas, levando a alteração do grau de nutrientes do solo, potenciado pela acidez, oxidação e troca iónica (Brady e Weil, 2013).

No entanto, estas duas matérias, através da ação dos agentes erosivos e de forças coercivas que sofre, leva a que alguma matéria mineral se dissolva promovendo em conjunto com a água a “solução edáfica” do solo (Barreta *et al.*, 2011).

Assim, a água, o azoto do ar, os detritos orgânicos e a matéria mineral promovem entre eles reações químicas no solo que resultam na acidez, na troca catiónica/iónica e poder adsorvente (Costa, 1985; Brady e Weil, 2013; Osman, 2013).

Os nutrientes do solo

As propriedades químicas do solo são influenciadas por nutrientes de carbono, oxigénio, hidrogénio, azoto, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, sódio e magnésio. Contudo, o solo *«À medida que cada nutriente passa pelo solo, um determinado átomo pode assumir diferentes formas químicas»* (Brady e Weil, 2013, pág. 437), ou seja, é uma consequência para um desenvolvimento diferente do solo, resultado das características e comportamento específico de cada átomo, pelo movimento de gases, partículas sólidas e soluções aquosas, cria-se no solo um ciclo biogeoquímico extremamente complexo.

O nitrogénio *«é o factor nutricional mais limitante e de ocorrência mais abrangente que afecta a produtividade dos ecossistemas terrestres»* (Brady e Weil, 2013, pág. 437). No solo o nitrogénio/azoto que se encontra na matéria orgânica representa aproximadamente 5%. Este elemento químico é fundamental para o normal crescimento e reprodução das plantas (Osman, 2013).

Este nutriente encontra-se no solo sob diferentes formas de iões de nitrato de amónio e sob forma orgânica (Cerqueira, 2001). A forma azotada mais simples é a orgânica, que resulta da absorção direta do nitrogénio solúvel que geralmente está presente no húmus. Já o azoto amoniacal e o nitrato constituem azotos inorgânicos. O azoto amoniacal, provém de azoto orgânico que sofre a ação do processo de amonificação devido a atividade dos microrganismos do solo (Costa, 1985; Cerqueira, 2001; Brady e Weil, 2013), e o azoto nítrico, ao contrário do anterior, é assimilado diretamente pelas plantas, pelo processo de nitrificação, isto é, *«transformação oxidativa do azoto amoniacal em azoto nítrico»* (Costa, 1985, pág.149). Este processo resulta da atividade de dois grupos de bactérias (Nitrossomas e Nitrobactéria) que levam à oxidação do gás amónia em nitrito, e posteriormente em nitrato (desnitrificação) (Costa, 1985; Foth, 1990; Cerqueira, 2001; Brady e Weil, 2013). Contudo, a amónia é muito afetada pela temperatura e pelo pH elevado (>7,0), pelo que esta perda se verifica em solos arenosos, alcalinos e calcários (Osman, 2013).

O fósforo é um componente que se encontra no estado de fosfato tricálcico insolúvel em água (Cerqueira, 2001). Em solos, a concentração de fósforo reflete a baixa fertilidade quando se encontra próximo de 0,001 mg/l e solos férteis próximos de 1 mg/l (Brady e Weil, 2013). O elemento de fósforo, em conjunto com óxidos de ferro que é erodido do solo, agrava os efeitos de eutrofização, mesmo após controlo da erosão (Brady e Weil, 2013).

Os silicatos de feldspato e o carbonato de potássio formam o potássio. Este elemento químico apresenta-se como um fator de redução da perda de água das plantas e do aumento da capacidade das raízes absorverem água (Brady e Weil, 2013). Assim sendo, este componente químico proporciona uma tolerância à seca e às doenças fúngicas.

O cálcio é um nutriente essencial para as plantas, pois reduz a acidez do solo e diminui a toxicidade de alguns elementos químicos presentes no solo, que afeta a vegetação (Bloom e Epstein, 2006; Brady e Weil, 2013). No solo, o cálcio é frequentemente encontrado na forma de silicato e fosfato de cálcio.

No tecido vegetal encontra-se grande percentagem de magnésio (1/5), nas moléculas de clorofila (Brady e Weil, 2013). A origem do magnésio (Mg) do solo provem da *«decomposição de rochas, contendo minerais primários como dolomita e silicatos com magnésio (...) ou ainda minerais de argila secundários»* (Wiend, 2007, pág.19). Assim, o magnésio disponível às plantas é originado na troca entre o Mg e a matéria argilo-húmica (Brady e Weil, 2013). As trocas resultantes entre os diversos elementos químicos que compõe e se depositam nos solos conduzem à atividade química do solo.

Atividade química do solo e a troca iónica

Nos processos de retenção e troca iónica resultam variações dos fenómenos físicos e químicos que no solo acontecem. Isto deve-se às *«alterações dos minerais, eluviação, variação de consistência e volume do material do solo com o teor de água e absorção de elementos nutritivos pelas raízes das plantas»* (Costa, 1985, pág. 195).

No solo, verificam-se duas formas de troca iónica: uma através do sistema líquido (resultado da solução aquosa do solo, pelos processos de capilaridade da água e pela água gravitacional do solo); e, a outra, é pelos componentes sólidos (quando os iões absorvidos à superfície entram em contacto com a solução do solo) (Jansá, 2008). A troca iónica resulta de um processo entre iões de uma superfície sólida, com iões em solução da fase líquida, apresentando-se em quantidades equivalentes (Foth, 1990). *«As partícula coloidais, tal como os iões têm carga eléctrica»* (Costa, 1985, pág. 191), a presença de cargas eléctricas permite o processo de troca iónica entre os iões

presentes no solo ou solúveis em água. Os colóides dos solos podem ser tanto orgânicos (húmus) como minerais (argilas) e são partículas geralmente com diâmetro muito inferior a 1 micron, podendo atingir pontualmente 2 micron (Brady e Weil, 2013). A argila desempenha um papel importante no que respeita as atividades químicas do solo. Apesar da dimensão da sua partícula para poder considerar-se um ião, este mineral, juntamente com água, produz carga elétrica, daí ser considerada um anião negativo. A presença da intensidade da energia influencia a atração ou repulsão das partículas para outra partícula de argila (Cerqueira, 2001; Osman, 2013).

A adsorção de catiões e aniões, resulta da atração de iões com cargas positivas para as superfícies coloidais, com carga negativa. Contudo, por exemplo, os catiões quando estão envolvidos em moléculas de água, rompem a sua ligação com a superfície coloidal a que estão ligados e libertam-se em direção à solução do solo. Assim, outro catião suspenso na solução (iões trocáveis) move-se em direção ao espaço livre na superfície coloidal. A este processo de ciclo de nutrientes designa-se de troca catiónica (Costa, 1985; Cerqueira, 2001; Brady e Weil, 2013; Osman, 2013). O cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, o alumínio e o hidrogénio são os principais catiões de troca (Figura 2).

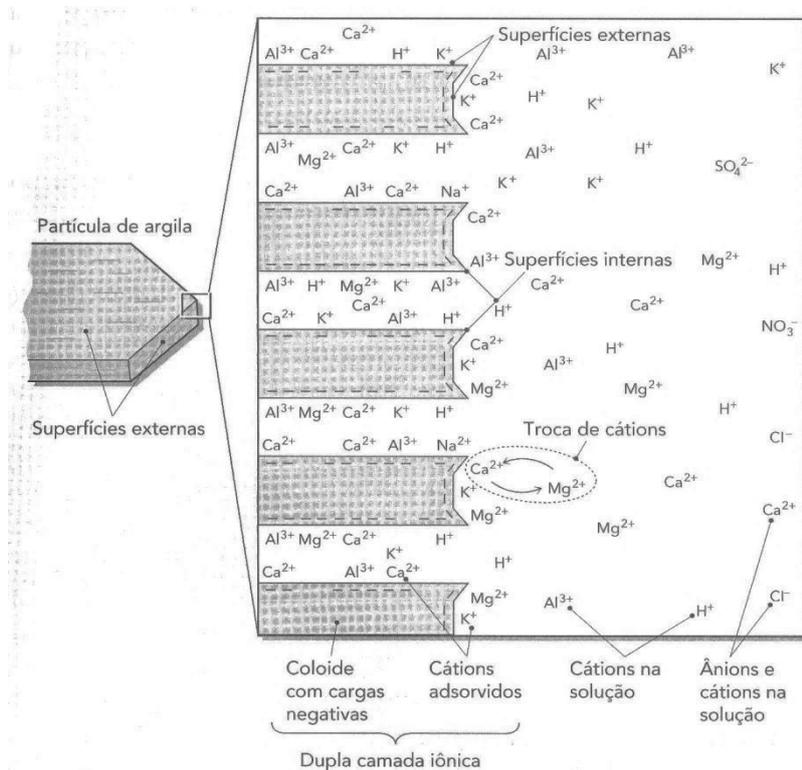


Figura 2 - Representação simplificada de argila, de catiões adsorvidos e dos iões em solução (Brady e Weil, 2013)

O processo de troca catiónica rege-se por diversos princípios de troca: a reversibilidade (é a troca de um íão do colóide por um íão na solução do solo); a equivalência de cargas (é o princípio em que ambos os íões trocáveis têm de apresentar a mesma composição de carga. Assim, para existir troca de um Ca^{2+} por hidrogénio é necessário dois íões de H^+); lei da relação (promove o equilíbrio entre os elementos químicos em solução e na partícula coloidal, ou seja, Ca^{2+} e Mg^{2+} no colóide terá a mesma proporção na solução Ca^{2+} e Mg^{2+}); seletividade de catião (os diferentes elementos que apresentam um menor raio de hidratação e maior carga, são mais facilmente adsorvidos pelo colóide. Os elementos com força de adsorção maior é $\text{Al}^{3+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cs}^+ > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$) (Foth, 1990; Brady e Weil, 2013).

Capacidade de troca catiónica (CTC)

A CTC define-se «*como a quantidade de catiões para neutralizar as cargas negativas de uma quantidade unitária de solo em determinadas condições, mormente para determinado pH*» (Costa, 1985, pág. 202). Assim, diz-se que o solo está saturado por catiões metálicos quando o seu valor é $V=100$. Porém, se existir na solução hidrogénio adsorvido, obtém-se o grau de insaturação pela diferença de $V=100$.

A fórmula de coeficiente de saturação é: $V=100 S / T$

V =coeficiente de saturação

S - miliequivalentes de bases de troca efetivamente fixados, por 100g

T – capacidade de troca total, também em miliequivalentes por 100g.

Assim, o grau de insaturação do solo promove-se pela troca complexa entre os elementos químicos e a ocupação por hidrogénio. Esta adsorção permite a definibilidade da acidez do solo, ou seja, a medição do pH.

Acidez do solo

O grau de acidez do solo é medido pelo índice de pH. Este índice está distribuído em três categorias: ácida, neutra e básica. A acidez do solo é determinada pela presença do nutriente químico hidrogénio (H), isto é «*a quantidade de hidrogeniões na fração de argila que, através do mecanismo da troca iónica com a solução do solo, determina a sua acidez*» (Cerqueira, 2001, pág. 39). Além do hidrogénio, outro fator que influencia a acidez do solo é lixiviação de catiões não ácidos. Estes catiões não ácidos (cálcio, potássio, sódio e magnésio), que estão presentes nas superfícies de argila, ao dissociar-se pela acidez da precipitação, os íões de hidrogénio em solução

ligam-se aos colóides, promovendo a troca iônica e o aumento da acidez do solo (Costa, 1985; Cerqueira, 2001; Brady e Weil, 2013; Osman, 2013).

Assim, denomina-se o solo de ácido, quando o solo apresentar insaturação em hidrogênio de argila em solução. Já o solo neutro tem aproximadamente metade de iões metálicos presentes no colóide. O solo é alcalino se a argila estiver saturada de cátions metálicos, em solução (Foth, 1990; Cerqueira, 2001; Schaeztl e Anderson, 2005).

Na escala de pH, os valores variam de 1 a 14, em que 1 é o máximo de acidez, 7 é neutro e 14 é o máximo de alcalinidade (básico) (Figura 3).

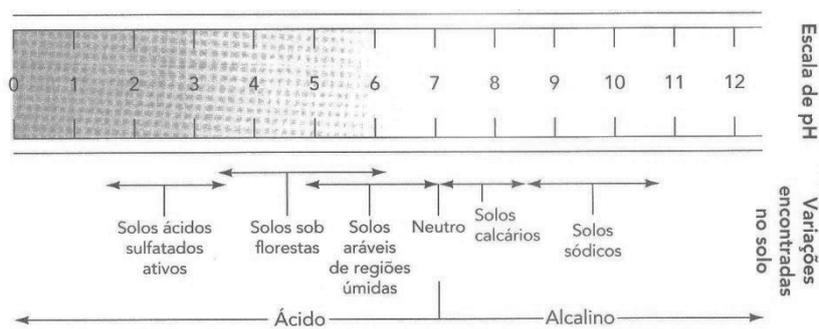


Figura 3 - Escala de pH, com estado típico de alguns solos (Brady e Weil, 2013)

Nos solos, a variação que se registra do seu pH é estabilizada pelo poder tampão que o solo apresenta. Este poder de tampão é mais elevado quanto for a CTC de um solo (Osman, 2013). Os fatores que mais influenciam o efeito de tampão do solo é «*reação de troca de cátions; a hidrólise de alumínio a níveis de pH muito baixos; reações com a matéria orgânica em níveis de pH moderados; a dissociação de iões de Hidrogênio de cargas dependentes de pH com certas argilas; a precipitação e a dissolução de minerais carbonados*» (Brady e Weil, 2013, pág. 311).

1.4. Perfil do solo

Por perfil do solo entende-se «*(...) toda a espessura que vai desde a superfície até a profundidade abaixo da qual as formações já não afetam sensivelmente, de maneira direta ou indireta, os processos de diferenciação de horizontes e da vida das plantas*» (Costa, 1985 pág. 22).

Assim sendo, o perfil é o corte vertical onde é perceptível a estrutura das diversas camadas de solo que estão dispostas horizontalmente (Cortez, 2007.) (Figura 4). Numa perspectiva simplificada um solo, evoluído e ideal, deverá possuir três horizontes:

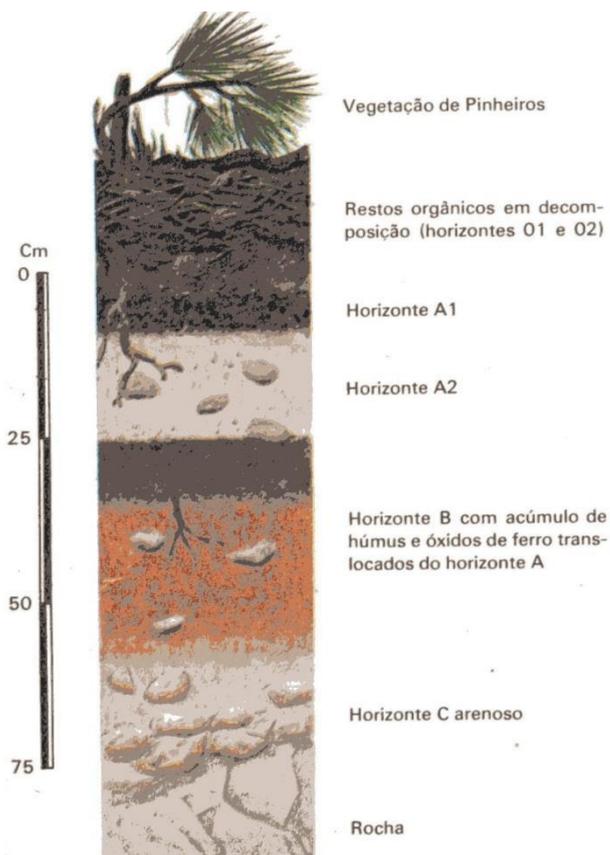


Figura 4 - Horizontes do Solo (Lepsch, 1977)

O horizonte A, denominado de *eluviação*, ou seja, lavado pelas chuvas (Cerqueira, 2001), representa a camada superficial do solo, sendo constituído essencialmente por matéria orgânica decomposta, onde muitas das vezes se localiza uma camada mais fina constituída pelo húmus, denominada de *AO* ou *horizonte O*. É também a camada do solo mais fértil para as práticas agrícolas.

O horizonte B, designado de *iluvium*, é o depósito dos produtos lavados do horizonte A (Costa, 1985; Cerqueira, 2001). Possui uma cor bastante mais clara, resultado de ser muito menos rico em matéria orgânica, pois a sua

composição é maioritariamente de matéria mineral, sendo pouco fértil comparativamente com o horizonte superficial.

O horizonte C, formado por fragmentos da meteorização mecânica e química, possui essencialmente matéria mineral e pouca matéria orgânica, consequência de se encontrar já muito próximo da rocha mãe onde o material é pouco consolidado, e é também a camada menos afetada por processos pedogénicos.

A rocha-mãe está situada a uma profundidade variável, intacta e impermeável, com exceção para as partes fraturadas. Este horizonte pode apresentar dois tipos de formação consoante o material originário. O material desagregado *in loco* a partir da rocha-mãe consolidada, os quais têm composição semelhante à rocha adjacente; e a rocha não consolidada, de nível superior, diferencia-se do solo pelo facto de ser transportado e arrastado pelas partículas terrosas (Lepsch, 1977; Costa, 1985; Cerqueira, 2001).

1.5. Classificação dos solos

Os solos portugueses, bem como os solos mundiais, são agrupados e classificados de formas diversas. A classificação americana de 1949 apresenta como pilar da classificação a *ordem*, encontrando-se dividida em três grupos: zonal, intrazonal e azonal. Esta é uma das classificações que reflete critérios geográficos e fatores de formação do solo.

- Ordem zonal – corresponde a solos bem desenvolvidos, em que o clima e os organismos (vegetais) são os fatores principais do seu desenvolvimento, apresentando solos maduros e profundos em que os horizontes são bem diferenciados. Inclui principalmente solos desenvolvidos, numa topografia «(...) com declives suaves, boa drenagem e material de origem que tenha estado *in loco por um tempo suficientemente longo*» (Lepsch, 1976, pág. 78).

- Ordem intrazonal – agrupa os solos em que o relevo local ou material de origem definem a sua composição. O clima e organismos vivos têm um papel preponderante na sua formação, mas é principalmente a humidade e concentração de sais que o definem. Normalmente um solo intrazonal está associado a vários solos zonais.

- Ordem azonal – reúne neste grupo solos pouco desenvolvidos e comumente não apresentam as características típicas da zona climática, resultado do escasso tempo de maturação da sua formação ou devido ao material de origem e ao relevo. *O solo azonal*, dificilmente apresenta o horizonte B, e o horizonte A assenta diretamente sobre o horizonte C (rocha-mãe).

Quadro II - Classificação do solo, baseado na classificação americana de 1949 (Adaptado ao caso português, segundo Lepsch, 1977)

Ordem	Subordem ou grande grupo
<u>Zonal</u>	Latossolo Solos Podzólicos
<u>Intrazonal</u>	Solos Halomórficos Solos Hidromórficos Vertissolo
<u>Azonal</u>	Solos Incipientes Solos Litólicos/Cambissolos

Os solos em Portugal têm por base dois tipos de nomenclatura: a da Food and Agriculture Organization (FAO) e a do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA). O SROA foi responsável, desde 1958, pelo mapeamento dos solos do continente português, em Portugal. A classificação do SROA é a mais utilizada, e divide o solo em nove ordens diferentes:

Solos Incipientes – são solos que mantêm fortemente a constituição do material originário, pelo facto de permanecerem em formação. Solos sujeitos a forte erosão e formados por rochas pouco consolidadas.

Litossolos – solos incipientes derivados de rochas consolidadas, de espessura delgada, geralmente inferior a 10 cm. Em algumas situações, apresenta um horizonte A1 incipiente, pois comumente assenta diretamente sobre a rocha consolidada. Este tipo de solo é sujeito a forte erodibilidade e apresenta fertilidade reduzida.

Regossolos – formam-se sobre saibros e areias (rocha não consolidada), pobres e de fertilidade reduzida. O horizonte A é depositado sobre o C (rocha-mãe). Surge normalmente em colinas de declives suaves e a vegetação é variada.

Aluviosolos ou fluvisolos – solo recente, espesso e pouco desenvolvidos, geralmente de origem fluvial. O horizonte A surge assente sobre a rocha-mãe, apresentam fertilidade variável.

Solos Litólicos ou Cambissolos – são solos não calcários e pouco evoluídos, e normalmente o material originário é granito ou xisto. O solo litólico, no seu perfil apresenta um princípio de desenvolvimento do horizonte B ou horizonte B incipiente, com pouca espessura e pouco perceptível.

Solos calcários – são pouco evoluídos e formam-se em rochas calcárias, geralmente são geograficamente delimitados sobre as Orlas Terciárias.

Vertissolos ou Barros – são solos com alto teor de argilas expansivas, montmorilonite. Apresenta uma coloração cinza-escura, e fendas com 10 a 20 cm de largura e 50 a 100cm de profundidade, resultado da secagem. Em caso de humedecimento do solo, este expande e as fendas fecham. *«Necessitam da rocha-mãe. Aparecem em clima pouco húmido e são pobres em húmus. São solos argilosos, pouco permeáveis, susceptíveis à erosão e de fertilidade elevada.»* (Oliveira, 2001).

Solos argiluvitados – caracterizados como solos evoluídos, sendo que o horizonte B apresenta uma saturação superior a 35 %. Este solo é também denominado Solo Mediterrâneo, e é um solo de transição tanto para barros como para solos hidromórficos.

Solos podzólicos – presentes em climas com características frias ou húmidas, em que a vegetação acidificante e uma rocha-mãe muito permeável, de espessura mediana, apresentam diferenciação distinta entre horizontes. Distingue-se o horizonte B, caracterizado por acumular argilas transportadas do horizonte A.

O podzólico Vermelho-amarelo é um solo muito fértil derivado de gnaises e de granitos. No seu perfil a presença de feldspatos é frequente devido a sua forte resistência à erosão.

Podzóis – solos “recentes”, geralmente ácidos. Visível acumulação de óxido de ferro e húmus no horizonte A₂, que ocorre de uma dissolução química de ferro no horizonte A₁, favorecida pelas condições do clima temperado húmido. O horizonte A₀ forma-se pela acumulação de vegetação e a presença de substrato arenoso, originando a decomposição de matéria orgânica. A fertilidade deste solo é reduzida a média.

Solos Hidromórficos ou Planossolo – encontram-se temporariamente ou permanentemente saturados por água, ou seja, sob o lençol freático. Desenvolvem-se em topografias planas, próxima de rios e lagos. Nestes solos ocorre pouca acumulação de matéria orgânica. Contudo, a permanência do lençol freático sobre o solo remove ou reduz a quantidade de ferro. Estes solos apresentam uma camada superficial representativa, uma vez que a quantidade de húmus é 20% maior em comparação com a matéria mineral, têm uma porosidade elevada e coloração escura.

Solos Orgânicos Hidromórficos ou Turfosos - formam-se pelo excesso de humidade e acumulação de restos vegetais e animais, em virtude de um conjunto de fatores que impediu ou retardou muito a sua decomposição. Défice de microrganismo, pelo que não permite a decomposição acelerada. Os materiais orgânicos acumulados estão ainda bastante puros, isto é, muito pouco decompostos, podendo identificar-se as plantas originais, tem-se uma Turfa).

Solos Halomórficos – desenvolvem-se em áreas próximas ao mar, nos estuários, resultando numa concentração elevada de sais no solo (*gleização*). A vegetação é escassa e a sua fertilidade é baixa devido a elevada salinidade do solo.

1.6. Erosão dos solos

A erosão é um dos fenômenos, a nível mundial, que mais afeta os solos. «*É um processo semelhante ao que leva à formação dos solos mas, quanto mais acelerado, (...) produz resultados opostos*» (Cerqueira, 2001, pág. 71). É a ação do vento e da água da chuva que mais influência tem na destruição do “*pedon*”.

Contudo, desde a pré-história que as civilizações sofrem com o depauperamento do solo causado por fatores naturais e antrópicos. No entanto, é atualmente que a erosão é mais intensa e concentrada, resultado da deterioração das propriedades agrícolas, florestais e do crescimento da área urbana (Imenson e Curfs, 2014).

A degradação do solo deve-se à deterioração das suas propriedades físicas, pela compactação, ou das propriedades químicas pela acidificação ou acumulação de sais. Mas é a erosão dos materiais finos, que são os mais ricos, a mais problemática, pois são estes elementos os primeiros a sofrer o processo de erosão (Cerqueira, 2001).

Este processo é constituído por três fases: a desagregação das partículas, o transporte e a acumulação, como salientado por diversos autores (e.g. Lepsch, 1977; Grimm et al., 2002; Brady e Weil, 2013). A quantidade de material disponível passível de se desagregar e a capacidade dos agentes de transporte são os fatores determinantes para avaliação da intensidade da erosão do solo (Meneses, 2011).

1.6.1. Tipos de erosão

1.6.1.1. Erosão Eólica

A erosão eólica é provocada pela força do vento. As partículas de dimensões entre a silte e a areia estão sujeitas a este tipo de erosão (Imeson e Curfs, 2014). Este tipo de erosão é fundamentalmente registado em períodos de seca e «*When winds are strong, coarser particles are rolled or swept along on or near the soil surface, kicking finer particles into the air*» (Soil Survey Manual, 2014, pág. 19). A falta de estrutura, de coesão e de cobertura vegetal são condições propícias à degradação do solo.

No processo de erosão eólica acontece um movimento provocado por saltos curtos, com elevação dos fragmentos (entre 0,1 mm e 0,5 mm de diâmetro) até 30 cm da superfície do solo. Contudo, o movimento de salpico provoca o *creeping*, isto é, o arrastamento/deslizamento de

partículas maiores, com aproximadamente 1 mm de diâmetro. Além destes fenômenos, o movimento por suspensão é gerado pelo transporte em suspensão (levitação) de pequenas partículas de poeira e areia fina, que podem ser transportadas em sentido horizontal por vários quilômetros (Foth, 1990; Osman, 2013).

Segundo Brady e Weil (2013), os fatores que mais influência tem no solo, por consequência da erosão eólica são: a velocidade do vento (o limiar de velocidade para iniciar-se a movimentação do solo é de aproximadamente 25 Km/h, porém acima de 30 km/h verifica-se um aumento considerável da erosão); a rugosidade da superfície (numa superfície rugosa a perda por erosão é menor); as propriedades do solo (a presença de argila e húmus permite a cimentação e estabilidade dos agregados dos solos, bem como o tamanho das partículas de solo); e a vegetação (pode funcionar como obstáculo ao risco de erosão quando se encontra em linha perpendicular à direção do vento).

1.6.1.2. Erosão hídrica

A erosão hídrica ou erosão pluvial é provocada por vários tipos de escoamento líquido nas vertentes e consequente produção de sedimentos. O clima mediterrâneo, devido a variabilidade das temperaturas e precipitação, é persuasor no agravamento da erosão, o quanto mais, se o solo afetado for incipiente (Soil Survey Manual, 2014).

A erosão hídrica caracteriza-se pela remoção de matéria por escorrência, conduzindo ao empobrecimento do solo. As partículas de argila e limo são as que mais facilmente são lixiviadas pela água das chuvas (Lepsch, 1977).

Os fatores que influenciam os processos erosivos hídricos é a precipitação (medida pela sua intensidade e energia), a erodibilidade dos solos (definida pelas suas características físicas e químicas), o coberto vegetal (pela sua maior ou menor proteção do solo), o declive e comprimento das vertentes, e as práticas de conservação existentes (Imeson e Curfs, 2014).

O impacto das gotas de chuva no solo é um processo relevante de erosão hídrica. No entanto, a ação da água de precipitação apresenta dois efeitos distintos no solo: um resultado do impacto das gotas da chuva no solo, denominado de *rainsplash*; e o outro originado pela escorrência da água nas vertentes. Segundo Roxo, citada em Meneses (2011), o processo designado por *splash* é composto pelo: impacto da gota da chuva no solo (origina um esforço de compressão exercido sobre a superfície); o salpico (projeta partículas e água pelo esforço exercido num corte radial do centro para a periferia); e, por último, a formação de uma pequena cratera ou

depressão convexa. Porém, da força exercida pela gota no impacto com o solo resulta, também, a compactação do solo.

A erosão por *rainsplash* consiste na «*transportation through the air, in a series of hops, is able to move material both up and down-slope, but there is a very strong downslope bias on slopes of a gradient of more than 5%*» (Grimm *et al.*, 2002 pág. 8).

A escorrência nas vertentes pode ocorrer por escoamento com ou sem canalização, também designado de escorrência linear e escorrência laminar, respetivamente. Assim sendo, a escorrência laminar (sem canalização) corresponde à remoção de uma fina camada de solo, provocada pelo escoamento difuso ou em toalha, sendo que no primeiro caso assiste-se à remoção das partículas mais finas, como matéria orgânica e o segundo é resultado de chuva abundante (Brum Ferreira, 2005; Imeson e Curfs, 2014 e Meneses, 2011). «*Sheet erosion is less apparent, particularly in its early stages, than other types of erosion. It can be serious on soils that have a slope gradient of only 1 or 2 percent; however, it is generally more serious as slope gradient increases*» (Soil Survey Manual, 2014, pág.18).

Já a escorrência com canalização ou linear apresenta diferentes tipos de erosão, que, segundo Lepsh (1977); Cerqueira (2001); Brum Ferreira (2005); Osman (2013); Imeson e Curfs (2014) subdivide-se em:

Erosão em sulcos (rill) resulta do transporte das partículas de solo desagregadas através da concentração da escorrência superficial, forma pequenos canais de profundidade centimétrica, paralelos ou entrelaçados, verificado principalmente em solos inclinados ou ocorrendo em solos recentemente cultivados. No entanto, «*The channels are shallow enough that they are easily obliterated by tillage*» (Soil Survey Manual, 2014, pág.18).

Erosão em ravinas ou em barrancos (gully) é o processo de erosão no qual a água se acumula e corta, entalhando canais estreitos, por curtos períodos de tempo, com profundidade superior ao metro. Comumente, apresenta de 0.5m até 25 a 30 m de profundidade, originado em solos rególitos, depósitos superficiais das vertentes e substratos rochosos argilosos. «*V-shaped gullies form in material that is equally or increasingly resistant to erosion with depth. U-shaped gullies form in material that is equally or decreasingly resistant to erosion with depth*» (Soil Survey Manual, 2014, pág.18).

Erosão em túnel (tunnel) forma-se por escoamento subsuperficial ou hipodérmico, ou seja, pela percolação da água ao longo do perfil do solo. «*A água, infiltra-se no solo pelos macroporos*

*ligados a superfície. Estes macroporos desencadeados por fendas e passagens de roedores, pode ocorrer o processo de infiltração através do perfil do solo que poderá resultar no escoamento do material do solo, possibilitando a completa saída da água e material infiltrado» (Soil Survey Manual, 2014, pág. 19) formando a *piping* (estruturas subterrâneas com uma rede de túneis (e.g. canos). Este fenómeno frequentemente originado em solos argilosos, despromove a troca de sódio no solo.*

2. Os incêndios e a erosão

Na sequência de incêndios florestais criam-se condições para uma atuação mais significativa dos agentes e processos erosivos, ocorrendo, frequentemente, uma acelerada erosão dos solos afetados diretamente pelo fogo.

Esta erosão está dependente de um conjunto diversificado de fatores, alguns dos quais na dependência direta do próprio fogo.

2.1. Tipos de incêndio florestal

Os tipos de incêndios são definidos pela forma como o fogo se propaga em consequência da presença dos combustíveis florestais (Cremer, 2004; Lourenço *et al.*, 2006):

- *Incêndios de superfície*, quando as chamas se propagam junto ao solo, consumindo agulhas, musgos, líquenes, vegetação herbácea (matéria orgânica e manta morta), arbustos, árvores de pequeno porte, etc. Este tipo de incêndio pode gerar severidades elevadas, podendo ocorrer a combustão de pelo menos 70% das árvores. Este tipo de incêndio poderá evoluir para incêndio de copa (Figura 5).



Figura 5 - Incêndio de superfície (Radionova, s.d.)

- *Incêndios de copa* - alguns autores subdividem em dois, segundo os sistemas de propagação, o incêndio de copa passivo (quando atingem um pequeno grupo de árvores) e o incêndio de copa ativo (o poder calorífico é suficiente para atingir as camadas mais altas de combustão, as copas das árvores). Os incêndios de copa são geralmente intensos e influenciados pelo vento, topografia e pela densidade de combustível da copa, verificando-se assim a transição do fogo da superfície para

a copa (os fatores que influenciam a propagação à copa são o teor de humidade da folha, comprimento de chama à superfície, altura até a base da copa das árvores e a densidade de copas (grau de sobreposição das copas das árvores) (Figura 6).



Figura 6 - Imagem representativa de Incêndio de Copa (Edomexaldia, s.d.)

- *Incêndio subterrâneo*, que se propaga através das raízes ou na manta morta inferior, normalmente não produz chamas visíveis. Porém, o fogo subterrâneo pode originar fogos de superfície, devido a raízes ou matéria orgânica que se encontra próxima da superfície do solo (Figura 7).



Figura 7 - Imagem representativa de Incêndio Subterrâneo (Incendioscerrado, s.d.)

- *Incêndio de projeção*, resulta de faúlhas ou material incandescente que é projetado por ação do vento ou pela força de projeção do fogo.

2.2. Regime dos incêndios

O comportamento humano desempenha um papel preponderante na evolução dos regimes do fogo, num passado recente. Verificando-se uma evolução natural dos fogos ao longo dos tempos, estes são cada vez mais originados por causas humanas do que por causas naturais (Ferreira-Leite *et al.*, 2013)

Segundo Cremer (2004), a definição dos regimes de incêndio não é apenas baseada nos tipos de incêndios e na intensidade, mas também nos critérios que o concretizam, que são a frequência dos incêndios, a área queimada, tempo de queima e a variabilidade espacial.

O processo do regime de incêndios é muito complexo, sendo que a caracterização dos regimes é baseado na periodicidade, na sazonalidade, na frequência e nos efeitos sobre ecossistemas (principalmente sobre a vegetação) (Frost, 2000; Sommers *et al.*, 2011).

Na base da classificação LANDFIRE, os indicadores utilizados para a caracterização do regime de incêndio são a frequência e a severidade do incêndio, sendo que esta classificação encontra-se dividida em cinco grupos (Bento-Gonçalves *et al.*, 2012, pág.8):

I. Com um intervalo de frequência do incêndio dos 0–35 anos, com baixa severidade (fogo de superfície mais comuns), apresenta menos de 75% da vegetação local substituída.

II. Frequência do incêndio entre 0–35 anos, severidade elevada (implementa-se o repovoamentos florestais);

III. Dos 35 aos 100+ anos de frequência, de severidade média e com menos de 75% da vegetação florestal do local de ocorrência substituída durante o período de frequência.

IV. Frequência entre os 35–100+ anos, ocorrendo uma severidade elevada com repovoamento floresta, terá em 75% do período histórico do incêndio, a vegetação ter sido substituída;

V. De frequência alta com 200 ou mais anos, representa incêndios de severidade elevada e apresenta uma elevada substituição florestal.

Brown (2000, pág. 5) salienta quatro tipos de regimes de fogo, abordados no livro “Flora and Fuel Volume”, que se baseiam na severidade do fogo, na frequência do incêndio, na área ardida e nos combustíveis e comportamento do fogo:

1. *Understory fire regime* (applies to forests and woodlands) - Fires are generally nonlethal to the dominant vegetation and do not substantially change the structure of the dominant vegetation. Approximately 80 % or more of the aboveground dominant vegetation survives fires.

2. *Stand - replacement fire regime* (applies to forests, woodlands, shrublands, and grasslands) - Fires kill aboveground parts of the dominant vegetation, changing the aboveground structure substantially. Approximately 80 percent or more of the aboveground dominant vegetation is either consumed or dies as a result of fires.

3. *Mixed severity fire regime* (applies to forests and woodlands) - Severity of fire either causes selective mortality in dominant vegetation, depending on different tree species' susceptibility to fire, or varies between understory and standreplacement.

4. *Nonfire regime* - Little or no occurrence of natural fire.

2.3. Os efeitos dos incêndios (severidade e intensidade)

Os termos “intensidade” e “severidade” do fogo são ainda pouco consensuais entre a comunidade científica, existindo por vezes algumas incoerências na utilização dos mesmos.

Assim, para Pausas (2012) a «*intensidade do fogo é a energia despendida pelo fogo e a severidade do incêndio é o grau de dano provocado pelo fogo*». Este autor esclarece que a severidade do fogo é um parâmetro que resulta de diversos fatores que influenciam a intensidade do fogo, fatores esses, principalmente naturais como as condições meteorológicas (*e.g.* humidade), a quantidade e tipo de combustível e a topografia, ou seja, a severidade é o resultado do dano (intensidade) provocado pelo fogo sobre o solo, a vegetação e o ecossistema em geral (Lozano e Jimenez-Pinilla, 2013).

No entanto, a “intensidade de frente do fogo” (*fireline intensity*) que avalia a energia da frente do fogo por unidade de tempo, não deve ser confundida com o termo “intensidade do fogo”, uma vez que este se caracteriza por aspetos de trocas de calor (a temperatura do ar, a temperatura do solo e das características da frente de fogo). As características da frente de fogo são caracterizadas pela velocidade de propagação, tempo de resiliência e altura da chama (Sommers *et al.*, 2011 pág. 28). DeBano *et al.* (1998), referido em Neary *et al.* (1999), considera que a “intensidade” é uma parte integral da “severidade”, na qual se inclui a produção de energia, as condições climáticas e o combustível.

Porém, Keeley (2009a) explica que a intensidade do fogo é medida por unidade de W/m^2 , enquanto a intensidade da frente de fogo tal como é referido por Byram (1948) é traduzida por kW/m .

A intensidade da frente de fogo é frequentemente utilizada na avaliação dos ecossistemas florestais. No entanto, devemos diferenciar as formas de medição entre os ecossistemas (Keeley, 2009).

Úbeda, citado por Bento-Gonçalves *et al.* (2012), refere que a intensidade do fogo se expressa por °C/s, e é resultado da temperatura máxima e do tempo de permanência.

«Fire produces a spectrum of severities that depends on the interactions of burning, intensity, duration, fuel, loading, combustion type, and degree of oxidation, vegetation type, fire climate, slope, topography, soil texture and moisture, soil OM content, time since last burned, and area burned» (Neary *et al.*, 1999, pág. 54). Keeley (2009a) defende que o termo severidade resulta de uma tentativa da descrição dos danos provocados pela intensidade do fogo no ecossistema envolvente, o que levou os autores a proporem definições e indicadores de severidade.

A intensidade do fogo representa integralmente a severidade do fogo, pois resulta de diferentes fases e processos de energia e combustão, provocados por diversos fatores que definem o padrão de intensidade como a temperatura, a intensidade da frente de fogo, o tempo de permanência, a radiação energética e os fatores que possam influenciar o comportamento do fogo (De Bano *et al.*, 1998; Neary *et al.*, 1999; Kelley, 2009a; Mataix-Solera *et al.*, 2011; Sommers *et al.*, 2011)

Neste sentido, Ryan e Noste (1985) defendem uma escala da severidade do fogo tendo em conta a destruição da vegetação e do solo (Quadro III).

Quadro III -A severidade do fogo considerando os combustíveis consumidos e os efeitos. (Adaptado de Lozano e Jiménez-Pinilla, 2013)

Severidade do fogo	Descrição
Não Queimado	Não se verifica alteração do solo e da vegetação provocada por efeitos do fogo;
Chamuscado	Plantas intactas mas com perda de algumas folhas por radiação calorífica;
Pouco Queimado	Copas das árvores com folhas verdes mas com ramos queimados; Vegetação rasteira, ervas e musgos carbonizados ou consumidos; Horizonte O do solo intacto, ou parcialmente afetado nos primeiros milímetros;
Moderado ou Severo	Árvores com parte das copas destruídas, mas com folhas não consumidas; Ramos finos mortos na superfície do solo e troncos queimados; Horizonte O do solo quase consumido;
Muito severo	Copas das árvores mortas e folhas consumidas; Horizonte O do solo completamente inapto; Deposição de cinzas brancas e matéria orgânica carbonizada a vários centímetros de profundidade;

Em suma, a severidade do fogo depende das características e condições do solo, sendo que afetará o solo ao nível da microbiologia, da mineralogia e da água do solo. Já a intensidade

do fogo, é avaliada por fatores como o combustível, a topografia e as condições climáticas, que influenciam na severidade do fogo.

2.3.1. Na vegetação

A forma como a planta é afetada pelo fogo dependerá principalmente da capacidade adaptativa e da resistência ao fogo. Whelan, citado em Catry *et al.* (2010), refere a existência de duas formas de tolerância ao efeito do fogo sobre a planta, uma no que respeita as células que formam os tecidos vitais da planta, e que permitem a tolerância a temperaturas elevadas. Outra forma prende-se com a proteção dos tecidos vitais, o que não permite que a temperatura letal seja atingida.

Os efeitos que o fogo desempenha sobre o coberto vegetal, podem ser distinguidos em dois níveis de classificação. Os primeiros, efeitos de primeira ordem, resultam de efeitos diretos e imediatos, tais como a mortalidade da vegetação, o consumo de matéria orgânica e as trocas físicas e químicas. O outro nível de classificação designa-se como efeitos de segunda ordem, e estão diretamente relacionados com os efeitos de primeira ordem, ou seja, os fatores elencados nos efeitos de 1ª ordem geram consequências sobre a vegetação, as trocas microclimáticas, a temperatura do solo, os nutrientes e a atividade microbiana, a sucessão e os padrões de vegetação, a taxa de crescimentos e a competição, e a alteração de habitat (Moya *et al.*, 2013).

Whelan, citado por Catry *et al.* (2013), destaca que as plantas que suportam o calor mais intenso são as que se encontram em pousio vegetativo ou em estado de desidratação. No entanto, as condições meteorológicas e o estado metabólico da planta influenciam a intensidade do fogo, promovendo uma maior ou menor intensidade sobre a planta. A morte das plantas é fundamentalmente avaliada pelos danos originados nas copas. Porém, os insetos, os fungos ou as doenças que se verifiquem nas plantas podem acelerar a morbilidade da planta aquando do fogo. Por sua vez, fatores de *stress* pré ou pós-fogo tornam também a planta mais suscetível (desencadeado por condições meteorológicas desfavoráveis, feridas, etc.). Vários autores defendem que «*a maior parte das células vegetais morrem se a temperatura atingir aproximadamente 50-55°C*» (Catry *et al.*, 2010, pág. 51).

De referir, que as características de cada espécie vegetal influenciam a suscetibilidade da mortalidade das plantas. Em árvores, a sobrevivência resulta da capacidade de resistência da copa, do tronco e das sementes. Assim, para Byram (1948), Wagener (1961), Brown e Davis

(1973), Keeley e Zedler (1998) as características da copa (densidade e dimensão dos ramos, proporção entre material vivo e morto, a localização da base da copa em relação aos combustíveis à superfície, e a dimensão total da copa) determinam a sobrevivência da planta. A altura é um fator importante para a sobrevivência da copa, mas nas espécies vegetais, em que os troncos são revestidos de uma casca protetora, não há propensão para a continuidade vertical do fogo. As folhas são determinantes para maior ou menor resistência das plantas. As árvores de folhas caducas são menos suscetíveis durante o período de dormência da planta e as agulhas mais compridas (no caso das coníferas) protegem inicialmente os gomos. Já as folhosas, devido à maior percentagem de humidade, apresentam maior resistência ao fogo. Contudo, nos eucaliptos, devido à sua identidade genética, as folhas são fonte de ignição, o que os torna mais suscetíveis ao fogo (Catry *et al.*, 2010).

Relativamente ao tronco, apesar de menos volátil para a planta do que a dessecação da copa, esta parte da planta pode apresentar propriedades térmicas que permitem a resistência ao fogo, normalmente relacionadas com a espessura da casca. Catry *et al.* (2010) destacam que a espessura quando superior a 3-4 cm será suficiente para a proteção do mesmo. O momento em que ocorre o incêndio pode afetar de diferentes formas as plantas, devido à sazonalidade da sua reserva nutritiva (Zwolinski e Donald, 1995; Catry *et al.*, 2010).

A cobertura vegetal, ou seja, as espécies e comunidades vegetais, apresentam adaptações de sobrevivência ao fogo, pelo que se classificam como espécies (Moya *et al.*, 2013, pág. 2):

- *Pirovulneráveis* – não adaptadas por viver em áreas não propensas a incêndios. Sofrem graves danos, elevada mortalidade e não tem meios de regeneração natural após incêndio (*Abies* sp. o *Juniperus thurifera* L.);
- *Piroclásticas* – adaptadas para baixa inflamabilidade e/ou apresentam alta humidade nos tecidos. (*Salix* sp. o *Fagus sylvatica* L.);
- *Piroresistentes* – proteção dos tecidos, com casca grossa para proteger do fogo (*Quercus suber* L.) e capacidade de rebentar das raízes e rizomas enterrados (*Quercus coccifera* L. y *Populus* sp., respectivamente);
- *Pirófilas* – elevada resistência e/ou regeneração após incêndio (*Pinus halepensis* Mill);
- *Pirófitas* – elevada inflamabilidade que favorece o fogo e que induz a regeneração (espécie de género *Cistus*).

2.3.2. Na água

O impacto do fogo determina as características físicas, químicas e biológicas da água dos rios, dos cursos de água e dos corpos de água. Porém, os impactos que resultam do incêndio serão influenciados pelo tamanho (amplitude), pela intensidade e pela severidade do fogo, promovido pelo subsequente transporte do material erodido ao longo das vertentes e dos sedimentos depositados junto dos corpos de água (Neary *et al.*, 2005).

Os incêndios induzem à diminuição da qualidade da água, incrementam a deposição de sedimentos e conseqüente turvação da água, originando o aumento da temperatura e concentração de nutrientes (Clark, 2001). A sedimentação das linhas de água promove uma rápida proliferação da vegetação nas margens dos cursos de água, mas também um aumento dos combustíveis residuais (Sham *et al.*, 2013).

A temperatura dos cursos de água aumenta quando existe contato direto com as elevadas temperaturas inerentes do incêndio. No entanto, este aumento repentino é drástico para o habitat aquático, pois verifica-se uma diminuição da concentração do oxigênio na água e um aumento de 1 a 5° C da temperatura. A erosão dos nutrientes do solo, N, F, P, Ca e mais cátions que são depositados na água por ação do fogo, alteram-se e transformam-se em bicarbonatos, nitratos, amônia e nitrogênio orgânico. Geralmente não afetam os humanos, mas contribui para a eutrofização dos corpos de água e conseqüente perda da fauna (Tiedmann *et al.*, 1979; Chandler *et al.*, 1983, citado por Clark, 2001).

Os retardantes de fogo, apesar de não tão usuais em Portugal, ao serem polvorizados nas florestas são uma ameaça para a vida aquática e para o ser humano, pela transformação de elementos erodidos em cianetos (Neary *et al.*, 2005; Sham *et al.*, 2013).

2.3.3. Na atmosfera

À proliferação de um incêndio compreende-se o aparecimento de uma coluna de fumo, pois como incitado na sabedoria popular “*onde há fumo há fogo*”. Os incêndios também apresentam diversos efeitos na atmosfera (no ar), um dos quais a combustão dos químicos, como a celulose, o carbono, o hidrogênio, o oxigênio e os nutrientes primários, sendo que quando combinados com o oxigênio atmosférico produzem diversas reações químicas (*e.g.* dióxido de carbono) (Mahaffey e Miller, 2001).

As partículas de matéria que se libertam no ar acarretam risco para a saúde humana, devido a exposição a estas partículas, que podem levar à morte de animais e humanos, mas principalmente é possível originar doenças cardiopulmonares (Sandberg *et al.*, 2002).

No entanto, os efeitos dos incêndios na atmosfera ainda podem desencadear alterações no clima. Estas alterações ocorrem, sobretudo, ao nível microclimático (variação do clima local), designadamente, alterações na temperatura do ar, na humidade relativa e na velocidade do vento (aumenta em resultado do atrito provocado pela vegetação) (Lourenço, 1990a).

2.3.4. No Solo

O fogo é um elemento que pode apresentar grande influência na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas do solo, tanto na microbiologia edáfica como nas propriedades físicas. Segundo Neary *et al.* (1999) os efeitos do fogo no ecossistema são complexos, pois há diminuição da biomassa e apresenta impacto nas características físicas, químicas e microbiológicas. Estes efeitos resultam de fatores como a severidade, o tipo de solo e as condições climáticas (as mudanças climáticas têm contribuído para o aumento dos incêndios florestais, tanto em área como em número) (Fernández, 2015, referindo Birot, 2009; Pereira *et al.*, 2010). Além disso, existem múltiplos fatores que alteram os impactos sobre o solo, como o regime do fogo, a meteorologia, a vegetação, o tipo de solo e o relevo (Neary *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2010).

No entanto, estes fatores atuantes sobre o solo, conjugados com as características do fogo, principalmente a severidade, promovem a diminuição da matéria orgânica ou a sua volatilização, o que afeta a estabilidade e a estrutura do solo e provoca alterações nas comunidades microbiológicas do solo (Mataix-Solera *et al.*, 2011). As alterações físicas, químicas e biológicas que se verificam no solo após-incêndio, levam a que o solo fique mais vulnerável a fatores erosivos desencadeados por condições meteorológicas, ou seja, à erosão hídrica e à erosão eólica. Porém, a primeira apresenta sempre maior impacto no solo, como salienta Ferreira *et al.* (2008).

Assume-se assim, que os efeitos do incêndio sobre o solo são devastadores, pois interferem com a produtividade e a regeneração do solo, além de promoverem a escorrência hídrica e a contaminação das águas a jusante.

2.3.4.1 Propriedades físicas do solo

Os efeitos do fogo sobre as propriedades físicas do solo dependem das características do incêndio e das condições do solo antes e após a ocorrência do fogo (Archégui *et al.* 2013). A estrutura do solo, quando afetada pelo fogo, altera as características do solo, geralmente a cor do solo, que ocorre a uma temperatura do fogo que varie entre os 100°C e os 250°C, e contribui para a desidratação no solo. Sendo a matéria orgânica principalmente constituída por água do solo, bem como as argilas, em que sua característica coloidal é potenciada pela presença de água, essa desidratação que se manifesta no solo proporciona a diminuição das suas propriedades. Aos 460°C, a textura e a distribuição das partículas de dimensão inferior a 2 mm, como as areias, a silte e as argilas, obtêm tamanhos e formas diferentes, dando origem à redução estrutural das partículas, que por aglomeração resultam em areias e siltes e observa-se a modificações dos espaços intersticiais do solo. Porém, aos 700°C, a estrutura da argila pode desaparecer por completo (Soto *et al.*, 1991; Neary *et al.*, 1999; DeBano *et al.*, 2005; Mataix-Solera *et al.*, 2011 e Ulrey e Graham, 1993 referido em Archégui *et al.*, 2013) perdendo o solo as suas características colodais.

Alguns autores como Lide (2001), referido em DeBano *et al.* (2005), defende que um fogo de extrema severidade, ou seja, com temperaturas de 1400°C, pode atingir os pontos de fusão de minerais como areia e silte, «*when fusion does occur, soil texture becomes more coarse and erodible*» (DeBano *et al.*, 2005, pág. 30).

Em suma, a longo prazo verifica-se no solo, devido à erosão, a redução da porosidade e aumento dos macroporos; o emagrecimento dos solos causado pela destruição da matéria orgânica; alteração da estrutura do solo e estabilização dos agregados; a curto-prazo, verifica-se a redução da infiltração e por consequência transporte de partículas de solo produzido por chuvas rápidas (*rainsplash*) (Neary *et al.* 1999; DeBano *et al.*, 2005 e Archégui *et al.*, 2013).

2.3.4.2 Propriedades químicas do solo

As propriedades químicas do solo, quando afetadas pelo fogo, desencadeiam reações e processos químicos diversos. O quimismo do solo afeta principalmente a matéria orgânica, os nutrientes do solo, as reações de troca catiónica e o pH do solo (Knoepp *et al.*, 2005).

A matéria orgânica (MO) do solo é um constituinte fundamental do solo e constitui a maior reserva de carbono (C) orgânico à superfície da terra (González-Vila *et al.*, 2009). Este constituinte influencia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e é responsável pela disponibilidade de nutrientes às plantas e desenvolvimento dos microrganismos do solo (Rosa *et al.*, 2013). A concentração de nutrientes do solo é afetada pelo tipo de regime de fogo, isto é, quando a severidade é baixa ou moderada, a concentração de carbono orgânico é de 41% a 60% e quando a severidade é extrema verifica-se apenas 11% a 26 % (Brais *et al.*, 2000), afetando a camada de húmus do solo.

A relação de troca C/N do solo é fundamental para atividade microbiana, e ambos os solutos promovem a fixação de nutrientes. No entanto, o azoto (N) ao ser submetido a temperaturas elevadas (200°C) é volatilizado e transforma-se em amônia (NH₄) que se fixa nas cinzas resultantes do incêndio. A amônia ao afixar-se às cinzas fica sujeita a lixiviação e erosão, promovendo assim a desnitrificação do solo e alteração da relação C/N (González-Vila *et al.*, 2009). A estruturação mineralizada do soluto C, originado por desidratação e desequilíbrio da estrutura de relação C/N, forma o húmus piromórfico, que é constituído por macromoléculas com menor ligações iónicas, o que afeta as propriedades coloidais do solo e a sua solubilidade (DeBano *et al.*, 1976; Almendros *et al.*, 1984; Doerr *et al.*, 2009, referidos por Rosa *et al.*, 2013). Assim sendo, os elementos de base de troca, como cálcio, magnésio, potássio e sódio, que desempenham a função de catiões de troca com o coloide de argila, podem conduzir à concentração destes elementos no solo pelo facto de serem nutrientes que volatizam a temperaturas superiores a 750°C (o potássio > 760°C, o fósforo 774°C, enxofre 800°C, sódio 880°C, magnésio 1170°C e o cálcio 1240°C) (Weast, 1998, citado por Neary *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2010).

A diminuição da água do solo por ação do calor, leva a que a troca iónica seja menor, ocorrendo *«uma perda maior de aniões do que catiões, as cinzas são geralmente ricas em óxidos solúveis de bases que se transformam em carbonatos capazes de neutralizar a acidez do solo»* (Oliveira e Silva, 1994, pág. 144), resultando num aumento do pH, uma vez que a combustão de matéria orgânica durante o incêndio e a subsequente libertação de catiões solúveis tendem a aumentar ligeiramente o pH, porque catiões básicos são libertados durante a combustão e depositados sobre a superfície do solo (Ardini *et al.*, 1998; Knoepp *et al.*, 2005).

Os microrganismos do solo são responsáveis por aproximadamente 85% dos processos e reações que se verificam no solo, ou seja, *«los microrganismos son los únicos agentes que pueden modificar y mejorar las condiciones post-incendio del suelo desnudo, favoreciendo la implantación de una cubierta vegetal»* (Bárcenas e Diaz 2013, pág. 1). Os efeitos do fogo sobre os microrganismos do solo são condicionados pela humidade do solo antes do incêndio e pela duração e intensidade do fogo, que resulta numa alteração do perfil do solo. Esses efeitos podem ser imediatos, a curto, médio e longo prazo.

No que respeita aos efeitos imediatos do fogo sobre o solo, este é letal para os microrganismos quando as temperaturas são superiores a 120°C. A esta temperatura resulta *«uma esterilização parcial do solo, sobre todo os 0 e 2,5 cm superiores, e em consequência, a densidade, biomassa e actividade microbiana descem consideravelmente até alcançar níveis muito baixos ou inclusivamente indetectáveis»* (Bárcenas e Diaz 2013, pág. 3). A curto prazo, *«os microrganismos sobreviventes ao impacto directo do fogo proliferam rapidamente ocupando novos nichos que favorecem as trocas substâncias induzidas pelo fogo nas propriedades do solo»* (Bárcenas e Diaz 2013, pág. 3).

A médio e longo prazo, assiste-se a valores mais baixos de biomassa e diminuição dos nutrientes, sendo que o impacto do fogo pode apenas desaparecer após 1 ou 2 anos, quando ocorre uma severidade baixa ou moderada. Contudo, quando se verifica uma elevada severidade do fogo, conjugada com uma regeneração lenta da cobertura vegetal e/ou com as áreas suscetíveis à erosão (Mataix-Solera *et al.* 2011; Carballas *et al.*, 2009). Neste contexto, *«observa-se um impacto negativo do fogo sobre a microbiota edáfica (...), inclusive 5 a 10 anos após ocorrência do incêndio»* (Bárcenas e Diaz, 2013, pág.4)

2.3.4.3 Impacto das cinzas no solo

As cinzas são o composto resultante da combustão da matéria orgânica, sendo fundamentais para a proteção do solo, no que respeita aos agentes erosivos, como a chuva e os ventos. Estas são fundamentais pelo facto de afetar as propriedades química-físicas do solo, após o incêndio (Pereira e Bodí, 2013).

As alterações nas propriedades do tipo de solo estão diretamente relacionadas com a quantidade de cinzas depositadas e a intensidade calorífica, ou seja, a uma temperatura de 250°C,

o pH reduz e aumenta a capacidade elétrica (CE) do solo. Já aos 500°C a CE reduz e o pH aumenta. Porém, ao contrário do que acontece nas propriedades químicas, a adição de cinzas não modifica as propriedades físicas, mas modifica o conteúdo de matéria orgânica, a relação de C/N, a acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes (Villas e Dalmau, 2010).

Segundo Raison *et al.* (1990), referido em Knoepp *et al.* (2005), as cinzas transformam os nutrientes em carbonatos e óxidos metálicos, predominando elementos como P, S e N, e absorvendo os cátions de base de troca (*vide* Cap.2.3.4.2), levando ao aumento do pH do solo que comumente varia entre 5 e 6 quando as temperaturas do fogo são baixas, sendo ricos em microrganismos e em Mg, F, Z e Al. Contudo, o pH atingindo o valor de 12 geralmente com temperaturas mais elevadas as cinzas libertam grandes quantidades de C, Mg, P e So (Pereira e Bodí, 2013).

O carbono é um dos nutrientes fundamentais na capacidade hidrofóbica e hidrófila do solo, resultado da percentagem de carbono orgânico ou cálcico nas cinzas, segundo Dlapa *et al.* (2012). Na floresta mediterrânica, a presença de maior carbonato de cálcio aumenta a repelência do solo.

Neste contexto, a estrutura do solo e a sua permeabilidade é afetada pelas alterações físicas provocadas pela “*camada de cinzas*” (denominação inglesa: *ash-bed*), que podem reter elevadas quantidades de água (80%), devido à sua porosidade. Quando se verifica precipitações inferiores à capacidade de campo da cinza, ocorre a diminuição da escorrência e aumenta a proteção do solo. De referir que, caso se verifique nas cinzas grande presença de carbonatos de cálcio, origina-se o efeito contrário, isto é, o aumento da escorrência em consequência do aumento da camada hidrófoba do solo (Pereira *et al.*, 2010; Woods e Balfour, 2010). Contudo, a proteção originada pela “*camada de cinzas*” sofre alterações e perde os efeitos em caso de chuvas e ventos fortes, «*y desaparecer a los pocos días o contrariamente permanecer durante todo el primer año*» (Pereira e Bodí, 2013, pág.4).

A coloração das cinzas pode ser indicador da intensidade e severidade do fogo. Como referem Pereira *et al.* (2010, pág.50) «*black ash is an evidence of a low fire severity and grey/white ash of high fire severity, and are indirect estimators of low and/or high temperature*».

2.4. A erosão hídrica após incêndio florestal

O processo de erosão é um fenómeno do ecossistema terrestre, que consiste na perda gradual dos constituintes do solo. No entanto, fatores como os incêndios promovem uma degradação mais intensa do solo, como a perda da vegetação, da estrutura/textura do solo e, conseqüentemente, a diminuição da capacidade de infiltração do solo (Coelho *et al.*, 2004; Certini, 2005; Robichuad, 2009).

A precipitação e a severidade do fogo são fatores responsáveis pelo incremento erosão. Não obstante, o aumento da precipitação e uma elevada severidade do fogo, em conjunto com uma probabilidade de erosão elevada, proporciona *«impactos que podem ser muito diversos dependendo não só das condições locais mas (...) da intensidade do fogo, a qual pode contribuir para a diferença do nível de escorrência, do escoamento das bacias hidrográficas e da taxa de erosão»* (Ferreira *et al.*, 2010 citando Ferreira *et al.*, 2005 a,b). Assim, o fogo é responsável pela perda do coberto vegetal do solo, bem como da passível perda do horizonte O do solo, que tem como principais funções a retenção da humidade, o controlo da infiltração de água no solo e a proteção dos agregados do solo contra o impacto das gotas de chuva (Villas e Úbeda, 2013).

As alterações registadas na superfície do solo, pela ação da combustão produzida pelo fogo, como a acumulação de cinzas, (*e.g.* como a folhada dos povoamentos de *Eucalyptus globulus*) (Ferreira *et al.*, 2010), poderá modificar a repelência da água do solo, devido às suas características.

A repelência da água do solo (hidrofóbica) *«é uma propriedade natural do solo que reduz a necessidade de água de forma a resistir ao encharcamento durante períodos de poucos segundos até meses»* (Varela e Benito, 2013, pág. 1). Esta condição do solo apresenta uma intensidade máxima em períodos de seca e diminui com os períodos chuvosos, dependendo principalmente da humidade, da temperatura e da taxa de evapotranspiração do solo.

Segundo Soto *et al.* (1991) e Doerr e Shakesby (2009), a menos de 175° C existe poucas mudanças no regime hidrofóbico do solo. Porém, a água de repelência é induzida quando as temperaturas variam entre 175 e 200 °C, enquanto a destruição do poder de repelência do solo ocorre a temperaturas entre 280 e 400 °C.

Deste modo, a infiltração do solo acontece quando a MO se acumula à superfície e o número de macroporos aumenta devido à atividade microbiana, proporcionando uma maior

permeabilidade e estruturação dos agregados do solo. Já a evapotranspiração é determinada pela proporção de precipitação total da bacia hidrográfica promovida pelo poder de vazão ou pela capacidade da recarga aquífera (Neary e Ffolliott, 2005).

A escorrência é o fator mais preponderante na erosão hídrica, pois após o fogo formam-se duas camadas à superfície do solo que têm domínio na erosão do solo: *(i)* a camada hidrófoba quando a água não consegue humedecer os agregados e confirma-se uma redução drástica da capacidade de infiltração; e *(ii)* hidrófila, quando a camada é composta por material extremamente erodível (Neary *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2010; Jordán *et al.*, 2010). Neste contexto, com um solo desnudado e com a ocorrência de um período de precipitação intensa onde o rácio de infiltração é excedido, o solo satura, dá-se a escorrência, promovido pela hidrofobicidade do solo e consequente lixiviação da camada de cinzas hidrofílicas (diminuição drástica dos nutrientes no solo) (Neary *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2010).

Em síntese, o fogo pode mudar consideravelmente os processos hidrológicos, aumentando as vulnerabilidades, potenciando as inundações e erosão do solo, a remoção de cobertura vegetal, a alteração das propriedades do solo e induzindo à repelência da água do solo (Jordán *et al.*, 2010)

2.5. Medidas de mitigação do solo após incêndio florestal

Desde meados do século XX, os países mediterrânicos têm apresentado transformações de grande escala ao nível do uso do solo provocadas, em parte, pelos incêndios florestais. A preocupação com a deterioração dos solos, a nível europeu, levou à promoção e financiamento de medidas e projetos (EUFIRELAB) neste âmbito (Vallejo, 2006 referido em Vieira *et al.* 2012).

No entanto, os Estados Unidos da América é um país que apresenta um manancial de programas e medidas para intervenção em áreas ardidas, considerando o facto de as suas equipas multidisciplinares estarem desde 1930 dedicadas a vários programas de intervenção [e.g. BAER (Resposta de Emergência em Áreas Ardidas)] (Robichaud *et al.*, 2005; Vieira *et al.* 2012).

A gestão das áreas ardidas pós-fogo deve ser definida através de estratégias de intervenção (Moreira *et al.*, 2010). Duas dessas medidas são medidas prévias, e consistem na: 1- identificação de áreas vulneráveis (delimitação cartográfica das áreas e definição de objetivos de intervenção e de proteção); e 2 - e na avaliação de impactos *in situ* (identificação dos danos inerentes e o cruzamento com as metodologias do ponto 1, para estabelecer as áreas prioritárias). As outras, são medidas de reabilitação e monitorização: 3- intervenções de emergência (objetivo de minimizar os impactos negativos do fogo no solo, na água, prevenir pragas e diminuir o impacto paisagístico, ou seja, medidas de mitigação); 4- fase intermédia (consiste na avaliação dos danos e monitorização das medidas aplicadas no ponto 3, podendo resultar novas ações, nos dois anos seguintes a propagação do incêndio); 5- fase de recuperação a longo prazo (medidas de aplicação a partir dos 3 anos de ocorrência do incêndio, que define ações definitivas como a florestação e aplica-se um ordenamento e planeamento das áreas à escala da paisagem). Estas intervenções de emergência são necessárias para minimizar os impactos do fogo, porque podem oferecer algum tipo de proteção.

A reabilitação da área ardida florestal e a monitorização dos efeitos é essencial para a determinação de medidas de mitigação, com o objetivo de restituição do solo e do ecossistema (Robichaud, 2009). Em virtude dos fogos florestais queimarem grandes áreas florestais, as medidas mitigadoras devem apresentar baixos custos e efeitos elevados (Ferreira *et al.*, 2010).

As técnicas de conservação do solo, ou seja, as medidas de mitigação para o solo após incêndio florestal (segundo Robichaud *et al.*, 2005; Bautista *et al.*, 2009; Ferreira *et al.*, 2010; Vallejo e Moreira, 2010), definidas com base no programa BAER, dividem-se em três categorias de técnicas, das quais destacaremos dois tipos:

◆ Vertentes

○ Sementeira – consiste em espalhar sementes num terreno lavrado, sendo que poderá ser um *mix* de sementes de herbáceas, arbustivas e árvores. A este podem acrescentar-se adubos, bioestimulantes, e água (hidro-sementeira, método aplicado de forma aérea). As sementeiras podem dividir-se em sementeira direta, nos casos em que seja feita uma aplicação direta sobre a superfície do solo, e sementeira em faixa, onde se procede à abertura de sulcos e se depositam as sementes. A sementeira em faixa é mais propícia para declives suaves.

○ Coberturas (*Mulching*) – esta técnica forma uma “película” sobre o solo, geralmente constituída por resíduos locais (palha, cascas e ramos triturados). Este método reduz o impacto da chuva, retêm os sedimentos, aumenta a humidade no solo, reduz a evaporação e aumenta a MO do solo. O *hidromulching* (Rey, 2003, citado em Ferreira *et al.*, 2010) é uma técnica em que se mistura palha, adubo, sementes, bioestimulante e cola ecológica. Este processo consiste em fixar esta mistura ao solo, permitindo a regeneração e proteção contra intempéries, devido ao poder de adsorção, e é aplicado por meios mecânicos (aspersores).

○ Barreiras de controlo - são barreiras formadas por troncos ou tubos de plástico, ou outras estruturas, que permitem a redução da velocidade da escorrência, a retenção de sedimentos e promove a infiltração. Geralmente, utilizam-se troncos queimados para criar essas barreiras. Entre o tronco e a superfície, caso se visualize espaços livres, devem ser preenchidos com solo, para evitar perda de sedimentos e água.

○ Cilindros de palha (*Straw Wattles*) – é uma estrutura composta por tubos de nylon ou malha de arrame e por palha. Permite a redução da velocidade de escorrência e promove a fixação de sedimentos. Porém, ao contrário das barreiras de controlo, esta técnica é paralela às curvas de nível e é utilizada em áreas de baixo fluxo.

○ Abertura de valas e terraços (*contour trenching*) – rego no solo que permite a retenção dos elementos erodíveis do solo. Este método aplica-se em declives com menos de 30%, apesar de se poder aplicar em áreas com maior declive.

○ Cercas de silte – técnica para aplicação temporária, que consiste em criar uma barreira à erosão, através de blocos de silte.

○ Geotêxteis – é uma técnica onde se usam tecidos têxteis que formam uma barreira apoiada em estacas, utilizada para áreas de declive elevado.

◆ Em canais

- Barreiras de fardos de palha – colocam-se preferencialmente em cursos de água de reduzida dimensão e é uma técnica útil em fogo de baixa intensidade. Com duração de 1 a 3 anos, esta técnica reduz o fluxo de escorrência e a retêm os sedimentos (criando uma bacia de sedimentação). No entanto, como é constituída por material degradável, a reposição dos sedimentos retidos para jusante é gradual.

- Barreira de troncos – estrutura estável, sendo possível a colocação ao longo da vertente. O material utilizado são troncos presentes no local que podem ser colocados na vertical ou horizontal e amarrados com cordas, devendo-se colocar os mais grossos no centro e escavando-se uma galeria com metade da dimensão dos troncos (na vertical), e os horizontais deve-se ancorar nas extremidades do curso de água.

- Barreiras de pedras – aplicadas ao longo do canal, estas barreiras obrigam à escavação de vagas perpendiculares ao fluxo de água do canal, durante o período de seca. Esta técnica deve obedecer a medidas concretas de colocação das pedras. O objetivo desta técnica é prevenir o ravinamento, reter os elementos grosseiros e aprofundar o canal.

- Bacias de sedimentação – é uma estrutura que cria uma bacia de retenção fechada, com capacidade de reter os sedimentos das encostas (devendo reter 50 a 90% do fluxo de água), que aí ficam depositados por um período de 10 anos e nunca inferior a 2 anos (caso exista remoção dos destroços). Esta técnica é aplicada em último recurso. Assim, a sua função é dissipar a energia do caudal, criar habitat para os organismos aquáticos e impedir a deterioração da qualidade da água a jusante.

Capítulo II – A área de estudo (freguesia da Reguenga)

1. Retrato físico do município e área de estudo

1.1. Enquadramento da área no município de Sto. Tirso

Reguenga é uma freguesia portuguesa do município de Santo Tirso com uma população de 1596 habitantes, segundo os censos de 2011, com 5 Km² de área⁽¹⁾, e densidade populacional de 319 hab/Km² (Figura 8). Situa-se na parte Sudeste do município e dista cerca de 8 km da sede do concelho (União de Freguesias de Santo Tirso, Couto e Burgães). Faz fronteira com a freguesia de Agrela, União de Freguesias de Carreira e Refojos e União de Freguesias de Lamelas e Guimarei, e também com município de Paços de Ferreira.

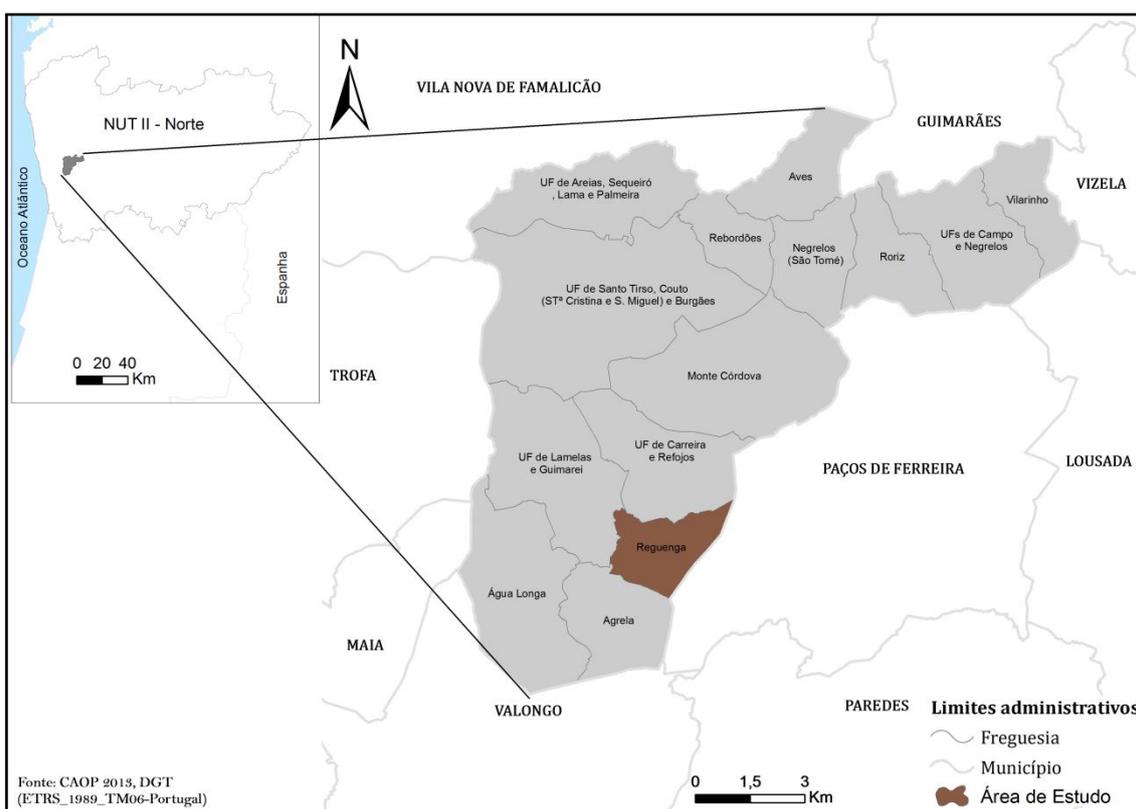


Figura 8 – Localização geográfica da freguesia da Reguenga (Santo Tirso)

⁽¹⁾ DGT – CAOP 2013

O Município de Santo Tirso situa-se no Noroeste de Portugal, pertence à sub-região do Grande Porto, tem 71530 habitantes (censos de 2011) e uma área total de 136,60Km² ⁽¹⁾. É limitado a Norte pelos municípios de Vila Nova de Famalicão e de Guimarães, a Nordeste pelo de Vizela, a Este por Lousada, a Sudeste por Paços de Ferreira, a Sul por Valongo, a Sudoeste pela Maia e a Oeste pela Trofa. No decorrer da reforma administrativa do ano de 2013, o concelho de Santo Tirso, anteriormente com 24 freguesias, passa a ser composto por 14 freguesias. A freguesia de Reguenga (área de estudo) não sofreu alterações com a reforma administrativa⁽²⁾, mas foram agregadas outras 14 freguesias resultando em 5 uniões de freguesias: a UF de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira, UF de Campo (S. Martinho e S. Salvador) e Negrelos (S. Mamede); UF de Carreira e Refojos de Riba de Ave; UF de Lamelas e Guimarei, e UF de Santo Tirso, Couto (St^a. Cristina e S. Miguel) e Burgães.

1.2. Geologia

O Maciço Hespérico é a unidade morfoestrutural da Península Ibérica em que se insere a área de estudo. Esta Unidade foi constituída ao longo de sucessivos ciclos orogénicos que permitiram a transformação das rochas mais antigas, através de deformações e demais processos geológicos, desde há aproximadamente 600 Milhões de anos (Ma). Nestes ciclos orogénicos, o Varisco, que ocorreu entre o Devónico e o Pérmico (desde 400 Ma), e levou ao arrasamento das cordilheiras existentes. O Noroeste de Portugal inclui-se na Zona Centro-Ibérica (Brum Ferreira, 2005). Esta «*é uma zona heterogénea que compreende áreas com metamorfismo de médio a alto grau e abundantes granitóides a que se opõem áreas sem metamorfismo ou com metamorfismo de baixo grau*» (Pamplona, 2001) (Figura 9).

⁽²⁾ Lei n.º 22/2012 - aprova o regime jurídico da reorganização administrativa territorial autárquica

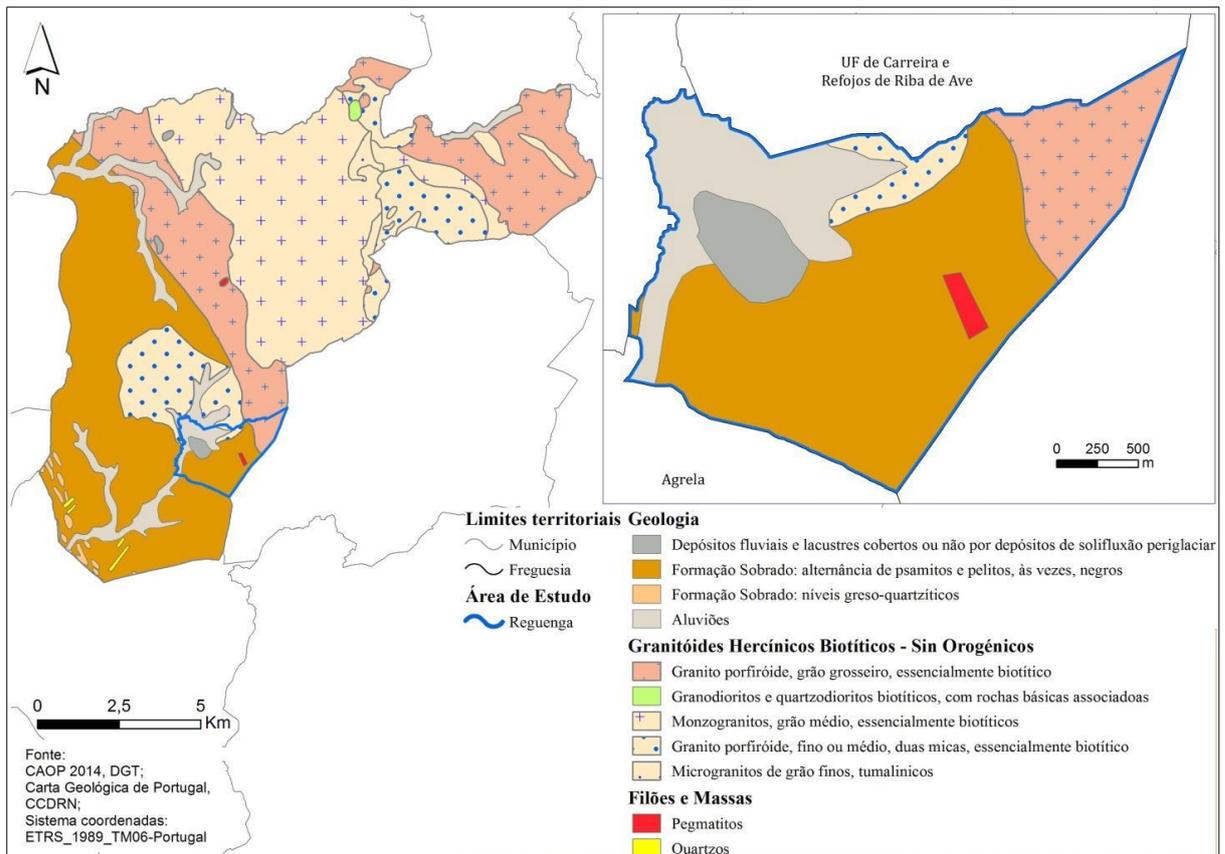


Figura 9 - Mapa Geológico do município de Santo Tirso

A freguesia de Reguenga é dominada ao centro por depósitos quarternários, salientando-se os terraços fluviais com 5 a 15 metros, relacionados com a margem esquerda do Rio Leça, do Plistocénico, e os aluviões de fundo de vale, do Holocénico. O quadrante sul da área de estudo é influenciado por orlas de metamorfismo termal do Silúrico, predominando rochas corneanas psamíticas e xistos mosqueados. Porém, a Norte existe afloramentos rochosos cujas características mais proeminentes são, entre outros, a sua constituição por metassedimentos e granito grosseiro porfiróide (Figura 9) (Medeiros *et al.*, 1980).

1.3. Relevo

1.3.1. Hipsometria

O município de Santo Tirso apresenta um relevo relativamente acidentado. Numa análise ao município verificamos que no sector Sudeste (SE) o relevo é mais elevado do que nos restantes sectores. Neste sector, inclui-se a vertente da área de estudo (Figura 10). Lautensach (2000, pág. 138), faz uma breve referência a esta área, em que «a superfície de erosão portuense alarga-se e penetra ao longo dos Rio Ave, Este e Cávado até 25 Km para leste, enquanto espinhaços e montes

residuais se estendem para oeste, ao longo dos interflúvios, de forma que o relevo se torna aqui movimentado e sem linhas orientadoras nítidas».

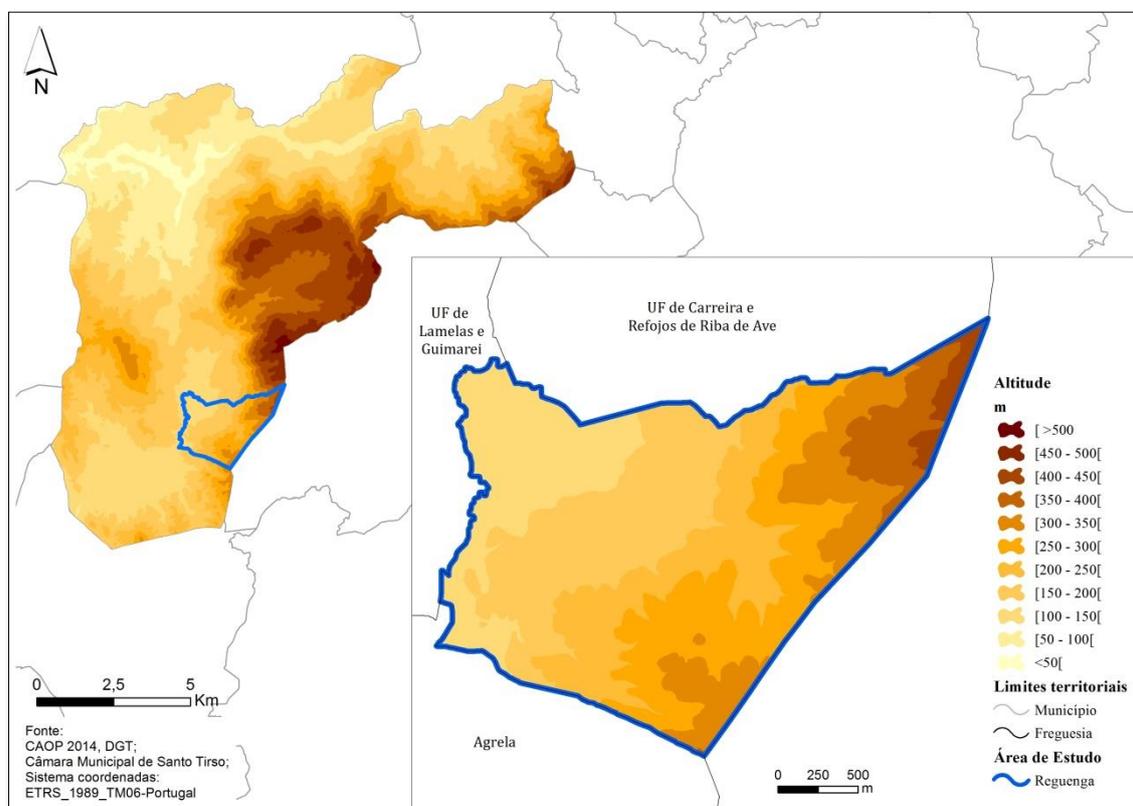


Figura 10 - Hipsometria do Município e da Área de Estudo

A altitude mais elevada na Reguenga (Área de Estudo) verifica-se no extremo Nordeste da freguesia, onde se demarca a extensão da Serra do Pilar atingindo o ponto mais elevado aos 433 metros. Em orientação oposta situa-se o ponto mais baixo (134 m) junto ao rio Leça. A classe hipsométrica com maior representatividade na área de estudo é dos 150 aos 200 metros, representando 23,4% (1,17 km²) do total da área.

1.3.2. Exposições

A carta de exposição das vertentes apresenta o grau de insolação, ou seja, a radiação solar que uma determinada porção de território recebe, tendo em conta a inclinação da superfície, e influenciando sobretudo pela humidade e temperatura do ar e do solo (SCRIF, 2015). Esta permite determinar que as encostas a norte são mais úmidas e as encostas voltadas a sul apresentam maiores níveis de secura.

O território de Santo Tirso (Figura 11) tem 19,2% das vertentes voltadas a Nordeste, que indicam níveis de humidade mais elevados, e 16,8% do território com vertentes orientadas a Oeste, representando níveis de humidade bastante reduzidos. Contudo, as vertentes orientadas a Sul e Sudeste, as vertentes de quadrante mais seco, no conjunto representam 18,3 % do território.

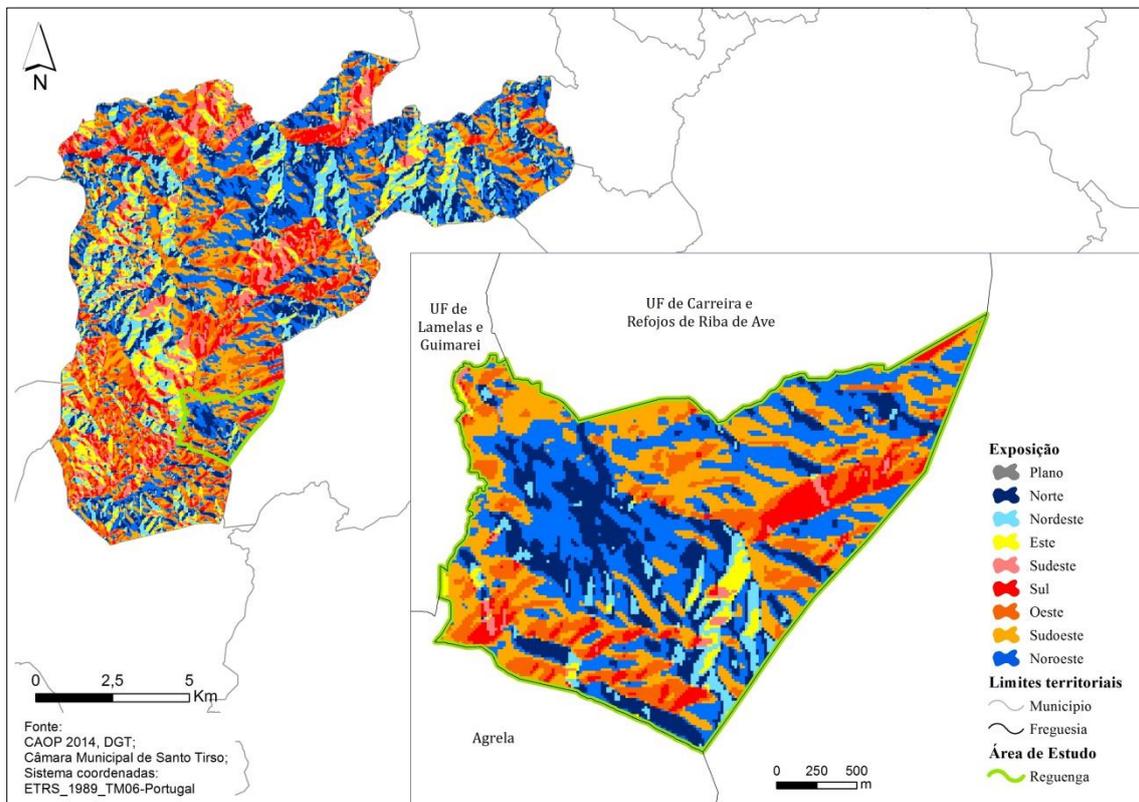


Figura 11 - Exposição das vertentes do município e da área de estudo

As vertentes da área de estudo (Figura 11) estão orientadas maioritariamente a Noroeste e a Oeste, totalizando 36% e 26,2% da área, respetivamente. Apresenta apenas 5,2% de área exposta a Sul.

No entanto, a exposição da vertente orientada ao quadrante Sul ou Sudoeste tem maior propensão para aquecimento da superfície e da vegetação, uma vez que recebe radiação solar direta, potenciado um menor grau de humidade na superfície e na vegetação, o que pode tornar o combustível vegetal numa fonte rápida de inflamação e propagação para o incêndio, uma vez que o índice de humidade é baixo. Contrariamente, as vertentes Norte e Nordeste, devido a sua menor exposição solar apresentam um maior índice de humidade, levando o combustível a arder com menos intensidade.

1.3.3. Declives

O declive expressa a inclinação morfológica do terreno em relação com o plano. Este fator é avaliado nos incêndios florestais pela influência que pode ter na velocidade de propagação do fogo. Neste sentido, os ventos ascendentes e a inclinação natural das chamas sobre os combustíveis facilitam o avanço da frente do fogo (SCRIF, 2015).

O município apresenta um território com declives pouco acentuados (Figura 12), sendo que 37,3 % do município tem declives entre 0 e 5 graus, seguindo-se a classe dos 5 aos 10 graus com 36,5% do município.

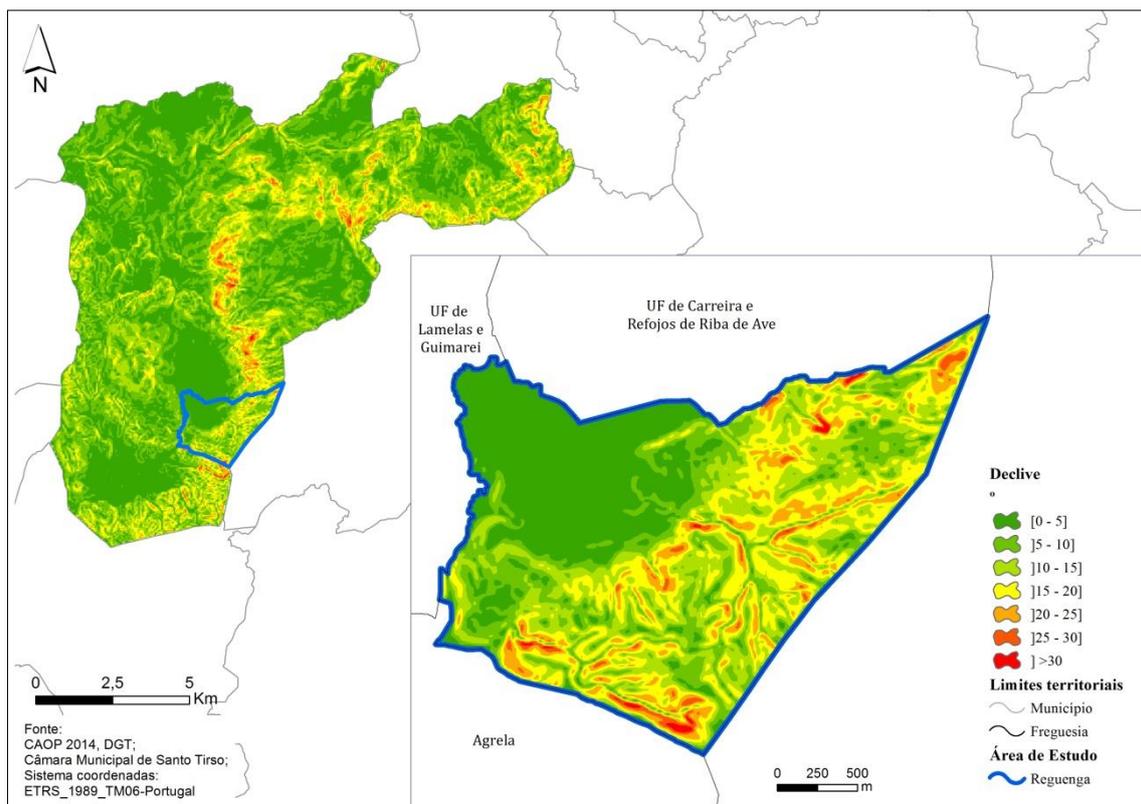


Figura 12 - Mapa de declives do município e da área de estudo

Porém, na área de estudo, a inclinação morfológica do território com maior frequência é dos 0 aos 5 graus e dos 10 aos 15 graus, representando 26,7% e 23,4% da área, respetivamente.

1.4. Clima

Orlando Ribeiro (1999) descreve que o clima do Noroeste Português é um clima mediterrâneo de feição atlântica, em que a temperatura média anual ronda os 14°C e a precipitação média anual é superior a 1000mm. Segundo Daveau (2000), é um clima de invernos frescos e verões moderados a quentes, registando-se temperaturas negativas por um período entre 10 a 15 dias a um mês, existindo temperaturas superiores a 23°C por 20 a 120 dias, durante o ano.

O Noroeste é uma área de precipitação abundante que a caracteriza como uma região húmida, apresentando dez meses húmidos (setembro a junho) e onde apenas se registam geralmente dois meses secos, com menos de 30 mm de precipitação (julho e agosto) (Lautensach, 2000a) (Figura 13).

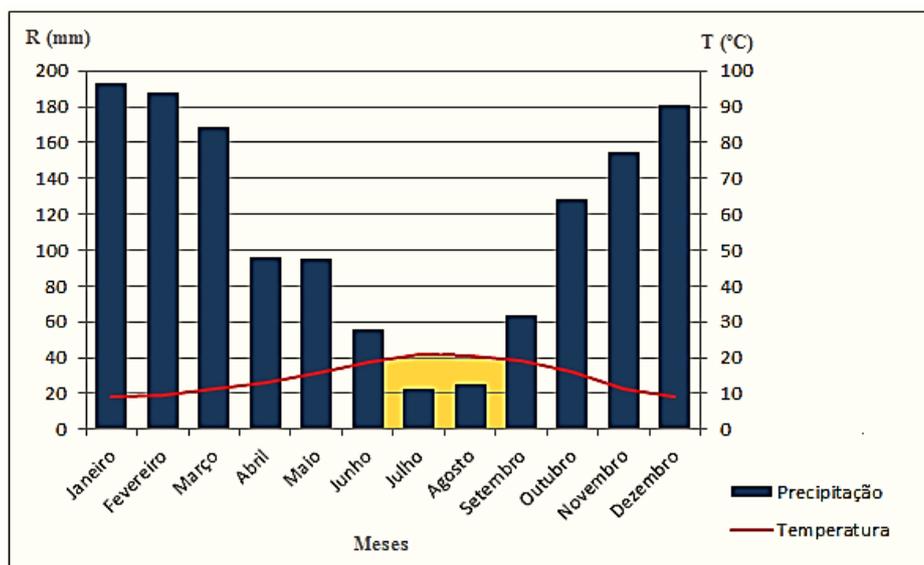


Figura 13 - Gráfico Termopluiométrico da estação de Santo Tirso (1951 a 1980) (Adaptado INMG, 1990)

No período de 1951 a 1980, na estação meteorológica de Santo Tirso, localizada aos 41°21' N e 8°28' W, a temperatura média máxima registou-se no mês de julho, (27,5°C); enquanto, a temperatura média mínima registou-se nos meses de janeiro e dezembro (4,1°C) (INMG, 1990). Observando a Figura 13, a temperatura média mensal mais elevada corresponde ao mês de julho (20,8°C) e a temperatura média mensal mais baixa ao mês de janeiro (9°C).

No entanto, os valores de precipitação mais baixos registados na estação de Santo Tirso são relativos ao mês de julho e agosto, com média mensal de 22,7 mm e 25mm, respetivamente. «É nos meses de Julho e Agosto que ocorrem os mínimos de precipitação, podendo-se considerar

estes dois meses secos como período seco, que corresponde ao período mais seco do ano ($P < 2T$)» (Oliveira, 2001, pág. 19), sendo no Outono e Inverno que predominam as maiores taxas de precipitação (registada média mensal de 193,4 mm em janeiro).

As características climáticas diárias podem comportar-se como um fator favorável para a deflagração do incêndio, mas também são responsáveis pelas características físicas do território, como os solos, a vegetação, os cursos de água e como condicionante do relevo, através da interação dos processos erosivos (Bento-Gonçalves, 2011).

1.5. A floresta

Do latim *Forestis*, que quer dizer algures ou fora da cerca, a palavra floresta define uma formação vegetal lenhosa ou um ecossistema no qual as árvores predominam (Biro e Lacaze, 1993).

Guerreiro (1956) elucida que a floresta não é apenas um aglomerado de árvores, mas uma comunidade composta por comunidades de plantas e animais (bactérias e fungos), em que os mamíferos e as árvores são responsáveis pela manutenção ecológica da floresta, e caracteriza-a como uma comunidade organizada, na qual, as árvores são os elementos de maior importância.

Porém, Biro e Lacaze (1993) classificam a floresta como uma unidade complexa, pelo fato de ser um conjunto de animais e vegetais, desde os microrganismos até aos mamíferos, e que estabelecem uma relação entre si e o ecossistema, definindo o ecossistema florestal.

O 6º inventário Florestal Nacional classifica a floresta como uma unidade aritmética do território, atribuindo a definição com base nos usos do solo, em que a define como uma «*área igual ou superior a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros (...), com presença de árvores florestais, que tenham atingido, ou com a capacidade para atingir, uma altura superior a 5 metros e com um grau de coberto maior de 10%*» (IFN, 2013, pág.6).

A Floresta em Portugal representa 1/3 do território nacional e constitui-se como uma unidade de paisagem de dimensões e belezas únicas. Esta ostenta uma diversidade e um valor social, económico e patrimonial único, sendo referida como «*(...) a mina de diamantes de Portugal*» (Albuquerque e Fernandes, 2015 *in* Jornal Público).

Em Portugal assistiu-se a um decréscimo da área total de florestal em 5,6 pontos percentuais no quinquénio de 1995 a 2010 (IFN6, 2013). As espécies florestais dominantes no território português sofreram alterações significativas ao longo do quinquénio (Figura 14). O Pinheiro-bravo era a espécie dominante até ao ano de 2005, apesar do decréscimo significativo que se verificou entre 1995 a 2005 (977883 e 795489 hectares), já os Eucaliptos passam a ser dominantes no ano de 2010 (811943 hectares).

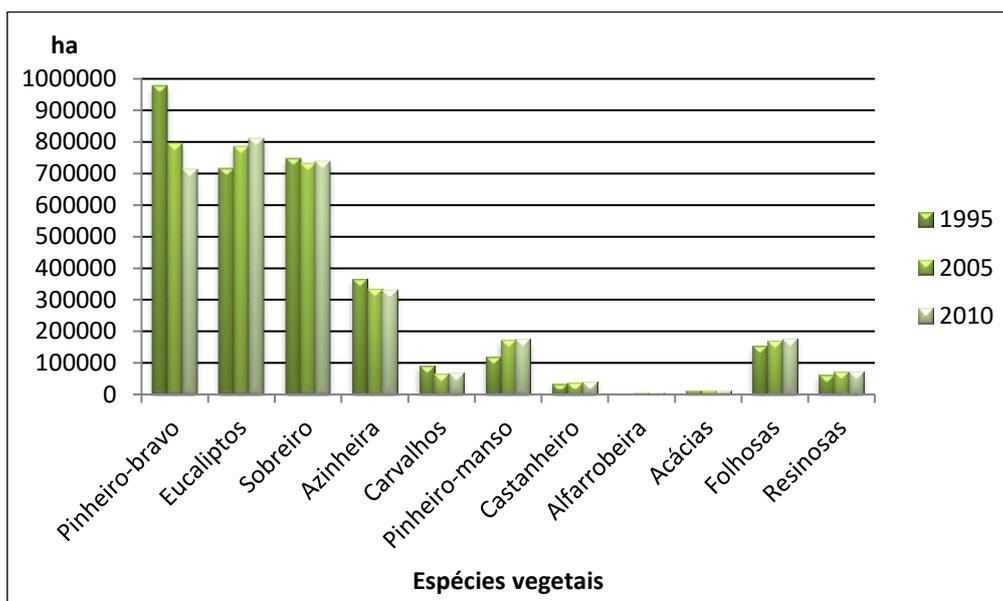


Figura 14 - A área de total das espécies florestais, por quinquénio (IFN6, 2013)

O município de Santo Tirso tem uma floresta de feição atlântica (Bento-Gonçalves *et al.*, 2011), predominando espécies alóctones, como o *Eucalyptus globulus* e o *Pinus Pinaster*. Além disso, surgem ao longo do município povoamentos mistos, onde se visualizam, entre outros, o *Quercus Suber*. Segundo o IFN5 (2005), em 2005, os Eucaliptos dominavam a paisagem do município, correspondendo a 70% da área florestal. A estes, seguia-se o Pinheiro-bravo (*Pinus Pinaster*), com 24% da área de floresta, as folhosas não especificadas, com 5% e os Carvalhos (1%) (essencialmente o *Quercus Suber*) (Figura 15).

A Floresta no município de Santo Tirso, geograficamente, distribui-se no quadrante Sul, Este e Oeste do município. De referir que o seu posicionamento/crescimento predomina nas altitudes mais elevadas e nas vertentes mais declivosas, como é o caso da encosta do Monte Córdova, da Serra do Pilar e da Serra da Agrela, no quadrante Nordeste do município e na Serra de Vilar de Luz no quadrante Oeste (Figura 16).

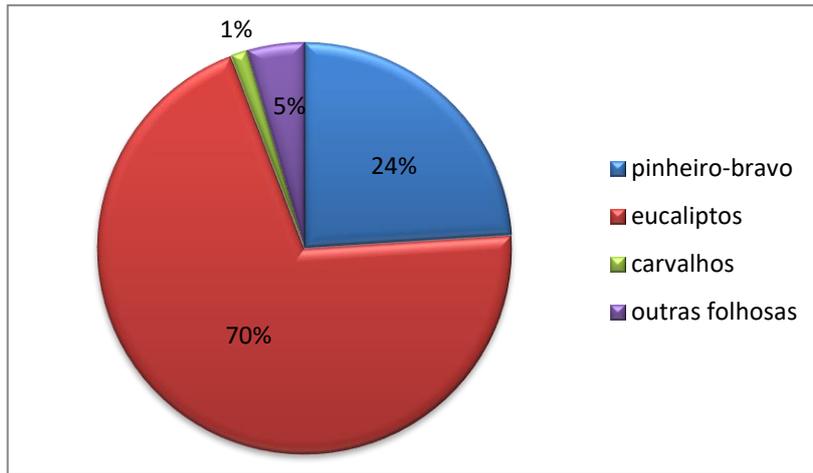


Figura 15 - Espécies por povoamentos dominantes (FloreStat, 2005)

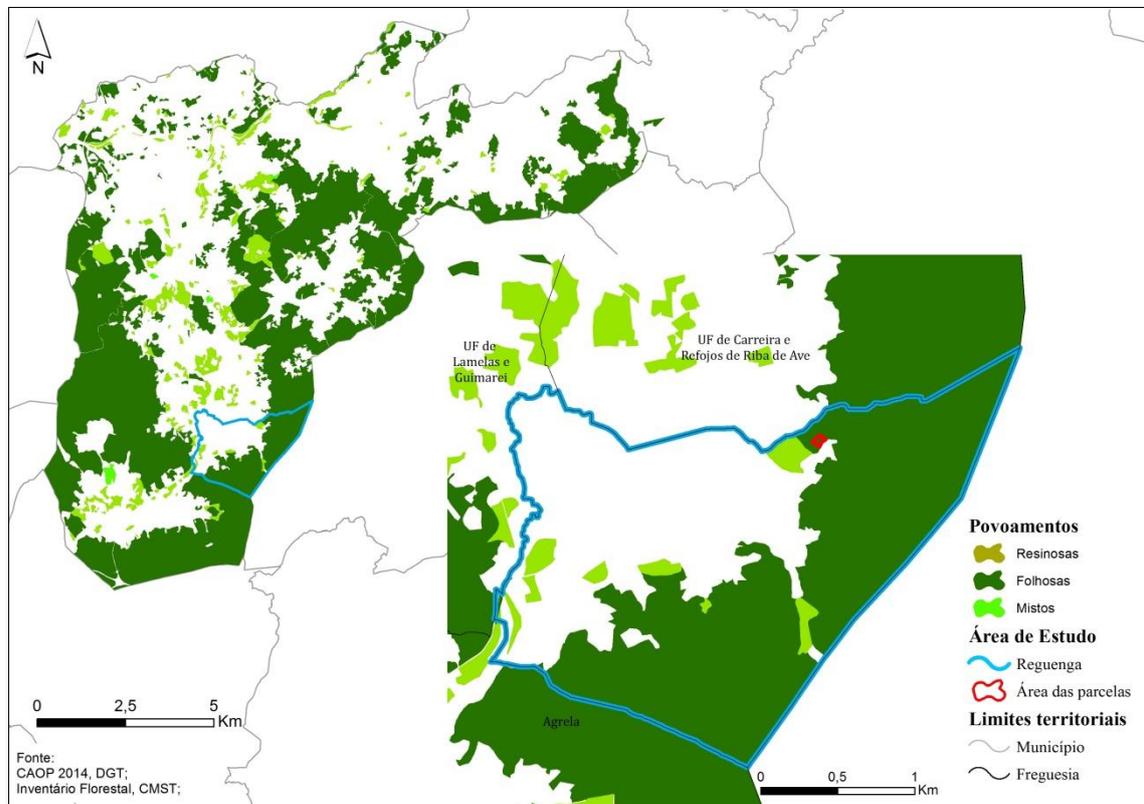


Figura 16 - Distribuição territorial dos povoamentos florestais

Neste sentido, a floresta no município de Santo Tirso apresenta uma proporção relevante de povoamentos de folhosas, essencialmente de eucaliptos, resultado da sua importância económica. Contudo destaca-se a facilidade de combustão na ocorrência de incêndio.

1.6. Os solos

Os solos apresentam características diferenciadas consoante o clima, o material originário, a ação antrópica, os organismos, a ação do coberto vegetal e a idade geológica, e são fatores que permitem a sua evolução temporal e do perfil do solo.

A Carta dos Solos da Região de Entre Douro e Minho (REDM) da Direção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho (DRAEDM) foi elaborada para identificar os perfis de solo existentes através da caracterização morfológica, física, química e mineralógica de cada unidade de área.

No contexto da classificação dos solos, utilizou-se a Carta dos Solos elaborada pela Direção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho, Folha 9 (Porto). Os solos predominantes na freguesia de Reguenga, observação da carta de solos da DRAEDM, são os Antropossolos Cumúlicos, os Leptossolos Úmbricos, os Fluviosolos Dístricos e os Regossolos Úmbricos.

Os Antropossolos Cumúlicos são solos que apresentam modificações profundas dos seus horizontes devido a atividade humana, consequência de técnicas de manejo e cultivo e a implementação de edificado. Por isso, surgem em áreas de altitudes baixas e declives suaves.

Os Leptossolos Úmbricos são solos jovens e incipientes, de espessura delgada limitados em profundidade por uma rocha contínua e que apresentam um horizonte A úmbrico. Além disso, estes solos a partir de 30 cm da superfície apresentam rocha-mãe, ou com «(...) *menos de 20% de terra fina até uma profundidade de 75 cm*» (Oliveira, 2001, pág.54).

Fluviosolos Dístricos, como a própria designação indica, encontram-se em áreas de extensão fluvial e são solos com um grau de saturação inferior a 50% (entre 20 a 50 cm). Entre os 50 e 100 cm não apresentam textura grosseira.

Regossolos, formam-se sobre saibros e areias (rocha não consolidada), são pobres e de fertilidade reduzida. O horizonte A é deposto sobre o C (rocha-mãe), o que faz com que as suas características físicas sejam as mesmas que o substrato geológico que as compõem. Surge normalmente em declives suaves. O horizonte A úmbrico é orgânico de espessura superior a 10 cm, escuro e de estrutura grumosa.

Uso do solo

O termo “uso do solo” não reúne consensos, sendo que depende da perspectiva da ciência que o aborda. É neste sentido que o termo é determinado pelas características económicas, naturais, institucionais, culturais e fatores legais. Porém, esta terminologia resulta da conjugação da observação dos fatores biofísicos (clima, topografia, solo, geologia, bem como pela presença de água e de vegetação; mas também da utilização que o Homem faz dele), da superfície da terra (FAO, 1995; Di Gregorio and Jansen, 1998; Batista e Silva, 2011).

«A alteração de características dos solos, nomeadamente de fertilidade, decorrentes das práticas culturais e sistemas de uso sob coberto, têm vindo a afirmar-se como um dos fatores de predisposição dos ecossistemas para o progressivo declínio vegetativo e decréscimo da sua produtividade (Gomes, 2014, pág.32), sendo que as mudanças daí decorrentes foram um fator condicionante na alteração do seu uso ao longo dos séculos na bacia do mediterrâneo.

A paisagem mediterrânea, devido a mudanças na forma de exploração dos recursos (nomeadamente o solo) e transformações socioeconómicas ocorridas por toda a Europa, levou ao abandono das práticas agrícolas, e por sua vez, à desestruturação da paisagem pela conectividade anteriormente existente, realçando-se uma aproximação à homogeneidade da paisagem. Exemplo disso, é o surgimento de espécies específicas de flora florestal, que desenvolvem um risco de incêndio agravado (*e.g.* Eucalipto) (Campar de Almeida *et al.*, 2009)

A ação antrópica tem vindo a manifestar-se como um dos processos mais perturbadores ao longo dos últimos séculos, embora seja parte da sua evolução que permite a compreensão das dinâmicas dos usos do solo. Estas dinâmicas são indicadoras da paisagem, bem como de uma otimização múltipla das funções existentes (Delgado, 2013, citando Wiggering *et al.*, 2006). Através do CORINE Land Cover que são cartografadas as diferentes dinâmicas de uso do solo, através das classes mais genéricas, resenha espacialmente as áreas agrícolas, áreas florestais e seminaturais e os corpos de água.

No município de Santo Tirso, a ocupação do solo dominante, em 1990, era a área florestal, com 49,3%, seguindo-se a área agrícola, com 38,2%, da área do município. Contudo, a área urbana correspondia a 12,5% (Figura 17).

No ano de 2006, as áreas representadas na Figura 18, apresentaram algumas modificações na “paisagem”. Apesar de dominante, a área florestal do município diminuiu, representando apenas 46,9% da área do município. A área agrícola diminuiu em 3 pontos

percentuais em relação a 1990. Porém, os territórios artificializados registaram um aumento de 5,6%, ou seja, ocupavam, em 2006, 18,1% do território.

Confrontando as Figura 17 e Figura 18, são perceptíveis modificações na área florestal entre 1990 e 2006. Pode-se verificar que as porções de território ocupadas pelas florestas de folhosas, resinosa e, em parte, as mistas deram lugar a áreas de matos e vegetação arbustiva. Em números, as áreas de matos e de vegetação arbustiva registaram um aumento de 12,9% para 21,8% do território, o que corresponde a uma variação de 8,9%.

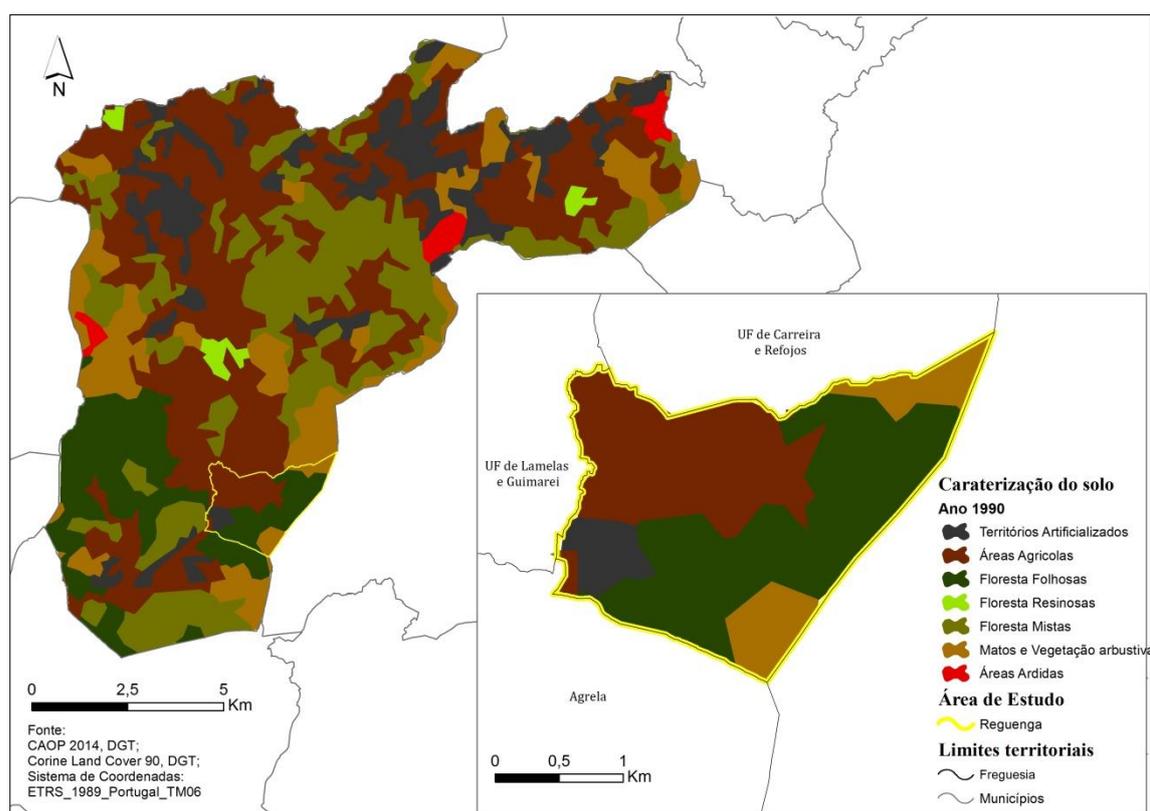


Figura 17 – Uso do solo no município de Santo Tirso, em 1990

Na freguesia de estudo (Reguenga), as variações do uso do solo são idênticas às que se observam no município. A área florestal e seminatural impera com 59,7%, a área agrícola representa 34,4% e os territórios artificializados ocupam 5,9% da área da freguesia, relativamente a 1990 (Figura 17). Já em 2006, verifica-se o fenómeno de urbanização crescente, e 12,1% da área agrícola é transformada em área urbanizada, representando esta última, 18,3% da área territorial.

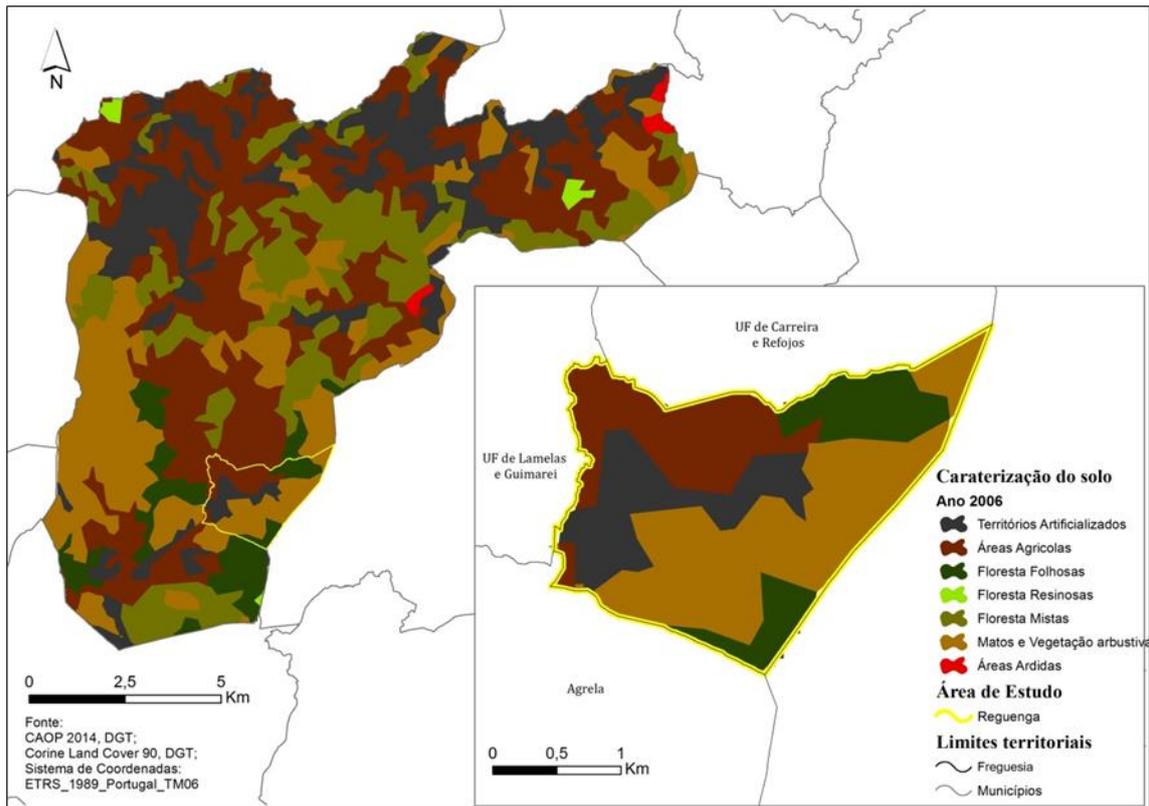


Figura 18. Uso do solo no município de Santo Tirso, em 2006

No entanto, a área florestal continua a ser o uso dominante e mantém a sua área (perda de apenas 0,03%). Deve-se realçar, contudo, que a floresta de folhosas, que, em 1990, preenchia 46,6% do território da freguesia, passa em 2006 a representar 16,4%, em detrimento das áreas de matos e vegetação arbustiva que passam a ocupar 43,1%, em 2006, quando em 1990 ocupavam 13,1% desta freguesia. A prevalência de matos, por vezes densos e altos, que ocupam mais de metade do solo no Noroeste e Nordeste de Portugal, deve-se essencialmente à evolução humana que se repercutiu com a utilização do fogo, pastorícia e agricultura, em áreas de floresta (Moreira e Neto, 2005).

2. Os incêndios

O uso do fogo constitui-se como um elemento de gestão silvo-agro-florestal ao longo dos tempos, acompanhando as alterações do uso do solo e modificação do ecossistema florestal, desde a promoção florestal para o espaço agrícola e o abandono do espaço agrícola com a crescente dinâmica populacional (Brum Ferreira, 2005; Bento-Gonçalves *et al.*, 2012; Ferreira-Leite, *et al.* 2013; Nunes *et al.*, 2013).

Porém, o fogo não está dependente apenas da gestão e presença humana, mas no caso de Portugal, devido à sua posição geográfica, o território português detém características climáticas e meteorológicas que evidenciam uma relação com a ocorrência de incêndios. Nunes *et al.* (2013), citando Rothermel (1963) e Mermoz *et al.* (2005) demonstram que o perfil orográfico e climático do território, a par do uso e cobertura vegetal do solo, constituem as razões primordiais para a ocorrência dos incêndios e, por sua vez, justificam a ocorrência dos incêndios e da área ardida.

As modificações histórico-sociais da população portuguesa a partir da década de 50 do séc. XX, com o abandono do campo, e conseqüente deserção das práticas pecuárias e da dependência do material lenhoso, resultou a acumulação de combustível nas florestas (Lourenço *et al.*, 2011), contribuindo para uma maior probabilidade de ignição de um incêndio florestal.

A partir da década de 60 do séc. XX, verificou-se um aumento do número de deflagrações e a média anual da área ardida quadruplicou. No entanto, é a partir dos anos 70 que os incêndios florestais passam a ser evidenciados como um problema de planeamento e gestão florestal (Ferreira-Leite *et al.*, 2013).

Na transição do século XX para o XXI, os incêndios em Portugal registaram um elevado número de deflagrações, nomeadamente nos anos de 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2005, sendo o ano de 2005 o que registou maior número de ocorrências e 2003 uma maior área ardida (AFN/ Lourenço *et al.*, 2011).

2.1 O número de incêndios e as áreas ardidas

2.1.1 A evolução temporal

Na década de 80 do séc. XX, iniciou-se um período de evolução do fenómeno dendrocaustológico. Começa a verificar-se ocorrências no município de Santo Tirso, em paralelo com o fenómeno que ocorria em Portugal continental. Bento-Gonçalves (2011) indica que no século XX, nas décadas de 70 e 80, o espaço florestal era gerido com recurso ao uso do fogo e é, sobretudo, esta utilização que inicia uma crescente ocorrência de incêndios florestais, inter-relacionadas com as condições climáticas, orográficas e histórico-sociais.

No entanto, o “boom” dos incêndios florestais urge no início da década de 90, em que o número de deflagrações, no município, passa em média a contabilizar mais de 5 ocorrências por freguesia. Na sua globalidade, o concelho apresenta mais de 100 ocorrências anuais entre 1989 e 2013 (Figura 19). As áreas ardidas, no período entre 1980 e 2014, registam uma variabilidade dissociada relativamente com o número de ocorrências. Neste sentido, não se pode validar uma associação entre o número de áreas ardidas e o número de ocorrências registadas, uma vez que em períodos com maior número de ocorrências se verifica menos área ardida, situação confirmada nos anos de 1989 e 1998 (783 e 785 ocorrências, respetivamente) (Figura 19).

Numa relação com a área florestal do município, a área ardida total no ano de 2000 e 2005 foi de 2091,66 ha e 1996,5 ha, respetivamente, representando 32,8% e 31,3% do espaço florestal do município consumido pelos incêndios (Figura 19).

Na freguesia da Reguenga (Figura 20), o número de deflagrações assume proporções mais preocupantes a partir de 1989, salientando-se que anteriormente apenas existe uma ignição, no ano de 1981 com 0,4 ha de área ardida. Atentando a situação da área de estudo e analisando-se a média aritmética de deflagrações por freguesia nos anos em análise, na Reguenga, verifica-se apenas ocorrências abaixo da média (5 ocorrências) nos anos de 1981, 2006, 2008 e 2014.

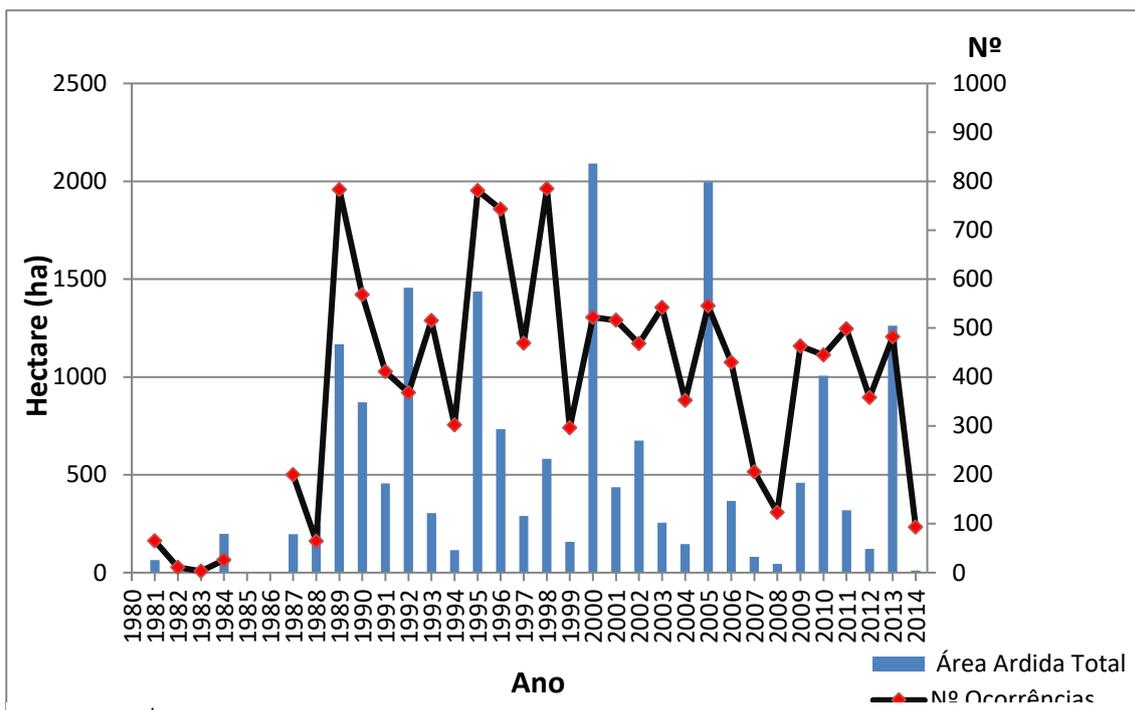


Figura 19 - Área ardida e o número de ocorrências, no município de Santo Tirso entre 1980 e 2014 (ICNF, s.d)

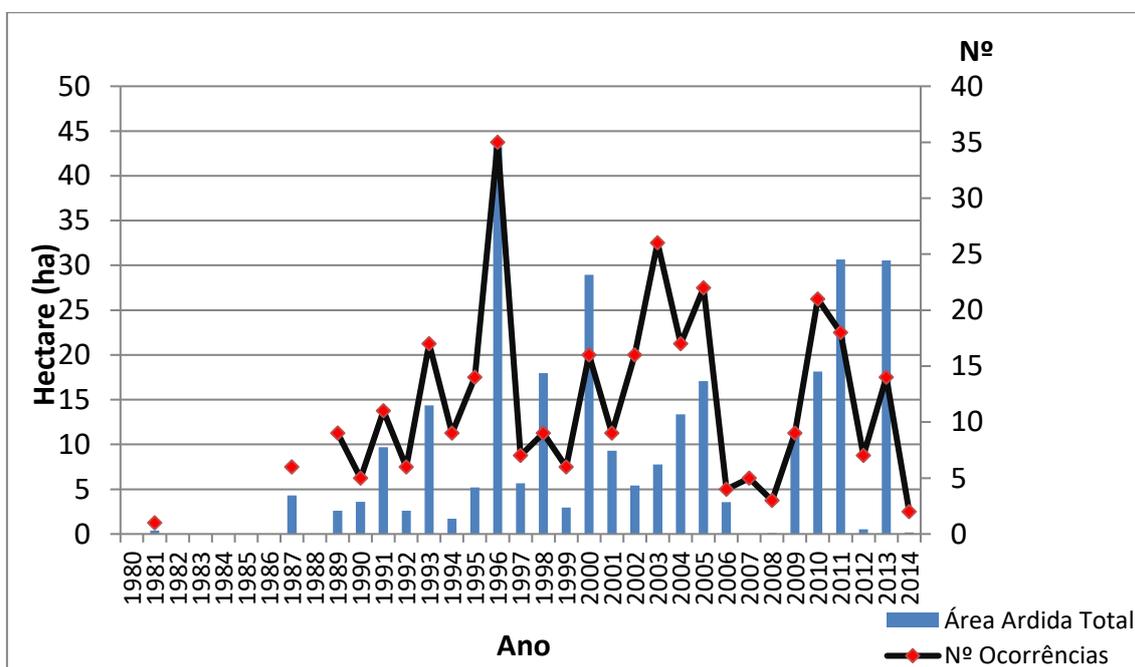


Figura 20 - Área ardida e o número de ocorrências, na freguesia da Reguenga entre 1980 e 2014 (ICNF, s.d.)

No entanto, o elevado número de deflagrações na freguesia da Reguenga confirma-se nos anos de 1996, 2003 e 2005. E a maior extensão de áreas ardidadas regista-se em 1996, 2011 e 2013.

2.1.2 A Repartição espacial

Os incêndios no município de Santo Tirso, de um modo geral, ocupam as áreas em que predominam povoamentos florestais e nas altitudes mais elevadas. Contudo, a exposição das áreas à radiação não influencia essa repartição espacial dos incêndios, sendo que tanto as vertentes orientadas a Norte como a Sul, são percorridas de igual forma pelos incêndios. Pode realçar-se, neste cômputo, que o aquecimento do solo e da vegetação por exposição não são determinantes para o local de deflagração do incêndio (Figura 21).

2.2. A recorrência dos incêndios

Observando-se a (Figura 22), a área de estudo (Reguenga) regista um número máximo de 7 incêndios (incidências) em algumas das áreas ardidadas, tendo algumas áreas, um máximo de 6 recorrências, durante os 23 anos em análise. O município de Santo Tirso tem um valor máximo de 8 incidências, o que corresponde a um valor máximo de 7 recorrências em determinadas áreas do município.

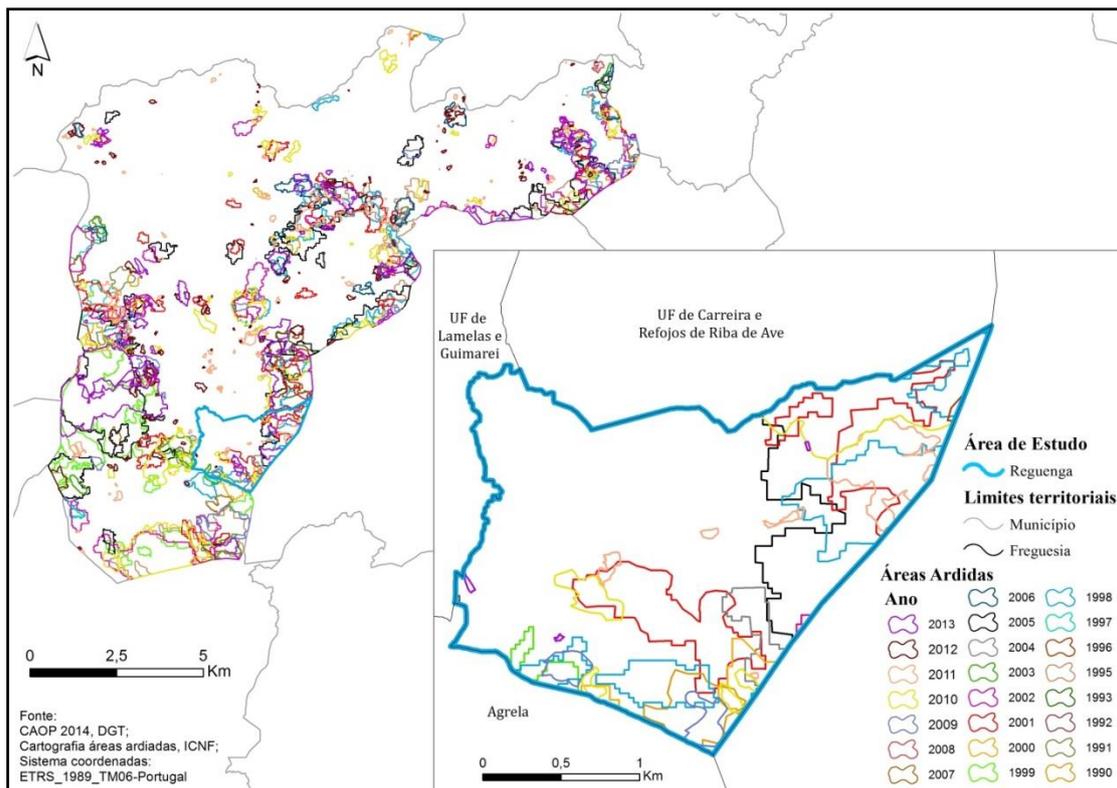


Figura 21 - Repartição espacial dos incêndios no município e na área de estudo (1990 a 2013)

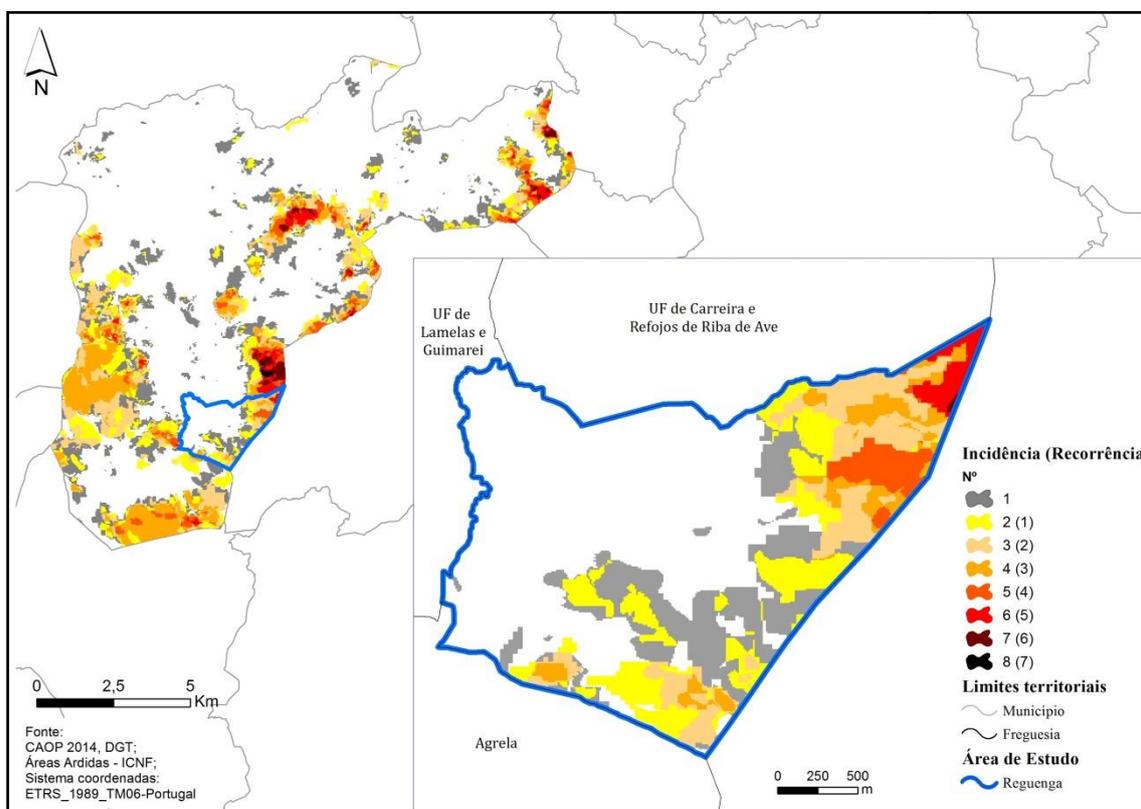


Figura 22 - Recorrência dos incêndios florestais no município e na área de estudo (1990 a 2013)

Capítulo III – Os efeitos de uma queima experimental no solo em Eucaliptal e em matos

1. Queima experimental

A técnica de queima, segundo a DI. N.º 156/2004 de 30 de Junho, no art. 3º, define-se como «o uso do fogo para eliminar sobrantes de exploração cortados e amontoados». Contudo, os procedimentos efetuados na experimentação levada a cabo no projeto desenvolvido tinham fins científicos específicos e objetivos mais abrangentes, pelo que se promoveram técnicas diversificadas e não restritas às metodologias estritas da queima e, conseqüentemente, decidimos designa-la de queima experimental. Nesta queima experimental pretendia-se a redução do combustível florestal in situ. Assim sendo, a uma tipologia de queima como a designada, com fins científicos, recorreu-se a técnicas de fogo controlado para discriminação do estudo.

O fogo controlado é aplicado numa área predeterminada dentro de um conjunto prescrito de condições, datas e com as precauções de segurança apropriadas para atingir fins específicos (Fire-Paradox, s.d.; Shakesby et al., 1991; Sheet, 2009 e Montiel e Kraus, 2011). Este método é aplicado a pequenas áreas, com menos de 4 ha (McRae, 2005). Em Portugal, fogo controlado é definido como «ferramenta de gestão de espaços florestais que consiste no uso do fogo sob condições, normas e procedimentos conducentes à satisfação de objetivos específicos e quantificáveis e que é executada sob responsabilidade de técnico credenciado» (DI. N.º 156/2004).

A utilização deste método, de fogo controlado, tem diversas finalidades, tais como (Sheet, 2009 e Montiel e Kraus, 2010):

- controlo da vegetação;
- preparar locais para colheita, plantação ou sementeira;
- controlo da doença das plantas;
- reduzir os riscos de incêndios;
- melhoria da quantidade e/ou da qualidade da produção vegetal;
- restauração de nichos ecológicos
- gestão e manutenção da biodiversidade (e.g.: vegetação nativa).

1.1. A Bouça da Samoça

A Bouça da Samoça é uma propriedade florestal de domínio privado, situada na freguesia da Reguenga em Santo Tirso, ladeada de muros de pedra, e com uma floresta com características antrópicas, constituída na sua maioria por pinheiro-bravo (*Pinus Pinaster*), eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) e matos, destacando-se alguns sobreiros isolados (Figura 23).

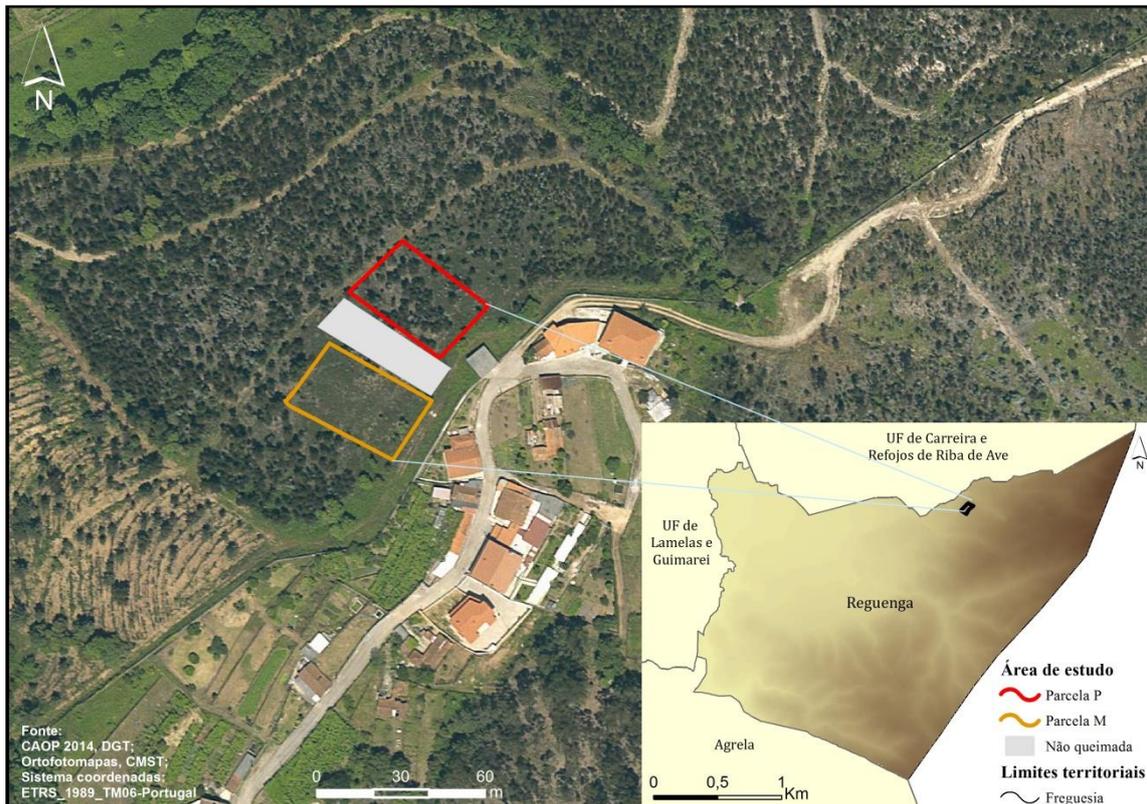


Figura 23 - Enquadramento geográfico da área de estudo e das parcelas de erosão

Na Bouça da Samoça foram delimitadas três cantões, constituíram as áreas de estudo, duas parcelas (Parcela P – inserida em povoamentos de eucaliptos e Parcela M – constituída a sua fitologia por matos) e uma área não queimada (corresponde a área intata - natural).

Enquadramento Físico

Na área de estudo (Bouça da Samoça), as parcelas encontram-se entre os 200 e 300 metros de altitude relativamente ao nível médio das águas do mar. Estão localizadas em vertentes com exposição a Sudoeste (Parcela Matos) e Noroeste (Parcela Povoamentos). No local, o declive da superfície apresenta inclinação entre 10 a 15 graus (20 a 25%) (Figura 24). Por conseguinte, o

grau de inclinação do terreno (onde as parcelas foram implementadas), a tipologia de vegetação, e a velocidade do vento, são favoráveis à propagação do incêndio, uma vez que reunidos todos os fatores, aumenta a velocidade de propagação e proliferação rápida do incêndio.

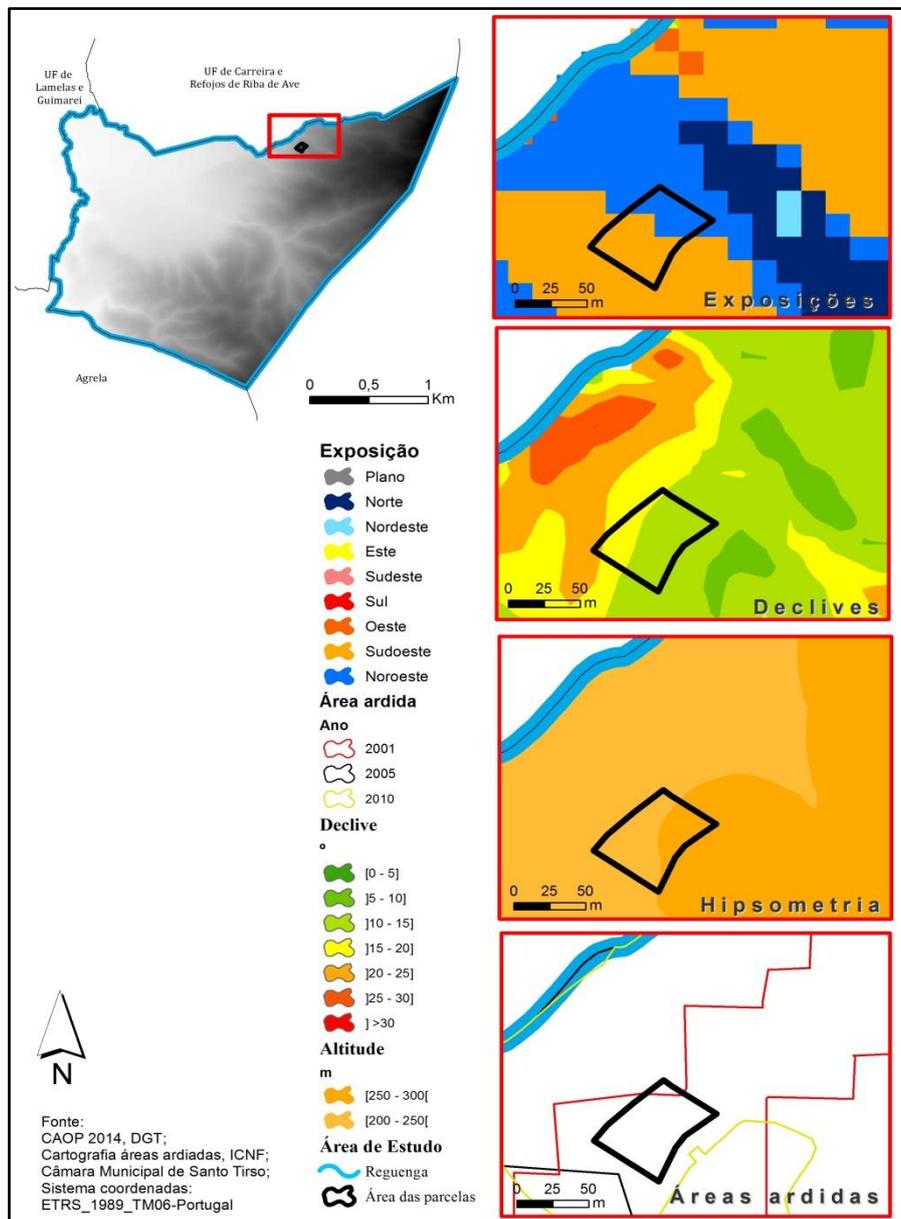


Figura 24 - Enquadramento geomorfológico e das áreas ardidas, na área de estudo das Parcelas

A Bouça de Samoça foi atingida pelos incêndios nos anos de 2001, 2005 e 2010, deflagrando em toda a área que a delimita. Os incêndios florestais da área de estudo tiveram um intervalo temporal de 4 a 5 anos (recorrência).

A Geologia

A formação geológica da área de estudo é dominada por rochas corneanas psamíticas, datadas do Silúrico, as quais se incluem nas rochas metamórficas de contacto ou termais, formando-se em rochas adjacentes às intrusões ígneas, nas auréolas de metamorfismo de contacto. Com formação na vertente oriental do anticlinal de Valongo, correspondem a corneanas metamorizadas de grauvaques do Silúrico. As corneanas psamíticas formam-se na auréola interior, junto ao magmatismo, apresentam uma textura granoblástica, ou seja, minerais equidimensionais e sem discriminação visível da sua orientação (Begonha e Teles, 2001). No entanto, a mineralogia das rochas metamórficas de contacto, devido a composição química ou ao material original é bastante variável. Podem apresentar recristalização, contendo quartzo, albite, andaluzite, biotite, moscovite e, esporadicamente, cordiorite; porém, podem ser observados óxidos de ferro, turmalina, zircão e grafite (Medeiros *et al.*, 1980).

A Floresta – espécies dominantes

Na Bouça da Samoça, no local das parcelas, arborescem os *Eucalyptus Globulus* e os matos (constituídos principalmente por tojo, giestas e sargaço).

Eucalyptus globulus é uma espécie autóctone da Austrália e da Tasmânia, foi introduzida em Portugal no séc. XX, e é uma espécie antropogénica, ou seja, implementada pelo Homem. É uma das espécies mais plantadas em Portugal resultado da sua importância económica (*e.g.* pasta de papel).

O eucalipto é uma árvore que atinge uma altura até 55 metros, com um ritidoma (casca morta) lisa e acastanhada. As folhas são em forma de foice, de tonalidade cera azul; as folhas juvenis são ovais e verde azulado e a floração ocorre essencialmente no inverno (Chippendale, 1988, referido em Boyd, 2000).

A adaptabilidade fisiográfica e bioclimática da espécie varia entre 5 a 160 km da linha da costa, implementam-se entre os 5 e os 470 metros de altitude preferencialmente (o que coaduna com a área de estudo), podendo, no entanto, ser encontrados até aos 810 metros. O conforto climático para a espécie varia entre uma temperatura mínima de 6 a 12 °C, e temperatura máxima de 20 a 24 °C, e em regiões com precipitação anual entre os 300 e os 2300 mm (Monteiro-Henriques, 2010).

Os matos correspondem a um conjunto de arbustos, vegetação rasteira ou subarbusiva que não tem proporções para adquirir a forma de árvore, dominados fundamentalmente por espécies das famílias das ericáceas, das leguminosas e das cistáceas. Os matos podem ser encontrados em povoamentos ou simplesmente em locais livres de povoamentos. A diversidade de espécies deste conjunto varia ao longo do território (Biorede, 2015)

As Giestas, *Cytisus*, pertencem a família das *Fabaceae* (Leguminosas). As mais comuns são a *Cytisus striatus* (na latitude do mesotemperado de influência atlântica seca) e a *C. multiflorus* (giesta-branca), o que marca bem a influência mediterrânica, bem como a tendência continental do interior montanhoso.

A giesta-das-serras é um arbusto caducifólio, de ramos flexíveis, com folhas pubescentes constituídas por 1 a 3 folículos, flores amarelas, sendo o fruto uma vagem arredondada coberta por pelos. É uma planta bem adaptada a ambientes muito expostos ao sol, rupícola (que vive nas rochas), sendo ainda frequente a sua utilização para colonizar plantações florestais e solos abandonados pela agricultura.

Esta era semeada, juntamente com a giesta-branca (*Cytisus multiflorus*) no Norte e Centro de Portugal, com o intuito de restaurar a fertilidade dos solos devido à sua capacidade fixadora de azoto, sendo este processo de extrema importância para a agricultura e florestas, uma vez que conduz à independência de fertilizantes azotados.

O Tojo, *Ulex europaeus*, é uma planta arbustiva da família da *Fabaceae*. Pode atingir 2 metros e é densamente ramificada com folhas verdes e rígidas (formando espinhos), com dimensão até 3 cm. A floração dá-se de fevereiro a junho, o seu fruto são vagens ovais com 4 a 6 sementes que podem permanecer no solo até 30 anos, até encontrar condições edáficas favoráveis (EIC, 2016). A *Ulex* sobrevive em solos pobres e arenosos muito solarengos, as suas sementes também sobrevivem após fogos controlados.

O Sargaço ou Estevinha, *Cistus salviifolius* L., subarbusculo mais ou menos lenhoso, atinge até 1 m de altura. As folhas são simples, verdes escuras, por vezes quase acastanhadas, rugosas, ovadas a ovado-oblongas, com pouco mais de 2 cm de comprimento. As flores são hermafroditas, com corolas simétricas, de 5 pétalas brancas, rapidamente caducas, com 3 a 5 cm de diâmetro. É resistente até temperaturas de -12 °C e ao fogo. Porém, a nível bioclimático prefere locais expostos à radiação solar, tolerando a seca e exposição marítima (Biorede, 2015 e Florestar, 2015).

O Solo – caracterização pedogénica

O solo na área das parcelas é formado pela alteração de rochas metamórficas, que resultam da alteração promovida pelas rochas ígneas por contacto, transformando a rocha.

Analisando a Carta do Solo de Entre-Douro e Minho da Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho, verifica-se que na área das parcelas predominam os Leptosolos dístricos. Este solo apresenta um perfil do tipo A-C-R, tendo o seu horizonte A entre 10 a 30 cm, com características de tonalidade pardo ou pardo escuro e textura arenoso-franco, franco-arenoso, franco ou franco-limoso, frequentemente com elementos grosseiros (cascalho); o segundo horizonte C, é composto por material grosseiro desagregado da rocha-mãe (horizonte R) e pequenas porções de terra fina. O horizonte R aparece a partir dos 10 a 30 cm de profundidade.

A sub-unidade pedogénica que abrange o local é um Leptosolo dístrico em xistos (LPd.x), com uma rocha originária de xisto ou rochas afins em que a textura dos elementos presentes no horizonte A podem ser franco-arenoso ou franco. Geralmente estes *pedon* surgem em pequenas áreas com relevo muito diferenciado, mas formando superfícies convexas num clima variado. A cultura patente nesta sub-unidade é essencialmente florestal, de pinheiros, eucaliptos ou mistas, incultos com matos ou culturas de sequeiro ou regadio.

Segundo a DRAEM, 1985, na Carta de Solos de Entre-Douro e Minho, a unidade fisiográfica presente, tem um relevo ondulado a muito ondulado, com vertentes com situações plano ou plano-convexas, em que o declive se situa entre os 15 e os 25 e 30%, daí subjacente um solo dístrico com um rególito delgado, pois a rocha permanece *in situ*, devido à metamorfização ocorrida na rocha.

A caracterização das unidades cartográficas, na Memórias da Carta dos Solos Entre-Douro e Minho (1995), tem por objetivo avaliar as características e qualidades do solo, bem como os seus graus de limitação. Neste contexto, expõem-se as características das unidades, tendo por base de análise:

- As condições de enraizamento (r) avaliam a predisposição do solo ao desenvolvimento da função radicular das plantas, isto é, a função de absorção de água e nutrientes. A espessura útil do solo e a facilidade de penetração radicular é um elemento preponderante para o suporte físico da planta. Assim, a espessura útil do solo no local de investigação é igual ou inferior a 30 cm.

- A fertilidade (f) resulta da correlação evidente ou generalizada entre a aptidão do solo (agrícola, florestal ou inculto), atual ou passada, e a sua fertilidade. Ou seja, de certa forma, os solos, em agricultura, têm fertilidade mais elevada que os restantes, sendo a fertilidade intensificada quanto maior o período de aptidão. Verifica-se que o solo em estudo apresenta fertilidade 3, o que corresponde a fertilidade baixa ou muito baixa, com aproveitamento muito extensivo, com prados ou de aproveitamento muito recente. Ao nível químico, são solos de nível superficial ou subsuperficial com capacidade de troca catiónica entre 10 e 40 m.e./100g; com Ca de troca com menos de 1/1,2 m.e./100g; com saturação inferior a 5-10%; P203 assimilável <40 ppm e K2O entre 10/ 20 e 100 ppm.

- A drenagem do solo (d) depende do teor de água e da porosidade de água no solo, com intuito de avaliar o excesso de água na radicular das plantas, estando relacionadas com as características locais (o regime pluviométrico, a topografia, o declive e a forma do relevo, o nível do lençol freático, e do solo). O solo da área não apresenta excesso de água no solo, podendo em períodos muito curtos (horas ou em poucos dias) apresentar um défice de drenagem nos períodos de chuvas intensas; geralmente presentes em unidades morfológicas transmissoras de água e de sedimentos, com rápido escoamento para a rede de drenagem.

- A disponibilidade de água no solo (h), com base no modelo de Thornthwaite, avalia o défice hídrico no solo ao longo do ano, para as diversas capacidades utilizáveis (50, 100, 150 mm) em zonas climáticas homogéneas. No entanto, pelo fato de as zonas climáticas e as unidades fisiográficas não disporem de dados para estabelecer uma correlação, em termos de precipitações médias mensais e anuais, foram então considerados a espessura efetiva e a textura do solo, e o défice hídrico para cada unidade fisiográfica. Assim sendo, o solo exibe um défice hídrico elevado em dois meses (julho e agosto) e médio noutro (setembro); ou défice elevado em três meses (julho, agosto e setembro); ou défice elevado em dois meses (julho e agosto) e médio também em dois meses (junho e setembro) ou défice elevado em três meses (julho, agosto e setembro) e médio noutro (junho).

O risco de erosão (e) foi calculado pela DRAEDM através da simplificação da equação universal de erosão dos solos (Wismeier): $e=k.d$

e – coeficiente do risco de erosão; k – coeficiente da erodibilidade do solo; d – declive (%)

A erodibilidade do solo relaciona-se com capacidade de água do solo (*vide* Cap.I, 1.2) e as propriedades físicas do solo (granulometria, teor de MO, estrutura e perfil) que permitem ou não maior resistência à dispersão provocado pelo impacto das gotas de chuva e pelo transporte de sedimentos. O cálculo do coeficiente de erosão, do solo local, determina um solo com riscos de erosão elevados, sem aptidão agrícola e aptidão marginal para exploração florestal e/ou silvo-pastorícia.

Na Carta dos Solos da DRAEDM também foi analisada a presença de obstáculos físicos que permite uma avaliação mais aprofundada dos afloramentos e das características físicas do relevo e do solo. Deste modo, verifica-se que é uma terra sem afloramentos rochosos (o1), correspondendo a terras de aproveitamento para exploração florestal ou incultos, registando-se em 25 % da área da mancha de afloramentos. É um solo no que corresponde a pedregosidade (o2) com menos de 50 % de material grosseiro (pedras ou cascalho) no horizonte O e A até 50 cm de profundidade. O relevo é numa área sem socacos (o3) ou com socacos largos (25 a 30 m) em parte da mancha (ocupando 30 a 50 % da área), e com um declive (o4) de classe 3, entre 12 a 30% de inclinação.

O solo na Bouça da Samoça, é franco-arenoso e apresentava 13% de matéria orgânica, na camada superficial do solo A0/ou O. Comprovou-se com base em recolhas se solo “não ardido” e através de técnicas de laboratório, que estamos perante um solo com características franco-arenosas (Tabela 1), com base no diagrama de textura de Cerqueira (2001) (*vide* Cap. I, 1.3.1).

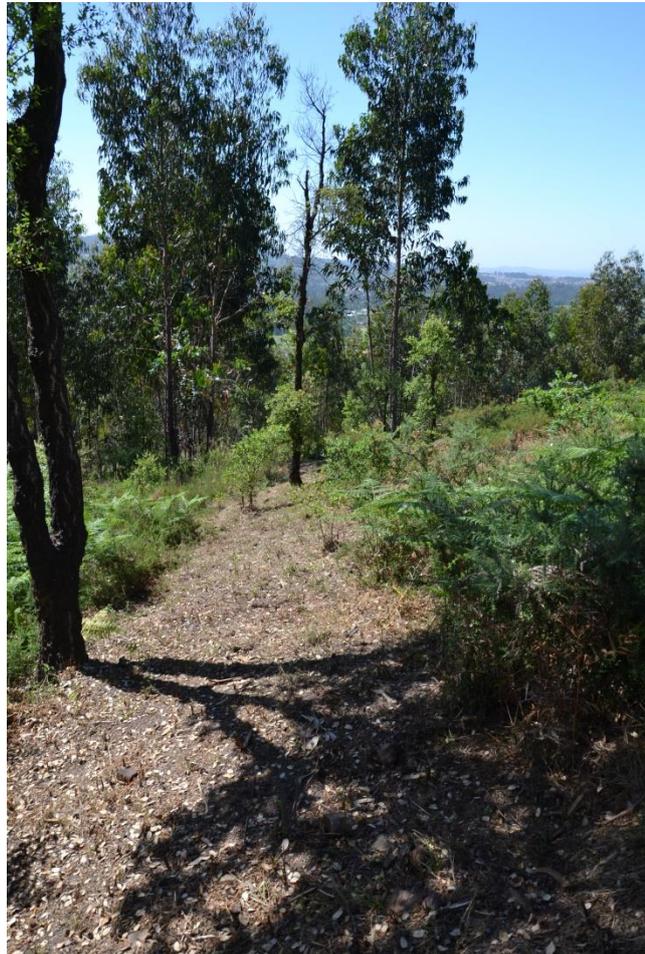
Tabela 1 - Textura mineral e MO do solo "não ardido" da Área de Estudo (Bouça da Samoça)

Textura do solo	Matéria Mineral (87%)			Matéria Orgânica
	Areão	Areia	Silte/Argila	
%	12,6	70,1	17,3	13

1.2. A queima experimental - método

No dia 13 de maio de 2014, realizou-se em Santo Tirso, na Bouça de Samoça (Reguenga), uma queima experimental que envolveu diversos meios humanos, nomeadamente os Sapadores Florestais e Técnicos do GTF da Câmara Municipal de Santo Tirso (Fotografia 5), os Bombeiros Voluntários de Santo Tirso (Fotografia 1) e investigadores do Departamento de Geografia, da Universidade do Minho. Envolveu ainda diversos recursos materiais, incluindo veículos de combate a incêndios florestais (Fotografia 3 e 4).

Contudo, no dia anterior procedeu-se à preparação da Área de Estudo, com ajuda providenciada pelos Sapadores Florestais, tendo-se criado uma faixa de gestão de combustível, foi recolhido de 1m², duas amostras de vegetação (Fotografia 2) com o objetivo de quantificar a carga de combustível presente em cada uma das parcelas da Área de Estudo.



Fotografia 1 - Faixa de gestão de combustível



Fotografia 2 - Amostra de local de recolha da vegetação



Fotografia 3 - Bombeiros Voluntários de Santo Tirso e Sapadores florestais



Fotografia 4 - Veiculo de Combate a Incêndios Florestais dos Bombeiros Voluntários de Santo Tirso

A queima experimental foi aplicada numa área com *Eucalyptus globulus*, com folhada em sob coberto (Área de Estudo P) e outra, com Matos densos (Tojo, sargaço e giestas com aproximadamente 4 anos de idade até 1 metro de altura) (Área de Estudo M). As áreas das

parcelas estavam expostas a NW (Área de Estudo P) e SW (Área de Estudo M) e apresentavam um declive entre 20% e 25%. No momento da experiência, o continente português estava sob influência do Anticiclone dos Açores que se estendia em crista, desde o NW ou a norte da Península Ibérica, onde se posicionava. A ação anticiclónica proporciona bom tempo, pelo que se fez sentir no local uma variação da temperatura entre os 16°C a 25°C, com vento a soprar fraco do quadrante norte, entre os 8 e os 10 Km/h, e uma humidade relativa a variar entre 30 a 46 %.



Fotografia 5 - Aplicação das técnicas de fogo, pelo técnico de GTF, com pinga-lume

Segundo a classificação NFFL do PDMFCI, os combustíveis presentes nas áreas experimentais podiam ser classificados no modelo 9 e no modelo 6, na área de estudo P e M, respetivamente.

O modelo de Northern Forest Fire Laboratory (NFFL) caracteriza a estrutura da vegetação. Este modelo foi adaptado pelo ICNF à situação portuguesa, pelo que se considerou 4 grandes grupos: herbáceo, arbustivo, manta morta e resíduos lenhosos. Além disso, o modelo de combustível baseia-se em critérios como:

- a determinação da classe potencial de combustível em termos gerais;

- o realce sobre a classe de combustível que está a arder ou que é provável que propague o fogo;

- a observação da altura e compactação geral do combustível especialmente nos modelos de herbáceas e bosque;

- a determinação das classes de combustíveis presentes e estimar a sua influência no comportamento do fogo (DUDF, 2012).

Segundo a classificação dos modelos de combustíveis (NFFL), o modelo 6 representa *«Matos mais antigos, com alturas compreendidas entre 0,6 e 2 m de altura. Os combustíveis vivos são mais escassos e dispersos. No conjunto é mais inflamável do que o modelo 5. O fogo propaga-se através do mato com ventos moderados a fortes»* (DUDF, 2012, pág. 25). O modelo 9 corresponde a *«Folhada em bosque denso de coníferas ou folhosas, que se diferencia do modelo 8 por formar uma camada pouco compacta e arejada.(...) Os fogos são mais rápidos e com chama mais comprida do que as do modelo 8»* (DUDF, 2012, pág. 25).

O combustível tinha uma carga inicial na Área de Estudo P, de +/- 16 t/ha e na Área de Estudo M, +/- 21 t/ha. O objetivo da queima experimental consistiu em reduzir a carga de combustível inicial na Área de Estudo P (povoamentos) de 90% a 100% e na Área de Estudo M (matos) de 60% a 70%. A humidade dos combustíveis mortos finos apresentava valores nas duas áreas entre os 12 e 15 %.

Na queima experimental foram utilizadas duas técnicas de fogo controlado. Na Área de Estudo P, utilizou-se a técnica de ignição de flanco/lateral (Fotografia 6), e na Área de Estudo M a técnica “a favor” do vento e do declive (Fotografia 7 e 9). Na Área de Estudo P, adaptou-se a técnica tendo em conta as condições meteorológicas, sendo que a orientação do vento mudou de NE para NW, pelo que inicialmente a técnica era de flanco, e com a mudança de direção do vento, a técnica de ignição aplicada foi contra o vento e contra o declive, com o objetivo de manter uma combustão lenta e com baixa intensidade.



Fotografia 6 - Linha de fogo com aplicação de técnica de fogo de flanco/lateral



Fotografia 7 - Linha de fogo com técnica de fogo "a favor"

Estes tipos de técnicas de condução de fogo usadas pretendem alcançar diferentes tipos de intensidade e severidade do fogo. Assim, segundo Bento-Gonçalves *et. al.* (2014), as técnicas de condução do fogo usadas foram:

- Técnica de Flanco/lateral – é uma técnica de ignição aplicada contra os fatores de vento e do declive pelo que:
 - A combustão é muito lenta e pouco intensa, verificando-se um maior tempo de residência da chama;
 - Afeta uma pequena área por unidade tempo, o que torna menos rentável em grandes áreas;
 - A chama apresenta uma altura, comprimento e profundidade reduzidas.
- Técnica “a favor” (Fotografia 9) – é uma técnica de ignição aplicada na direção do vento e no escalonamento do declive, pelo que:
 - A combustão é rápida, com grande intensidade, mas a chama reside pouco tempo;
 - Abrange uma grande área de unidade de tempo, pelo que se torna rentável em áreas extensas;
 - Apresenta dimensão das chamas elevadas, tanto em altura, comprimento como em profundidade.



Fotografia 9 - Linha de fogo com técnica de fogo "a favor" com chamas elevadas



Fotografia 8 - Área de Matos após aplicação de técnica de fogo controlado

1.3. O desenho experimental

1.3.1. As Parcelas

As parcelas de erosão do solo consistem num sistema fechado ou aberto (Ferreira *et al.*, 2008) apresentando diferentes tipos e tamanhos com objetivo de investigar os processos geomorfológicos, principalmente relacionados com erosão do solo (Jackson *et al.*, 1985). Este método de campo, depende da qualidade da metodologia aplicada, tendo por base propriedades do ecossistema, a escala temporal e espacial e os objetivos inerentes. Neste sentido, a avaliação da erosão do solo a uma grande escala depende do declive e de fatores endógenos (Jackson *et al.*, 1985; Shakesby *et al.*, 1991 e Boix-Fayos *et al.*, 2006).

O estudo da erosão do solo após ocorrência de incêndios florestais, é elaborado através da implementação de equipamentos que permitam avaliar e quantificar os valores de erosão e escorrência hídrica do solo sujeito a forças adversas.

Geralmente, esses equipamentos, são parcelas de erosão, que devem incidir na simplicidade, robustez, portabilidade, custo-benefício, fácil instalação, flexibilidade no uso e baixa necessidade de manutenção (Shakesby *et al.*, 1991).

As parcelas de erosão consistiram no método de *Gerlach*. No entanto, o método foi adaptado, tendo em consideração as necessidades do estudo. Este método reside na construção de um sistema de recolha de matéria erodida ao longo das vertentes, com uma placa inserida no solo, que permita o transporte da água para um recipiente de recolha dos sedimentos (designado de Caixa de *Gerlach* ou Caixa de erosão), constituído por um orifício com o objetivo de drenar os elementos em solução para um coletor (Silvério, 2000).

No processo de estudo, a parcela de erosão utilizada apresentava as seguintes características:

1. Parcela de erosão em sistema fechado: com uma área de receção de 10 m², de desenho retangular com uma área de convergência em “V aberto” (Fig. 25).

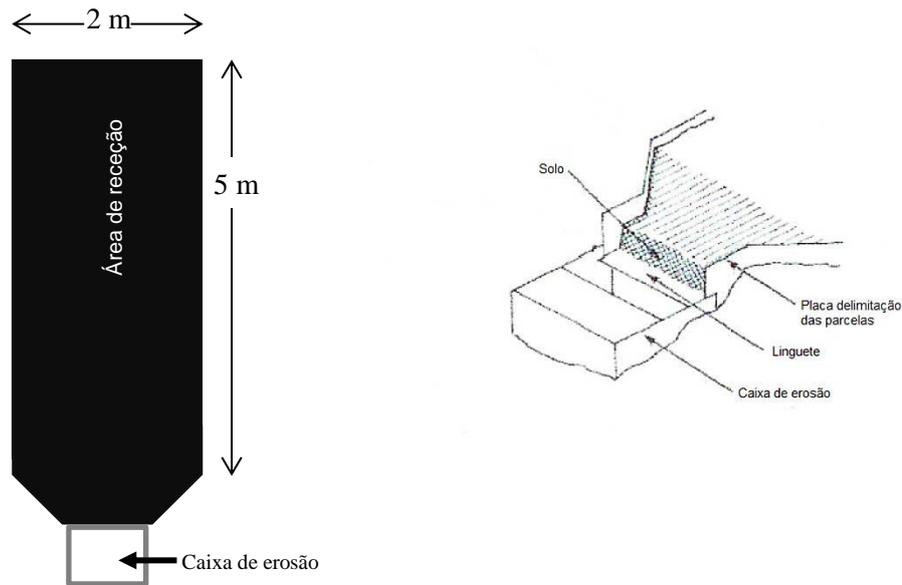


Figura 25 - Esquema da parcela e da caixa de erosão "Gerlach modificado"

2. A caixa de erosão foi colocada no lado inferior da parcela, isto é, no local de convergência da parcela e no sentido do declive da vertente. O dispositivo "Caixa de erosão" é concebido por (Fig. 26):

- Internamente é constituída por um filtro e um orifício de escoamento de água. O filtro é uma rede de malha de 0,22 mm que funciona como retentor das partículas de solo provenientes do escoamento hídrico e da erosão superficial;
- Externamente a caixa tem uma tampa de forma a evitar o salpico do material por efeito *splash*.

3. Os coletores de água para monitorização do total de água e sedimentos em suspensão é composto por:

- um bidão ligado ao orifício de escoamento da "Caixa de erosão", por uma mangueira. No entanto, a entrada do coletor deve estar nivelada abaixo do orifício de escoamento da caixa, para escoamento natural por inclinação.

O *design* da parcela de erosão, baseia-se no método de *Gerlach* modificado (Shakesby *et al.*, 1991), e consiste num desenho retangular na parte mais elevada, terminando em "V aberto", compostos por chapas de alumínio, que unidas se transformam na parcela de erosão, formando uma área de recepção com dimensão de 5 x 2 m (10 m²). Inicialmente, o local de instalação foi delimitado com fio que perfazia uma área 5 m x 2 m, com o intuito de mitigar a perturbação causada na área de instalação.

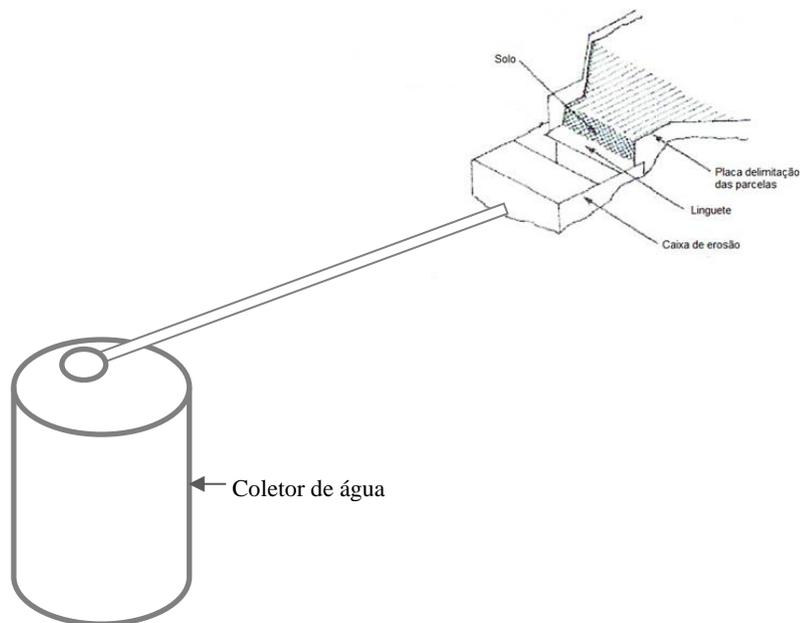


Figura 26 - Esquema do coletor de água e da caixa de erosão (adaptado Shakesby et al., 1991)

A área delimitada pelo fio, concretizou-se em chapas de alumínio flexíveis. As chapas de alumínio têm altura de 20 cm por 2 metros de comprimento e encontram-se presas ao solo por estacas de metal com 70 cm de comprimento. Com o intuito de estabilizar as chapas ao solo, fez-se um pequeno sulco no solo com 3 cm profundidade por toda a área limitada (área delimitada pelo fio) e fixou-se as chapas com as estacas de metal, em forma de pinça “em U”, que perfuraram o solo em 5 cm, sendo dispostas em diversos locais de forma à parcela ficar estabilizada. Para a união entre chapas de alumínio, utilizou-se silicone, de modo a evitar fugas de água e material.



Fotografia 10 - Montagem inicial das parcelas de erosão

A caixa de erosão é composta por um filtro e um orifício de escoamento da água. O filtro é uma rede de malha de 0,22 mm que funciona como retentor das partículas de solo provenientes do escoamento hídrico e da erosão superficial.

Porém, a água de escoamento pluvial e os materiais mais finos em suspensão após caírem na caixa de erosão são escoados pelo orifício da Caixa de erosão (Fotografia 11), onde é canalizada, através de mangueiras, até aos depósitos/coletores de água com capacidade de 220 litros, e aí armazenada. Na implementação da caixa de erosão e do depósito, foi necessário escavar uma abertura no solo para que a caixa de erosão ficasse abaixo do linguete (entre a caixa de erosão e a parcela de receção, é fincado no solo um linguete que permite escoar o material erodido e a água para a caixa de erosão; o linguete deve ser fixado abaixo 10 cm da superfície do solo).



Fotografia 11 – Caixa de erosão

1.3.2. As características do modelo (*design*) de parcela

As parcelas de escoamento hídrico apresentam vantagens na sua criação no campo, porque o dispositivo não interfere com os processos de erosão do solo na área a ser medida; é robusto e portátil; a utilização de uma pinça em aço, fixa e deslizante que permite recolocar as chapas com precisão ao longo da encosta; e o procedimento de medição é relativamente direto e de fácil compreensão, pelo que os erros processuais decorrentes tendem a ser minimizados (Shakesby *et al.*, 1991) .

Na implementação deve-se ter em conta as perturbações iniciais no solo no momento da instalação; interferência humana no local e se a parcela coincide com o crescimento de plantas (Shakesby *et al.*, 1991).

A técnica utilizada na construção das parcelas influencia as taxas de erosão do solo, de escoamento superficial, da repelência e da infiltração. Na Figura 27, Ferreira *et al.* (2008), aborda a conceção de parcela com e sem limites, ou seja, a parcela fechada ou aberta, mas também as

consequências em campo no decorrer de experiências com incêndios florestais e com fogo controlado (queima prescrita).

Neste estudo, o autor defende que, em condições de incêndio florestal, a repelência é elevada e uniforme, devido à camada hidrofóbica provocada pela cinza, e verifica-se um aumento na curva descendente da água e transporte de sedimentos.

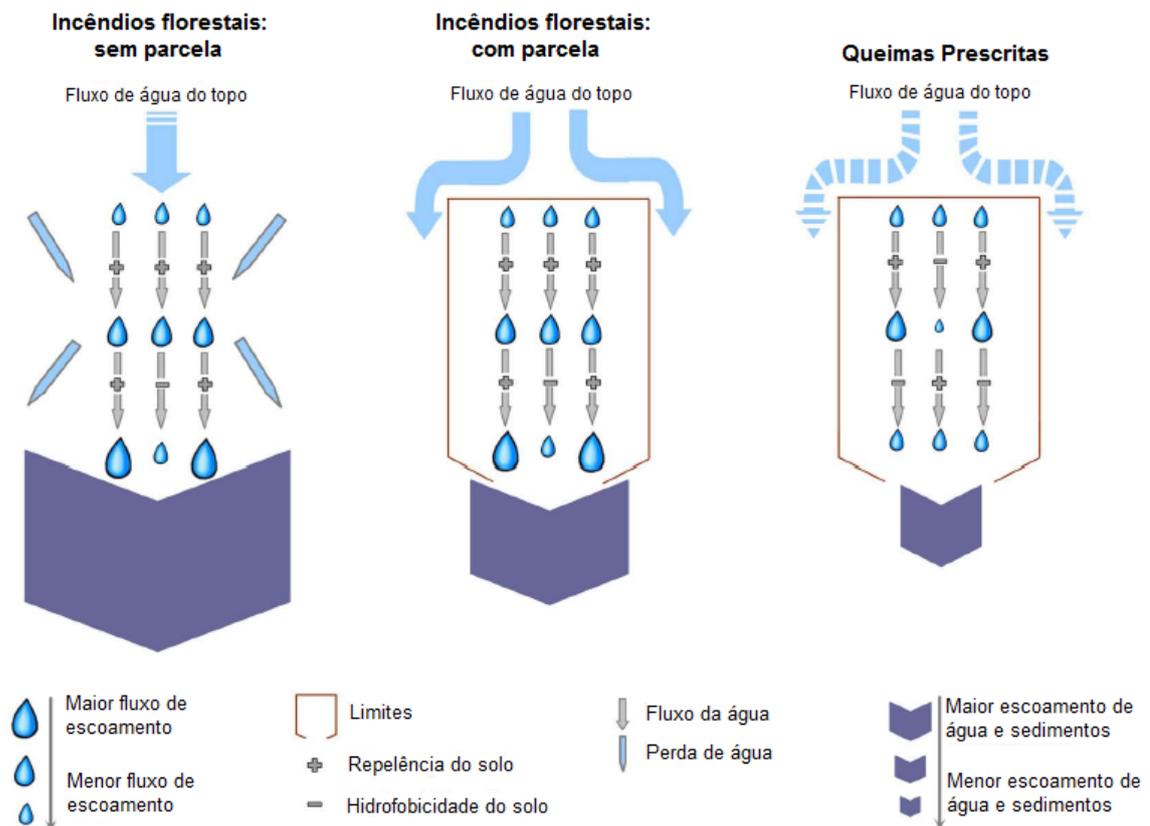


Figura 27- Fluxo de erosão em áreas queimadas e consoante a parcela aplicada (adaptado Ferreira *et al.* 2008)

Nas parcelas delimitadas (Figura 27) *Queimas prescritas* (vulgo dizer, fogo controlado), os limites são uma barreira ao escoamento de montante, apesar de alguns autores como Cantón *et al.* (2001) e Cammeraat (2004) defenderem que num sistema fechado, a taxa de erosão dos solos é mais rápida, pelo fato de não existir uma fonte de fluxos de montante. Esta tese não é corroborada por Ferreira *et al.* (2008), onde defende que existe uma diminuição do escoamento à medida que aumenta de escala. Assim se explica que o obstáculo fornecido pelos limites (sistema fechado) quebra a conectividade da água e dos sedimentos, desencadeando uma curva descendente.

No entanto, o fator de fogo controlado em parcelas fechadas indicia resultados diferentes dos incêndios florestais, uma vez que o padrão da repelência é heterogêneo, verificando-se pontos

hidrofilicos que promovem a infiltração, a diminuição da escorrência e da erosão, existindo menor quantidade de material erodido.

1.3.3. Identificação das Parcelas

Às duas parcelas foram atribuídos um código constituído por 2 letras, P (Parcela de Povoamentos) e M (Parcela de Matos) (Fotografia 12 e Fotografia 13), facilitando a identificação para posteriores levantamentos e recolhas.



Fotografia 12 - Parcela M – parcela introduzida em Matos



Fotografia 13 - Parcela P – parcela introduzida em Povoamentos

Deste modo, definiu-se que a cada recolha se atribuíam um número árabe e a respetiva letra da parcela a que pertencessem os elementos recolhidos. A título de exemplo, na 5ª recolha, na parcela P, o código atribuído seria, 5P.

1.4. Materiais e Métodos

O estudo metodológico da erodibilidade do solo, em campo, é composto por diversas variáveis que permitem avaliar os fatores que contribuem para a interpretação dos dados obtidos, com o intuito de alcançar alguns resultados conclusivos. Neste estudo empírico, as variáveis em campo abordadas consistiram na análise da:

- Precipitação acumulada – com base nos índices de precipitação acumulada diária, tendo em conta o número de dias entre recolhas.

Neste caso, usou-se um pluviómetro artesanal, construído com um garrafão com capacidade de depósito de 5 litros e por um funil com um diâmetro de receção de 100 mm. O pluviómetro encontrava-se enterrado 10 cm no solo, por forma a não existir a possibilidade de

derrame ou deslocação pelo vento e/ou chuva (Fotografia 14). A Figura 15 sintetiza o processo de recolha do solo.



Fotografia 14 - Pluviómetro colocado no solo



Fotografia 15 - Procedimento de recolha do solo

- Erosão hídrica – consistia na remoção de material superficial do solo da parcela, por transporte hídrico que conduz ao empobrecimento do solo. O material erodido acumula-se na caixa de erosão, o que permitirá obter os dados relativos e absolutos dos sedimentos depositados. A erosão é difícil de equacionar e quantificar, pois é constituída por diferentes fatores que apresentam variabilidade espacial e temporal significativa (Ponce Alvares e Pimenta, 1998).

- Escoamento superficial – integra a precipitação que cai dentro da parcela de erosão e que após a saturação do solo, escoo ao longo da vertente (parcela) e que por suspensão transporta os elementos do solo mais finos. A água de escorrência é acumulada e contabilizada para a posterior avaliação do índice de escoamento.

1.4.1. Procedimentos em Campo

Neste *item* procura identificar-se os diferentes materiais, processos de recolha e os processos laboratoriais que estiveram subjacentes ao processo de investigação efetuado.

- *Material utilizado:*

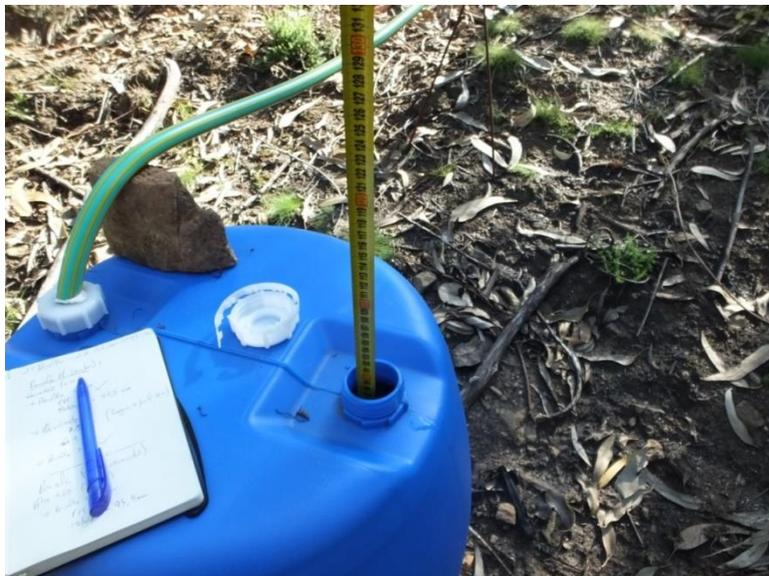
Durante a realização da investigação em campo, usou-se diverso material, nomeadamente saco plástico; trincha; proveta graduada; garrafa (0,5l); fita métrica e caderno de registos.

- *Processo de Recolha:*

A recolha dos elementos em campo consiste no registo da data, hora e parcela de recolha. Em ambas as parcelas, os processos aplicados são iguais.

Para a determinação dos valores de pluviosidade, realizou-se a medição da água armazenada em cada pluviómetro, através de uma proveta graduada, quantificando-se o volume de líquido presente entre medições, para posterior cálculo da precipitação.

Os depósitos tinham a função de acumuladores da água de escorrência, verificada no período entre recolhas. A medição era efetuada com recurso a uma vareta de ferro e posteriormente medida a altura de água com uma fita métrica, para obtenção do cálculo do volume (Figura 16). Posto isto, o coletor era esvaziado, preparando-se a próxima recolha.



Fotografia 16 - Medição da água de escorrência acumulada

O último procedimento nas parcelas passava pela recolha do material depositado nas caixas/coletores de erosão, transferindo-o para um saco plástico juntamente com o filtro (rede de

malha de 0,22mm), contido na caixa. Posteriormente, era introduzido um novo filtro (Fotografia 17).



Fotografia 17 - Sequência dos procedimentos na caixa de erosão, com recolha dos sedimentos erodidos e manutenção da caixa

Contudo, após o trabalho de campo, a metodologia empírica sustenta-se sobretudo no trabalho laboratorial. O trabalho em laboratório complementa os dados obtidos em campo e foca-se na desconstrução dos dados brutos. Deste modo, avaliaram-se variáveis como:

- Teor de matéria orgânica e teor de matéria mineral – os sedimentos recolhidos da caixa de erosão que após inceneração (em laboratório) do material obtém-se a quantificação do teor de matéria mineral, e, por subtração, o teor de matéria orgânica.

- Granulometria/Sedimentologia - através da crivagem do material recolhido da erosão hídrica, alcança-se as texturas e a estrutura do solo.

1.4.2. Procedimentos/técnicas em laboratório

- Análise granulométrica

Os procedimentos laboratoriais para a análise sedimentológica dos elementos recolhidos em campo são sujeitos a vários processos de tratamento e análise. O material sólido, recolhido nas caixas de erosão é colocado na Mufla (Fotografia 18), à temperatura de 60 °C, durante 72 horas consecutivas, tendo como objetivo eliminar a água presente no solo recolhido. Posto isto, retira-se o material sólido dos sacos e procede-se à limpeza da malha de rede (filtro de sedimentos) e pesa-se a amostra (Fotografia 19).



Fotografia 18 - Mufla



Fotografia 19 - Limpeza das amostras de solo

Preparação da amostra

O quartejamento da amostra consiste em subdividir as amostras com maior quantidade de material em quatro partes equiparadas. A estimativa desta quantidade deve ser feita pela pesagem do material (Veloso, 2001).

A crivagem do material sedimentológico efectua-se após eliminar-se o teor de humidade presente no solo, e posterior quartejar da amostra. O jogo de crivos era composto por 14 crivos: 3 de malha grossa (4,00 mm 2,83 mm e 2,00 mm), 10 de crivagem de areia (1,4 mm a 63 μm); e 2 de malha fina (62 μm e <45 μm) (Fotografia 20).

A amostra é colocada no agitador de peneiros (Fotografia 20), que permite a separação das partículas em ensaios granulométricos de crivos de 4mm a <45 μm , com uma amplitude programada de 1,50 rotações e pelo tempo de 10 minutos. Terminada a separação das partículas, o conteúdo de cada crivo é pesado numa balança eletrónica de precisão e registado no formulário concebido para o efeito.



Fotografia 20 - Agitador de peneiros

Na segunda fase, procede-se à inceneração da matéria orgânica e, é nesta fase que se avalia o teor de matéria orgânica e mineral presente no solo. Na sequência de *“lost on ignition”*, pesa-se os cadinhos e são colocados no Forno (Fotografia 21) durante 5 horas, a uma temperatura de 560°C permitindo a volatilização da matéria orgânica presente na amostra.



Fotografia 21 - Forno

Para finalizar o processo, a matéria mineral é sujeita ao processo de crivagem para quantificação das partículas minerais, com o objetivo de fracionar as texturas do solo.

1.4.3. Análise e quantificação de índices

Precipitação

O conteúdo de água da chuva presente no pluviômetro era quantificado através de uma proveta graduada, sendo que esse conteúdo representa os mililitros de chuva, que é dividido pelo raio ao quadrado do funil do pluviômetro.

$$R = V/\pi * r^2$$

V = Volume de precipitação (ml);

r = raio do funil;

Escorrência

Derivada da água da chuva que escoou ao longo da parcela da vertente, a água de escorrência acumulada era armazenada num coletor para o efeito (reservatório). Este reservatório de forma cilíndrica permitia a acumulação de água de escorrência, que era medida em centímetros (fita métrica), para apurar o volume de água acumulada. A sua quantificação foi realizada através da fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h / 10000$$

r = raio do depósito

h = altura da água de escorrência acumulada (cm)

Índice de erosão

Resultante do quantitativo de erosão recolhido (caixa de erosão) ao longo do período em análise (por período de um ano), em que a sua base é a parcela de erosão, multiplicado para obter o hectare. A sua quantificação foi realizada através da fórmula:

$$E = \text{ton/ha/ano}$$

E = valor de erodido por ha/ano;

ton= somatório do material durante 12 meses de recolha;

ha = 10m² da área da parcela multiplicado por 1000;

1.4.4. Análise estatística

A interpretação da informação quantitativa das amostras de matéria mineral com recurso ao “Método de Peneiração” consiste em quantificar e analisar as frações minerais, subdivididas em Areão, Areia e Silte/Argila. Para isso, utilizou-se o método dos “Momentos estatísticos” baseado numa curva de distribuição normal (Curva Gaussiana). É um método essencialmente numérico, em contraposição aos métodos gráficos de Otto & Inman, Folk & Ward e McCammon, em que a eficiência em determinados parâmetros estatísticos é inferior ao “Método dos Momentos”, como avalia Alveirinho Dias (2004).

A aplicação do “Método dos Momentos” feita à granulometria, por aplicação da Mecânica, define que a Força é substituída pela frequência de determinada classe, o ponto de aplicação é o ponto médio dessa classe e o ponto de rotação é um ponto arbitrário (Alvarinho Dias, 2004). A

utilização deste método permite a aferição de todas as classes granulométricas e não apenas de partes da amostra, além de permitir uma aferição rápida dos parâmetros da amostra e viabilizar uma grande análise de amostras (Alveirinho Dias, 2004).

O “Método dos Momentos” é constituído por quatro parâmetros:

1) Média (\bar{x} ou M)

$$1^{\text{o}} \text{ momento} = \frac{\sum fm\emptyset}{100} \quad \bar{x} = \frac{\sum fm\emptyset}{100}$$

2) Desvio Padrão (σ)

$$2^{\text{o}} \text{ momento} = \frac{\sum f(m\emptyset - \bar{x})^2}{100} \quad \bar{x} = \sqrt{\frac{\sum f(m\emptyset - \bar{x})^2}{100}}$$

3) Assimetria (α)

$$3^{\text{o}} \text{ momento} = \frac{\sum f(m\emptyset - \bar{x})^3}{100} \quad \alpha_3 = 1/100 \sigma^{-3} \sum f (m\emptyset - \bar{x})^3$$

4) Curtoses

$$4^{\text{o}} \text{ momento} = \frac{\sum f(m\emptyset - \bar{x})^4}{100} \quad \alpha_3 = 1/100 \sigma^{-4} \sum f (m\emptyset - \bar{x})^4$$

Em que: f – frequência das frações

\emptyset – frequência em termos de percentagem de cada fração granulométrica

m \emptyset – é ponto médio de cada fração

- ❖ Moda (Mo) – é a classe da fração granulométrica com maior representatividade;
- ❖ Mediana (Md) – corresponde a 50% de *phi*.

No recurso ao *software* de análise sedimentológica SEDMAC e com a obtenção dos valores do método gráfico de Folk (2002), permite um extravasamento de valores mais ponderados com objetivo detalhar as distribuições de valores. Neste sentido, Folk indica que:

- i. Desvio-Padrão (σ) apresenta a calibração dos sedimentos, tendo por base a escala de ϕ (Quadro IV).

Quadro IV - Escala de calibração - Desvio- Padrão (Adaptado, Alveirinho Dias, 2004)

Muito bem calibrado	< 0,35
Bem calibrado	0,35 a 0,50
Moderadamente bem calibrado	0,50 a 0,71
Moderadamente calibrado	0,71 a 1,0
Mal calibrado	1,0 a 2,0
Muito mal calibrado	2,0 a 4,0
Extremamente mal calibrado	>4,0

- ii. Assimetria (α) demonstra a assimetria dos dados, com base em \emptyset , possibilitando definir a textura da amostra (Quadro V).

Quadro V - Valores de assimetria de ϕ (Adaptado, Alveirinho Dias, 2004)

α	Designação
+1,00 a +0,30	Fortemente assimétrica no sentido dos finos
+0,30 a +0,10	Assimétrica no sentido dos finos
+0,10 a -0,10	Aproximadamente simétrica
-0,10 a -0,30	Assimétrica no sentido de grosseiros
-0,30 a -1,00	Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros

- iii. Curtoses (KG) definem a angulosidade da curva em relação à curva normal, sendo que quando o valor é inferior apresenta menor concentração ao centro e alongamento para as bordas da curva (Quadro VI).

Quadro VI - Valores de angulosidade (Adaptado, Alveirinho Dias, 2004)

Kg	Designação
<0,67	Muito platicúrtico
0,67 a 0,90	Platicúrtico
0,90 a 1,11	Mesocúrtico
1,11 a 1,50	Leptocúrtico
1,50 a 3,00	Muito leptocúrtico
>3,00	Extremamente leptocúrtico

2. Análise empírica

2.1. Dados

Os dados recolhidos e analisados correspondem ao período entre maio de 2014 a outubro de 2015, com a precipitação total acumulada de 2300 mm. O índice de erosão registado na Parcela M foi de 2,34 ton/ha¹/ano¹ e na Parcela P de 0,24 ton/ha¹/ano¹.

2.1.1 Escorrência e Precipitação

As Figura 28 e Figura 29 descrevem a escorrência e a precipitação acumulada registada nas Parcela P (Povoamentos) e Parcela M (Matos), respectivamente.

Atentando a Figura 28, destaca-se que os maiores períodos de escorrência na Parcela M foram registados em novembro de 2014, outubro de 2014 e julho de 2014 (27,1 l/m²; 26,9 l/m² e 25,7 l/m²), e é no período de novembro de 2014, fevereiro de 2015 e outubro de 2014 que se regista uma maior precipitação (646,5 mm; 246,2 mm e 224,7 mm).

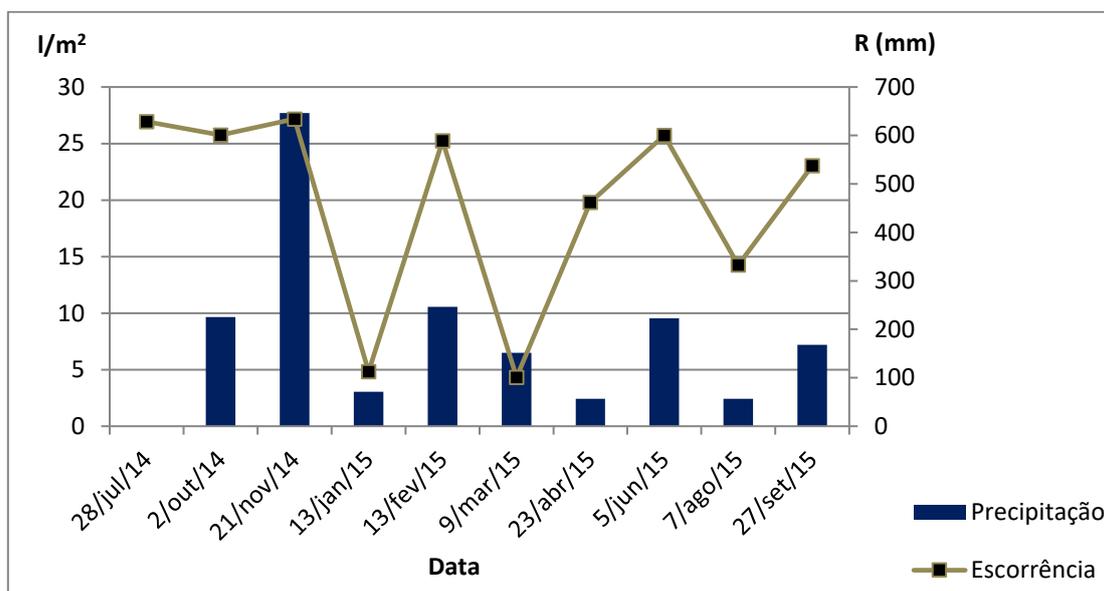


Figura 28 - A escorrência e precipitação registada na Parcela M

Contudo, a escorrência observada na Parcela M registou valores mais reduzidos nas recolhas de março de 2015, janeiro de 2015 e agosto de 2015 (4,33 l/m², 4,83 l/m² e 14,25 l/m²), enquanto a precipitação foi mais reduzida em abril de 2015 e agosto de 2015, e janeiro de 2015 (56,84 mm e 71,04 mm).

No registos de precipitação e escorrência da Parcela P (Figura 29) verifica-se que os períodos de escorrência mais elevados foram em novembro de 2014, outubro de 2014 e setembro de 2015 (25,3 l/m²; 25,2 l/m² e 23 l/m²). No entanto, os três períodos de precipitação mais elevados (novembro de 2014 – 566 mm; outubro de 2014 – 208,4 mm e junho de 2015 – 184,7 mm) só registam consonância com a escorrência elevada de novembro e outubro de 2014.

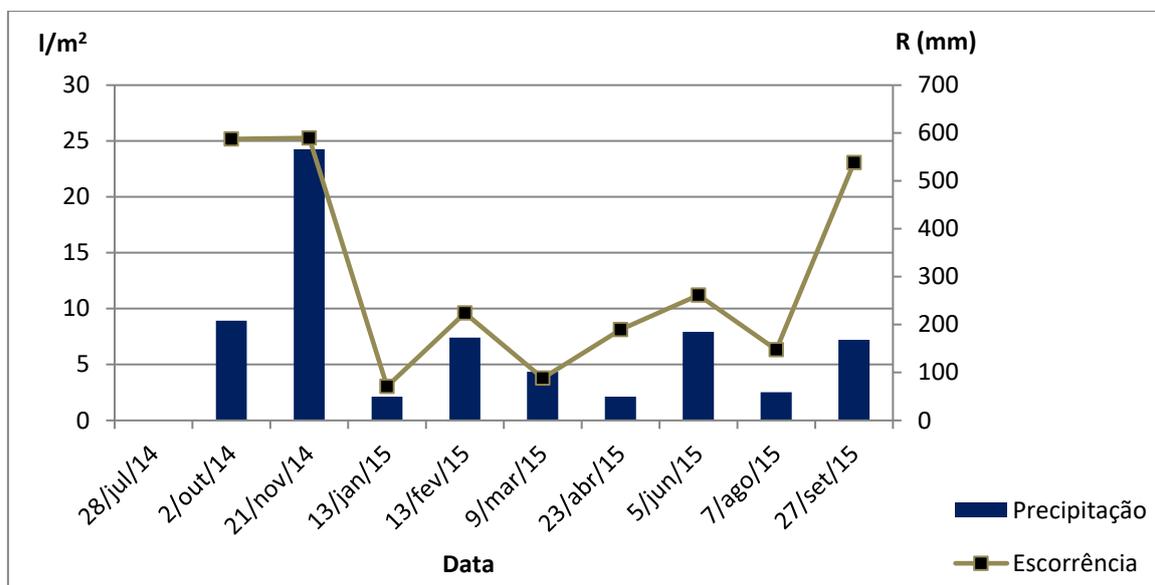


Figura 29 - A escorrência e precipitação registada na Parcela P

Na Parcela P as recolhas que registaram menor escorrência corresponderam a janeiro de 2015, março de 2015 e agosto de 2015 (3,04 l/m², 3,78 l/m² e 6,31 l/m²). Por conseguinte, foi em janeiro e abril de 2015, e agosto de 2015 (49,73 mm e 59,2 mm) que o período de precipitação foi menos abundante.

2.1.2. A erosão

Relativamente à erosão do solo (Figura 30), na Parcela P identificam-se padrões bem diferenciados para as três primeiras recolhas em termos de erosão (outubro de 2014 – 10,02 g/m², novembro de 2014 – 3,63 g/m² e julho de 2014 – 3,08 g/m²), sendo que nas recolhas posteriores, estes valores de erosão verificados foram bastante reduzidos, inferiores a 2 g/m². Contudo, os fenómenos de precipitação elevada, por ordem de grandeza, registaram-se em novembro de 2014, outubro de 2014 e junho de 2014 (566 mm; 208,4 mm e 184,7 mm).

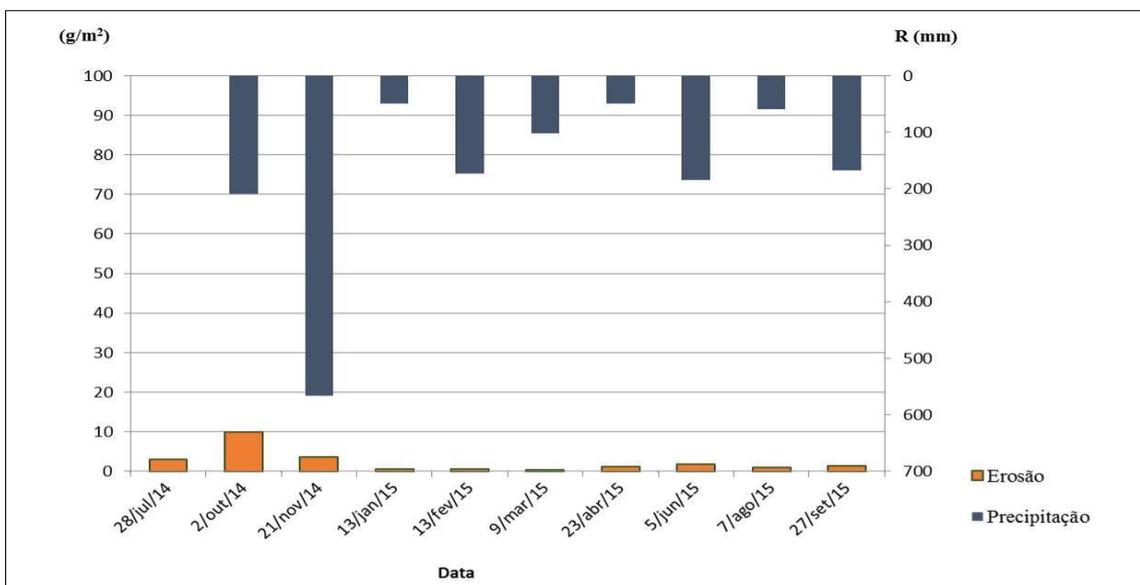


Figura 30- A erosão e precipitação registrada na Parcela P

Porém, na Parcela M (Figura 31) verificou-se uma discrepância de valores oito vezes superiores em outubro e novembro de 2014 (98,55 g/m² e 87,24 g/m²) comparativamente com as restantes recolhas efetuadas.

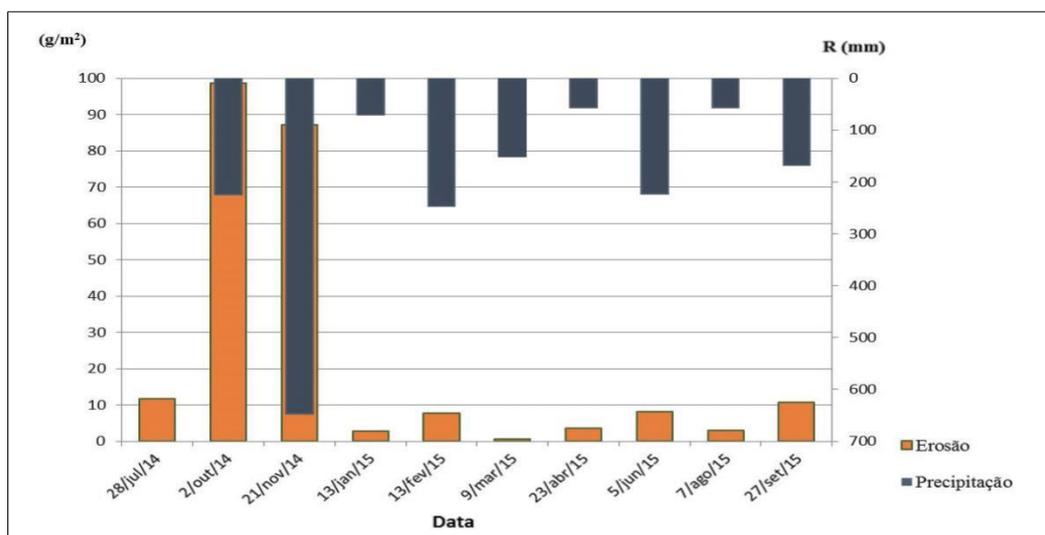


Figura 31 - A erosão e precipitação registrada na Parcela M

A recolha com maior perda de solo por erosão foi em julho de 2014 (11,75 g/m²). Destaca-se o fato de as restantes recolhas, à exceção de setembro de 2015, registarem valores inferiores a 8 g/m². No entanto, os períodos de precipitação mais fortes registaram-se em novembro de 2014, fevereiro de 2015 e outubro de 2014 (646,5 mm; 246,2 mm e 224,7 mm).

2.1.3. Matéria mineral: análise diferencial entre Parcela P e M

Na sequência da volatização da matéria orgânica, e utilizando-se a seguinte fórmula:

$$MO = (C - PA) - (C - PM)$$

MO – Matéria orgânica; *C* – Peso do cadinho vazio; *PA* – Peso total da amostra; *PM* – Peso total da amostra mineral
obteve-se a matéria mineral do solo erodido, e que após sujeito a crivagem, como especificado na metodologia, permitiu análise do solo.

Na Parcela 2/P a percentagem de “Areia” é de 58,6%, de “Silte e Argila” é 24,1% e de “Areão” 17,3%, enquanto na Parcela 2/M a percentagem granulométrica mais representativa é a “Areia” com 60,5%, seguindo-se a “Silte e Argila” com 26,4% e de “Areão”, 13,2%. Verifica-se uma diminuição do “Areão” na Parcela 2/M e o aumento das restantes frações granulométricas comparativamente com a Parcela 2/P (Figura 32).

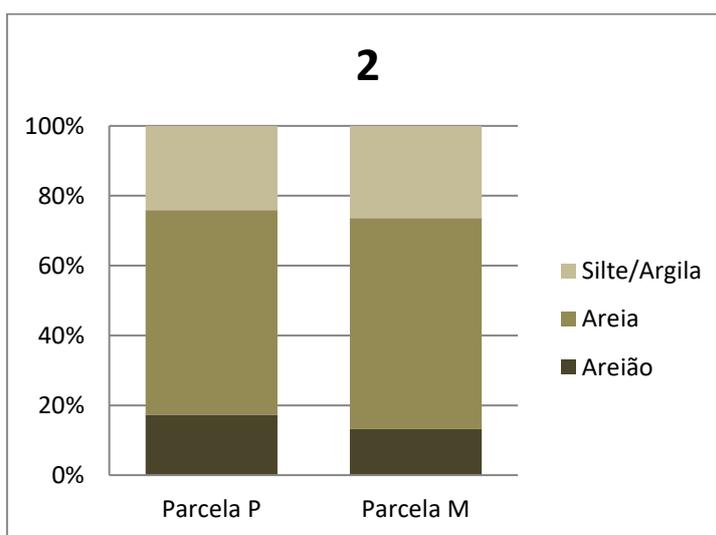


Figura 32 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Out. 2014

A análise da distribuição granulométrica das frações da recolha 2 em ambas as parcelas (Tabela 2) é representada por uma curva assimétrica, verificando-se um ligeiro afastamento dos valores da Média ($M\bar{\emptyset}$) e da Mediana ($Md\bar{\emptyset}$) de cada parcela. Os valores da $Md\bar{\emptyset}$, para a Parcela 2/P é 1,80 e para a Parcela 2/M é 1,40, e descrevem uma concentração de areais finas e muito finas (355 μ m a 62 μ m e <62 μ m) e de areia a areias muito finas (500 μ m a 62 μ m e <62 μ m). No entanto, as amostras 2/M e 2/P são unimodais, isto é, apresentam apenas uma classe abundante, tendo em conta o ponto médio, $Mo\bar{\emptyset}$.

Tabela 2 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Out. 2014)

Recolha/Parcela	$M\emptyset$	$Md\emptyset$	$Mo\emptyset$	$\sigma\emptyset$	$\alpha\emptyset$	<i>Kurtosis</i>
<u>2/P</u>	1,38	1,80	4,5	2,27	-0,27	1,62
<u>2/M</u>	1,34	1,40	4,5	2,22	-0,07	1,55

O Desvio-Padrão ($\sigma\emptyset$) da amostra de 2/P e 2/M exibe uma calibragem que foge à normalidade com a aproximação do agrupamento de frações. Já a Assimetria ($\alpha\emptyset$) de 2/P (-0,27), indica uma assimetria à esquerda da média, ou seja, no sentido dos elementos grosseiros, enquanto a recolha 2/M, -0,07, é aproximadamente simétrica.

As curvas de distribuição podem apresentar-se mais achatadas ou mais salientes do que a curva gaussiana, sendo determinado pela sua angulosidade. Neste sentido, as duas recolhas em análise têm uma angulosidade inferior à curva (2/P – 1,62 e 2/M – 1,55), designando-se curva platicúrtica.

A distribuição das frações granulométricas da matéria mineral da recolha 3 (Figura 33) é constituída na Parcela P por 65,5% de “Areia”, 25,2% de “Silte e Argila” e 9,3% de “Areão”; na Parcela M a “Areia” representa 60,9%, a “Silte e Argila” 36% e o “Areão” com uma percentagem diminuta de 3,1%.

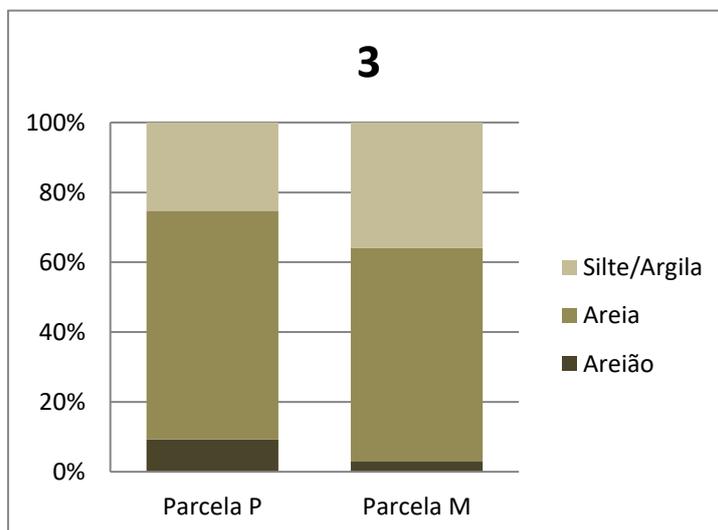


Figura 33 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Nov. 2014

Porém, com uma distribuição unimodal nas duas amostras ($Mo\emptyset$) de 4,5 \emptyset , e com uma Média ($M\emptyset$) e Mediana ($Md\emptyset$) afastadas em cada uma das recolhas, define-se uma curva assimétrica. A $Md\emptyset$ de 2,36 (3/P) e 2,42 (3/M) descrevem uma centralização de areias finas e muito finas (250 μ m a 62 μ m e <62 μ m) (Tabela 3).

Tabela 3 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Nov. 2014)

Recolha/Parcela	MØ	MdØ	MoØ	$\sigma\text{Ø}$	$\alpha\text{Ø}$	KurtosisØ
<u>3/P</u>	1,75	2,36	4,5	2,05	- 0,48	1,94
<u>3/M</u>	2,06	2,42	4,5	1,97	- 0,37	1,76

O “2º momento” expressa a dispersão relativamente à média, sendo que elevando o resultado à raiz quadrada obtém-se o ($\sigma\text{Ø}$), em que 3/P (2,05) e 3/M (1,97) sugerem uma dispersão positiva da matéria mineral relativamente à curva normal.

A Assimetria ($\alpha\text{Ø}$) regista valores negativos, o que indica um enriquecimento de elementos finos, à esquerda da média. Quanto ao valor de *Kurtosis*, sendo o valor inferior a 3 nas duas recolhas, a curva é platicúrtica.

Relativamente ao fracionamento granulométrico das parcelas, na Parcela P obteve-se uma elevada percentagem de “Areia” 67,8%, de “Silte e Argila” 18,7% e de “Areão” 13,5%. Porém, na Parcela M a “Areia” apresenta o valor mais elevado (64,6%), destacando-se a elevada representatividade de “Silte e Argila” (32,0%) e a menor percentagem de “Areão” (3,4%) (Figura 34).

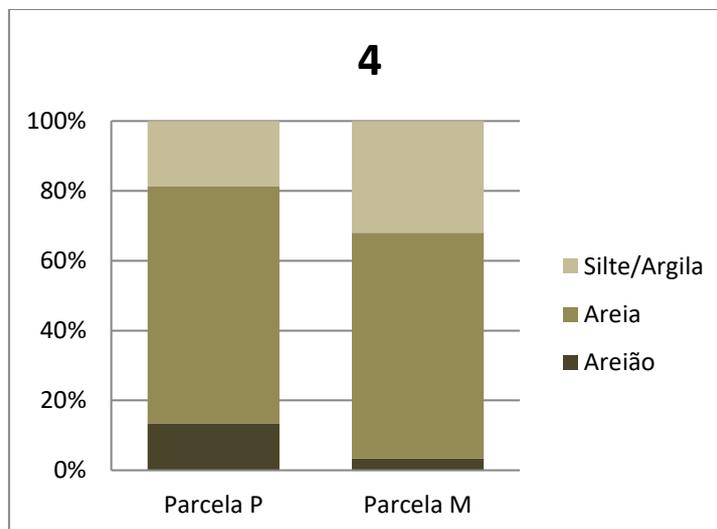


Figura 34 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Jan. 2015

No que respeita às recolhas da Tabela 4, verifica-se uma distribuição unimodal (existência de apenas uma Moda) e assimétrica (aproximação dos valores da Média e da Mediana) e enviesada à esquerda, uma vez que a Média é inferior à Mediana registada. A MdØ da recolha 4/P releva uma concentração de areia e areias finas (355µm a 62 µm e <62 µm) e da 4/M demonstra a presença de areias finas a muito finas (180 µm a 62 µm e <62 µm).

Tabela 4 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Jan. 2015)

Recolha/Parcela	MØ	MdØ	MoØ	$\sigma\text{Ø}$	$\alpha\text{Ø}$	KurtosisØ
<u>4/P</u>	1,22	1,5	3,5	2,18	- 0,17	1,57
<u>4/M</u>	2,16	2,6	4,5	1,85	- 0,58	2,25

A dispersão da matéria mineral ($\sigma\text{Ø}$), com valor 2,18, na 4/P e 1,85, na 4/M, indica uma curva afastada com normalidade positiva e aproximação das frações. Os valores negativos da Assimetria ($\alpha\text{Ø}$) registados nas recolhas da Tabela 4 revelam uma quantidade elevada de elementos finos. No entanto, a recolha 4/P apresenta uma maior aproximação à curva. As *Kurtosis* formam uma curva platicúrtica, verificando-se maior concentração de dados na recolha 4/M, em comparação com 4/P.

Atentando à Figura 35, na Parcela P a fração de “Areia” corresponde a 66,6% da amostra, a “Silte e Argila” a 19,7% e o “Areão” a 13,7%. Já na Parcela M, as frações com maior preponderância são as de “Areia” com 75,1%, de “Silte e Argila” (16,9%) e de “Areão”, 8,1%.

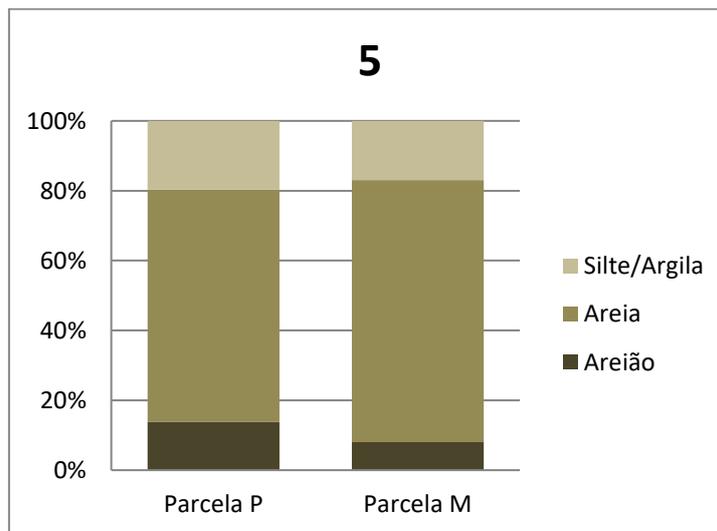


Figura 35 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Fev. 2015

As recolhas 5/P e 5/M têm apenas uma moda, ou seja, são ambas unimodais; os valores exibem uma assimetria enviesada à esquerda na recolha 5/P e uma simetria na recolha 5/M pela ponderação da média e da mediana. Com um valor da MdØ de 1,30 (5/P) e 1,33 (5/M), as amostras são compostas por areias e areias finas (500 µm a 62 µm). O $\sigma\text{Ø}$ das duas recolhas prevê uma curva desviada no sentido positivo e, por conseguinte, uma diminuição da concentração de partículas nas amostras. Quanto à $\alpha\text{Ø}$, os valores observados são negativos, o que representa

uma assimetria ligeira no sentido dos elementos grosseiros. Os valores das *Kurtosis* demonstram uma curva platicúrtica semelhante em ambas as recolhas (Tabela 5).

Tabela 5 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Fev. 2015)

Recolha/Parcela	MØ	MdØ	MoØ	σØ	αØ	KurtosisØ
<u>5/P</u>	1,23	1,30	4,50	2,16	- 0,13	1,63
<u>5/M</u>	1,33	1,33	4,50	1,94	- 0,09	1,83

Ponderando a Figura 36, numa análise superficial, a Parcela P releva uma diminuição do “Areão” (4,3) comparativamente com a Parcela M, em que o “Areão” é 16,0%. No entanto, na Parcela P a “Areia” é 66,8% e a “Silte e Argila” é 28,9% e na Parcela M a “Areia” é 65,1% e a “Silte e Argila” é 18,9%. Estes resultados sugerem que a Parcela P apresenta uma maior perda de elementos finos e a Parcela M o inverso.

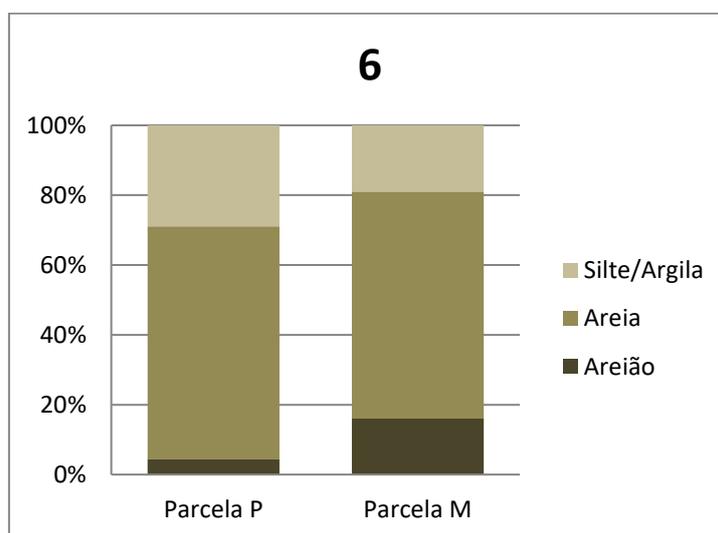


Figura 36 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Mar. 2015

Na ponderação da Média e da Mediana, observa-se uma assimetria da curva à esquerda, mas na recolha 6/M a assimetria registada é muito ligeira quase simétrica pela aproximação dos valores. As características texturais da recolha 6/P são constituídas por areias muito finas e silte (125 µm a 62 µm e <62 µm) e da recolha 6/M por areias e areias finas (500 µm a 62 µm), por avaliação da Mediana. No caso da MoØ, a recolha 6/P é de 4,5 (elementos muito finos) e da 6/M é de -2,00 (elementos grosseiros), e é unimodal (Tabela 6).

Tabela 6 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Mar. 2015)

Recolha/Parcela	MØ	MdØ	MoØ	σØ	αØ	KurtosisØ
<u>6/P</u>	2,10	2,68	4,50	1,89	- 0,73	2,35
<u>6/M</u>	1,16	1,17	- 2,00	2,16	- 0,13	1,76

O Desvio-Padrão da recolha 6/P é 1,89 *phi* e da 6/M, 2,16 *phi*. Deste modo, verifica-se uma curva envesada à direita e com menor aglomeração das frações. A Assimetria releva um *phi* negativo de -0,73 na 6/P e de -0,13 na 6/M, sendo um valor muito próximo de -1 o que indica uma forte assimetria, no sentido dos elementos grosseiros, ao passo que o valor da 6/M tem uma ligeira assimetria no sentido dos grosseiros.

A distribuição dos minerais das duas amostras demonstra uma angulosidade da curva mais saliente, definindo-se como distribuição platicúrtica, pela angulosidade inferior à curva (6/P – 2,35 e 6/M – 1,76).

Tendo por base as texturas do solo (Figura 37), verificaram-se as seguintes características, o “Areão” (Parcela P - 32,1%; Parcela M – 4,2%), a “Areia” (Parcela P – 49,1%; Parcela M – 81,3%) e a “Silte e Argila” (Parcela P – 18,8%; Parcela M – 14,5%), ressalva-se a elevada percentagem de “Areão” na Parcela P e de “Areia” na Parcela M.

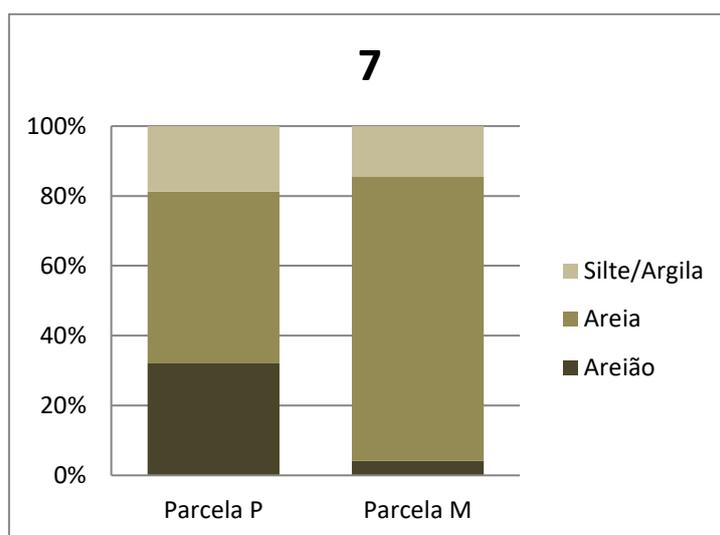


Figura 37 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Abr. 2015

A distribuição das classes granulométricas (Tabela 7) contribuem para que se verifique um afastamento na recolha 7/P, em que a Média é de 0,51 e a Mediana de -0,58. Desta forma, tem-se uma distribuição assimétrica bastante acentuada e enviesada à direita. Contudo, na recolha 7/M, apesar de assimétrica, obteve-se uma assimetria menos intensificada e enviesada à direita, na qual a Média é de 1,31 e a MdØ é de 1,21. Considerando, os valores da MdØ da recolha 7, observa-se a presença de areias muito grossas e de areão (entre 1,4 mm a 4 mm de diâmetro)

na 7/P, enquanto na 7/M predominam as areias e as areias finas (de 500 μm a 62 μm de diâmetro).

Tabela 7 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Abr. 2015)

Recolha/Parcela	$M\phi$	$Md\phi$	$Mo\phi$	σ	$\alpha\phi$	<i>Kurtosis</i> ϕ
<u>7/P</u>	0,51	- 0,58	- 2,00	2,46	0,29	1,47
<u>7/M</u>	1,31	1,21	3,00	1,79	0,04	1,82

Na análise paramétrica das duas amostras, o $\sigma\phi$, indica uma amplitude da curva positiva, o que foge à normalidade, com agrupamento de partículas menor, sendo que na 7/P a calibração de sedimentos é menor do que a 7/M, uma vez que o agrupamento das partículas em torno da média é de 2,46, enquanto na 7/M é de 1,79. A $\alpha\phi$ mostra a distribuição da normalidade e o enriquecimento das partículas, isto é, na recolha 7/P o valor positivo demonstra um enriquecimento de partículas grossas à direita da média. No entanto, a 7/M apresenta também um valor positivo de 0,04, quase simétrico. A angulosidade da curva, segundo o valor das *Kurtosis* das recolhas 7, é de angulosidade inferior à curva gaussiana, pelo que se designa de platicúrtica.

As três frações de textura do solo (Figura 38) são compostas na Parcela P por 57,3% de “Areia”, 29,7 % de “Silte e Argila” e 13% de “Areão” e na Parcela M a percentagem de “Areia” é 72,3, de “Silte e Argila” é 22,1 e de “Areão” 5,7.

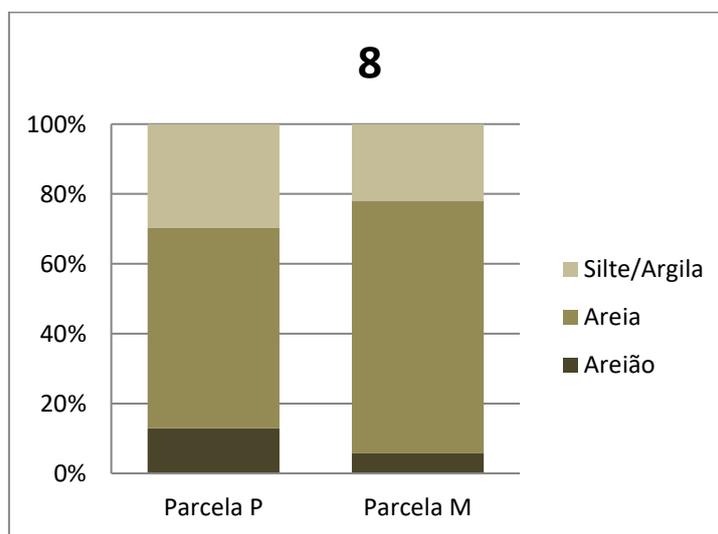


Figura 38 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Jun. 2015

Considerando-se a $Mo\phi$ das amostras 8/P e 8/M constata-se que são unimodais, com valor 4,50 *phi*. Já a $M\phi$ e a $Md\phi$, como divisores das amostras, os valores representados na

Tabela 8, apresentam uma assimetria na distribuição das partículas, sendo na recolha 8/P a assimetria mais acentuada à esquerda. A Mediana descreve também as frações texturais mais abundantes em cada recolha. Assim, na 8/P existe areias muito finas a silte (180 μm a 62 μm e <62 μm) e na 8/M areais finas e muito finas (355 μm a 62 μm e <62 μm).

Tabela 8 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Jun. 2015)

Recolha/Parcela	M ϕ	Md ϕ	Mo ϕ	$\sigma\phi$	$\alpha\phi$	Kurtosis ϕ
<u>8/P</u>	1,76	2,50	4,50	2,20	- 0,54	1,92
<u>8/M</u>	1,61	1,75	4,50	1,93	- 0,22	1,87

Todavia, o Desvio-Padrão das recolhas 8/P e 8/M é positivo, pelo que se afasta-da normalidade da curva, resultado de um agrupamento menor de sedimentos. A $\alpha\phi$ é indiciadora das texturas das partículas, sendo que esses valores negativos (8/P, - 0,58 e 8/M, - 0,22) demonstram assimetria no sentido das partículas grosseiras. Os valores da Kurtosis, demonstram uma curva achatada pela sua inferioridade à curva normal, ou seja, verifica-se uma curva platicúrtica (Tabela 8).

Considerando, a Figura 39, observa-se na Parcela P, 56,9 % de “Areia”, 29,3% de “Silte e Argila” e 13,8% de “Areão, e no que respeita a Parcela M, 70,1% é de “Areia”, 24,4% de “Silte e Argila” e apenas 5,5% de “Areão”.

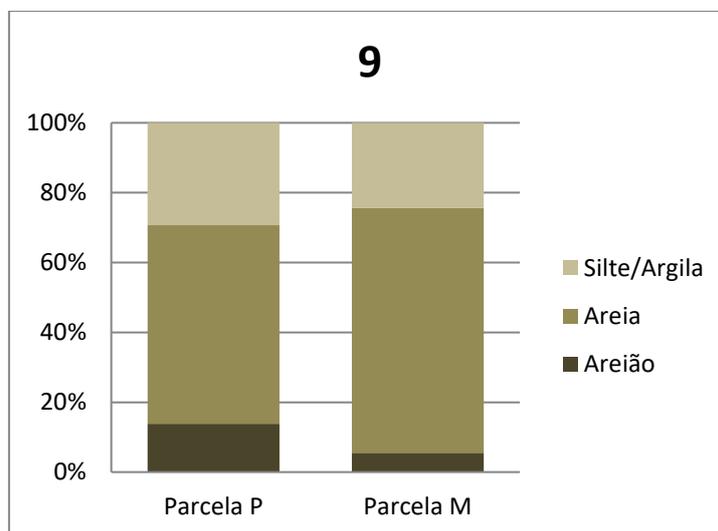


Figura 39 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Ago. 2015

Com uma Mo ϕ unimodal nas duas recolhas (Tabela 9), a recolha 9/P e a 9/M têm uma assimetria de valores à esquerda, pois os valores da Média são inferiores aos da Mediana. Tendo por base o valor da Md ϕ das duas recolhas, as características das texturas das recolhas é de

areias finas a muito finas (250 μm a 62 μm). O $\sigma\phi$ da recolha 9/P é 2,28 e da 9/M é 1,97, o que releva $\sigma\phi > 0$, isto é, um desvio padrão positivo e com um agrupamento de partículas menor.

Tabela 9 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Ago. 2015)

Recolha/Parcela	$M\phi$	$Md\phi$	$Mo\phi$	$\sigma\phi$	$\alpha\phi$	$Kurtosis\phi$
<u>9/P</u>	1,66	2,28	4,50	2,28	- 0,49	1,82
<u>9/M</u>	1,68	2,00	4,50	1,97	- 0,26	1,75

No entanto, a Assimetria ($\alpha\phi$) é em ambos os casos negativa (9/P, - 0,49 e 9/M, -0,26) o que indica um enriquecimento de elementos finos à esquerda da média. Já no que respeita a *Kurtosis*, verifica-se um valor de 1,82 na 9/P e de 1,75 na 9/M, o que demonstra valores inferiores à angulosidade normal da curva, pelo que se confirma, uma curva Platicúrtica.

A última recolha (Figura 40) é constituída na Parcela P por 57,9% de “Areia”, 28,8% de “Silte e Argila” e de 13,2% de “Areão” e na Parcela M 64,4% da amostra é “Areia”, 27,5% é “Silte e Argila” e 8,1% é “Areão”.

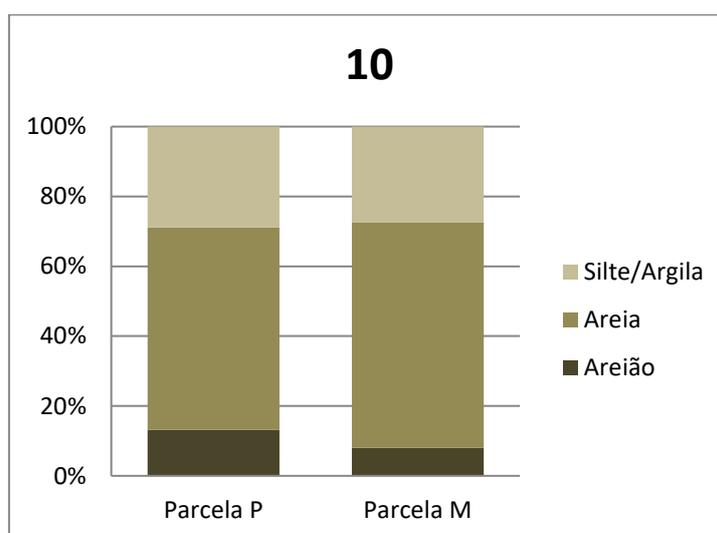


Figura 40 - Matéria mineral (%) das parcelas P e M - Set. 2015

O valor da $Mo\phi$ (Tabela 10) nas duas recolhas é de 4,50 ϕ e presente em apenas uma fração, pelo que é unimodal. A média e a mediana na recolha 10/P são de 1,69 e 2,33, respetivamente, já na 10/M é 1,66 ($M\phi$) e 2,00 ($Md\phi$), devido a $M\phi$ ser inferior a $Md\phi$ a distribuição está enviesada à esquerda e é assimétrica. Tendo em conta, os valores das classes texturais que a Md apresenta, verifica-se um solo com areias finas a muito finas (250 μm a 62 μm).

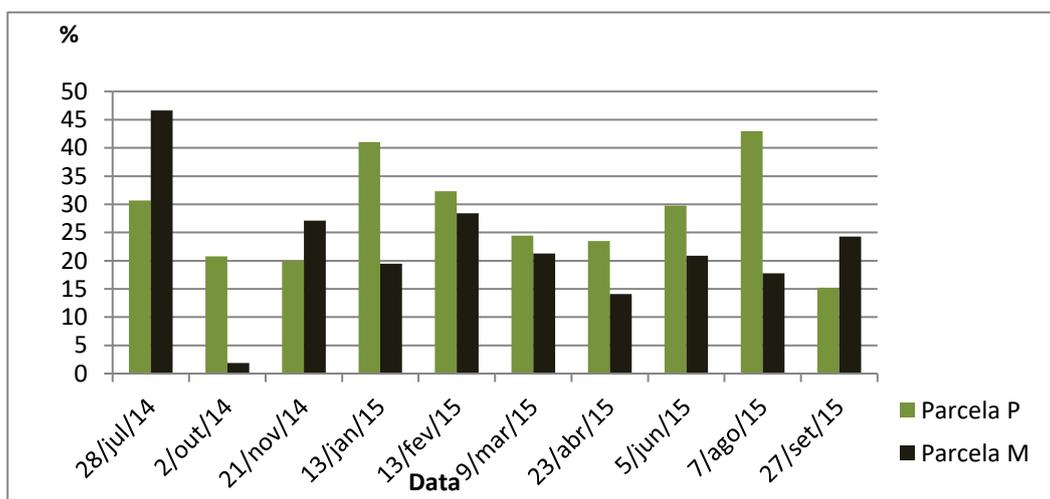
Tabela 10 - Amostra mineral - Parâmetros granulométricos (Set. 2015)

Recolha/Parcela	M $\bar{\sigma}$	Md $\bar{\sigma}$	Mo $\bar{\sigma}$	$\sigma\bar{\sigma}$	$\alpha\bar{\sigma}$	Kurtosis $\bar{\sigma}$
<u>10/P</u>	1,69	2,33	4,50	2,21	- 0,47	1,82
<u>10/M</u>	1,66	2,00	4,50	2,03	- 0,33	1,82

Contudo, o $\sigma\bar{\sigma}$ em 10/P é de 2,21 e em 10/M de 2,03, significa um afastamento à normalidade positivo e com centralização menor. A assimetria ($\alpha\bar{\sigma}$) aponta para uma convergência para as partículas finas, resultado do somatório das distâncias à esquerda da média, em que 10/P é - 0,47 e 10/M -0,33. A Kurtosis é nas duas recolhas de 1,82, sendo que o resultado inferior a 3 possibilita atestar um achatamento da curva e, por sua vez, considerar-se na presença de uma curva platicúrtica.

2.1.4. Matéria orgânica: diferencial entre a Parcela M e P

Nas recolhas efetuadas desde julho de 2014 até outubro de 2015 (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), verifica-se que a perda de MO na Parcela M registou o valor mais elevado nas recolhas de julho de 2014, fevereiro de 2015 e novembro de 2014 (46,7 %; 28,4% e 27,1%) e o valor mais reduzido de perda de MO na mesma parcela regista-se nas recolhas realizadas em outubro de 2014, abril de 2015 e agosto de 2015 (1,9%; 14,1% e 17,8%). Verifica-se uma tendência para aproximação das perdas, mas um decréscimo da perda de MO, subjacente a um aumento da perda de matéria mineral.



No

Figura 41 - Matéria orgânica presente nas Parcelas M e P

P o valor
perda MO

entanto, na Parcela
mais elevado de
registou-se em

agosto de 2015, janeiro de 2015 e fevereiro de 2015 (42,7%; 41% e 32,3%), e os valores mais

reduzidos de perda de MO foram nas recolhas de setembro de 2015, novembro de 2014 e outubro de 2014 (15,2%; 20% e 20,8%). A Parcela P apresenta uma perda de MO superior a 15%, não se registrando discrepâncias tão elevadas ao longo do período em análise comparativamente com a Parcela M.

2.2. Resultados

Na sua gênese, o solo da área apresenta-se como um solo franco-arenoso. O índice de erosão nas Parcela P e M apresenta valores de erosão bastante baixos para o período de um ano considerado neste trabalho.

A precipitação entre parcelas diferencia-se por cada período de recolha, pois um pluviômetro encontrava-se em área aberta – Parcela M (matos) - enquanto o outro se encontrava em área sob coberto – Parcela P (povoamentos Eucaliptos) - , daí existir uma menor quantidade de precipitação acumulada no pluviômetro situado junto à Parcela P. Contudo, os valores de escozência na Área de Estudo P são menores, em consequência da vegetação arbustiva (giestas e fetos, etc.) e arbórea (como os Eucaliptos), pois a interceção da precipitação pela vegetação, resulta num aumento da infiltração, devido a um tempo mais longo da “gota da chuva” até ao solo.

No entanto, ao observar-se a escozência e a precipitação em cada Parcela, constatamos que a escozência mais elevada corresponde ao valor mais elevado de precipitação. Este fenómeno não é equiparado em todos os momentos de recolha. Apesar dos valores de precipitação registados na Parcela P serem menores do que na Parcela M, os valores que correspondem à escozência da Parcela P apresentam uma variabilidade muito mais baixa do que na Parcela M, na qual os valores são mais discrepantes ao longo do período em análise e demonstram uma volatilidade 2 a 3 vezes superior nos períodos de maior precipitação.

Assim sendo, na Parcela P foram registados valores de escozência inferiores a 12 l/m² em 7 das recolhas, enquanto na Parcela M em 8 recolhas os valores são superiores a 12 l/m². De destacar os valores idênticos de escozência registados na 10^a recolha (setembro de 2015), no período estival. Depreende-se que este resultado se deva à seca dos matos contidos na Parcela P, logo menor índice de vegetação para “amparar” a gota da chuva.

A erosão verificada ao longo do período de análise aponta para uma elevada perda de solo nas três primeiras recolhas, tanto nas Parcela P como na M. Na Parcela P todos os valores registados são 2 a 5 vezes menores comparativamente com os três valores iniciais. Já a Parcela M, apresenta valores 8 vezes superiores na 2^a (outubro de 2014) e 3^a (novembro de 2014) recolhas. Os restantes dados, a exceção da 1^a recolha (julho de 2014), apresentam valores inferiores a 10 g/m². Contudo, comparando os valores de precipitação com a matéria erodida,

atesta-se que a precipitação por si só não valida os períodos de erosão, ou seja, precipitações mais abundantes não correspondem sempre a maiores quantidades de material erodido.

A matéria mineral foi sujeita à determinação da distribuição estatística dos sedimentos, com recurso ao “Método dos Momentos” e a “Método gráfico de Folk”. Resumiu-se os elementos de distribuição normal no Quadro VII, permitindo uma leitura generalizada das amostras. Com base no “Método dos Momentos” pode observar-se que o Desvio Padrão (σ) é positivo, indicando uma calibração menor das partículas em torno da média e representando uma curva que foge à normalidade. Já na Assimetria (α), à exceção da recolha n° 7 (abril de 2015), que apresenta um enriquecimento partículas grossas, todas as outras recolhas expõem um valor negativo, isto é, maior concentração de valores à esquerda da média, amostras maioritariamente com texturas finas. No que respeita às Curtoses (K), ainda no método numérico, são uma distribuição inferior ao ângulo da curva normal. Deste modo, a curva é achatada.

Quadro VII – Quadro síntese das análises estatísticas da matéria mineral pelo "Método dos Momentos" e de Folk

Recolha Nº	Parcela	Método dos Momentos			Folk		
		Σ	α	K	σ	α	Kg
2	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AG	Muito Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AS	Muito Platicúrtico
3	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	FAG	Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	-	AG	Muito Platicúrtico
4	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AG	Muito Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AG	Platicúrtico
5	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AS	Muito Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AS	Platicúrtico
6	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	-	FAG	Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AS	Platicúrtico
7	P	Positivo	Finas	Platicúrtica	--	FAF	Muito Platicúrtico
	M	Positivo	Finas	Platicúrtica	-	AS	Platicúrtico
8	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	FAG	Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AS	Platicúrtico
9	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	FAG	Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AG	Platicúrtico

Quadro VII– Quadro síntese das análises estatísticas da matéria mineral pelo "Método dos Momentos" e de Folk
(cont.)

Recolha Nº	Parcela	Método dos Momentos			Folk		
		Σ	α	K	σ	α	Kg
10	P	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	FAG	Platicúrtico
	M	Positivo	Grossas	Platicúrtica	--	AG	Platicúrtico
Legenda:		-- (muito mal calibradas) - (mal calibradas) FAF (fortemente assimétrica no sentido dos finos) FAG (fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros) AS (aproximadamente simétrica) AG (assimétrica no sentido dos grosseiros)					

Contudo, ao recorrer-se às estatísticas de Folk, estas permitem uma pormenorização das medidas de distribuição. No que respeita ao Desvio Padrão (σ), o método gráfico de Folk mostra que as amostras estão na maioria “muito mal calibradas” e a 3M, 6P e 7M estão “mal calibradas”. A Assimetria (α) define o enriquecimento da amostra em termos de partículas, e do observado para este critério, as recolhas na Parcela P demonstram uma tendência para a “fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros” ou com menor significado “assimétrica no sentido dos grosseiros”. Ainda assim, destaca-se a 7P com “fortemente assimétrica no sentido dos finos” e a 5P “aproximadamente simétrica”. No entanto, as recolhas na Parcela M revelam a presença de “assimetria no sentido dos grosseiros” ou amostras “aproximadamente simétricas”.

Neste contexto, as Curtoses (Kg) exibem uma curva achatada, inferior à angulosidade da curva normal, pelo que são designadas de Platicúrticas. Ressalva-se alguns valores em que a curva apresenta um achatamento mais vincado, Muito Platicúrtico.

Em suma, a matéria mineral das amostras apresenta na generalidade uma distribuição de partículas ao longo da escala de *phi* muito mal calibradas e texturas finas nas amostras da Parcela P e M. Porém, existem amostras da Parcela M com homogeneidade das texturas. Os valores da Curtose apresentam uma curva platicúrtica, o que releva o achatamento da curva e, por conseguinte, uma distribuição variável dos dados ao longo da escala de *phi*, isto é, menos concentração dos elementos em torno de algumas classes.

Todavia, a argila devido às suas propriedades coloidais é um elemento mineral importante no solo, sendo que uma perda deste mineral por escoamento superficial origina uma desagregação das partículas do solo. Assim sendo, ficou demonstrado que as maiores perdas de “Silte e Argila” na Parcela M verificaram-se na 3ª (novembro de 2014), 4ª (janeiro de 2015) e 10ª (setembro de 2015) recolhas (36%, 32% e 27,5%). Já no que respeita às menores perdas de “Silte e Argila” foram registadas na 7ª (abril de 2015), 5ª (fevereiro de 2015) e 6ª (março de 2015) recolhas (14,5%; 16,9% e 18,9%). Na Parcela P, as perdas de argila comparativamente com a Parcela M nunca foram superiores a 30%. Assinala-se a 8ª (maio de 2015), 9ª (julho de 2015) e 6ª recolha (29,7%; 29,3% e 28,7%) com perdas de “Silte e argila” mais elevada. No entanto, verifica-se uma perda de “Silte e argila” mais reduzida na 4ª, 7ª e 5ª recolha (18,7%; 18,8% e 19,7%). As perdas mais reduzidas de “Silte e argila” na Parcela P são mais elevadas do que perdas menores registadas na Parcela M.

Ponto de referência é a matéria mineral, das recolhas da Parcela M, que maioritariamente continham “Silte e Argila” e reduzida percentagem em “Areão”, inferior a 10%, excetuando-se a recolha nº 6. Por sua vez, a Parcela P detinha um ligeiro aumento do “Areão”, exceção feita à recolha nº 7 com a presença de “Areão” elevada. Apesar da maior percentagem de “Areão”, não se permite uma comparação válida, pois o volume de material erodido difere bastante.

Na análise à matéria orgânica presente no material erodido ao longo da vertente, demonstra-se que a Parcela P exibiu maior percentagem de matéria orgânica presente nas amostras recolhidas, estando em 9 das recolhas uma percentagem igual ou superior a 20 % (à exceção da 10ª recolha – setembro de 2015), sendo que quatro das 9 apresentaram uma percentagem de MO superior a 30% e inferior a 43%. Em contraponto, a Parcela M apresenta 9 recolhas com valores abaixo de 30% de MO, quatro das quais com valor inferior a 20% e a 1ª recolha (julho de 2014) é a única com valores superiores a 30% (registando 46%). Ressalva-se que as três primeiras recolhas em ambas as parcelas foram as que ostentavam maior perda de solo e maior escorrência, mas as perdas de MO não foram as mais elevadas nas três primeiras recolhas, à exceção da recolha 1M que registou o valor mais elevado de todas as recolhas da Parcela M. Neste sentido, pode-se concluir que se verificou uma maior perda de matéria mineral do solo comparativamente com a MO, uma vez que em todas as recolhas o valor de MO perdido foi inferior a 46%.

3. Discussão

O solo da Área de Estudo é um solo com características texturais arenoso-franco, franco-arenoso, franco ou franco-limoso (DRAEM, 1985), que comprovado com recurso a análise da superfície do solo, nos permite concluir que é um solo franco-arenoso. A área tem um relevo com um declive entre 20 a 25%, os autores referem que para desencadear movimentação de partículas do solo resultante apenas por ação do declive, o limiar de inclinação da vertente é de 30% (Rebelo e Campar de Almeida, 1986).

A perda de elementos do solo, como verificado no estudo-caso, da matéria mineral e da matéria orgânica, decorre da erosão hídrica no solo após aplicação de técnicas de fogo controlado. De referir que o fogo é responsável pela perda do coberto vegetal do solo, bem como pela possível perda do *horizonte O* ou A0 do solo, que tem como principais funções a retenção da humidade, o controlo da infiltração da água no solo e a proteção dos agregados do solo do impacto das gotas de chuva (Villas e Úbeda, 2013).

Porém, na Parcela M os valores da escorrência são próximos dos valores de precipitação, o que indica uma maior repelência no solo desnudado e conseqüente saturação do solo, resultando num maior aumento da escorrência. Quando ocorre um período de precipitação intensa onde o rácio de infiltração é excedido, o solo satura, dá-se a escorrência, promovido pela hidrofobicidade do solo e conseqüente lixiviação da camada de cinzas hidrófilas (diminuição drástica dos nutrientes no solo) (Neary *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2010). No entanto, a capacidade hidrofóbica do solo não é validada por todos investigadores. Shakesby *et al.* (2000), referidos em Vieira e Bento-Gonçalves (2015), questionam-se quanto ao risco de erosão estar diretamente relacionado com a repelência da água do solo.

Os valores de escorrência mais elevados verificaram-se nos períodos iniciais do estudo. Deste modo, o solo perdeu as suas propriedades orgânicas e minerais mais importantes na fase após os incêndios, pois é nos primeiros 4 a 6 meses após ocorrência do incêndio que se verifica uma maior perda de sedimentos e nutrientes (Soler *et al.*, 1994; Gimeno-Garcia *et al.*, 2007; Vieira e Bento-Gonçalves, 2015; Fernández e Vega, 2016). De referir que a maior quantidade de material erodido das parcelas se verificou de maio de 2014 a novembro de 2014. Na Parcela P, os valores registados nas restantes recolhas, comparativamente com as de maio a novembro de 2014, apresentam valores 2 a 5 vezes menor. Já a Parcela M apresenta valores 8 vezes superiores na

recolha de outubro de 2014 e novembro de 2014. Os restantes valores são inferiores a 10 g/m², à exceção da 1^a recolha (julho de 2014).

Refira-se, paralelamente, uma maior perda de matéria mineral do solo comparativamente com a MO, uma vez que em todas as recolhas o valor de MO perdido foi inferior a 46%. A argila, devido às suas propriedades coloidais, é um elemento mineral importante no solo, e a perda deste mineral por escorrência origina uma desagregação das partículas do solo. No entanto, alguns autores referem que os efeitos dos incêndios florestais e controlados incidem principalmente sobre a camada de MO em detrimento da matéria mineral (Neary *et al.*, 1999 e 2005; Catalanotti, 2009; Fontúrbel *et al.*, 2016).

Assim, em termos de argila, verificou-se na Parcela P perdas de argila inferiores a 30% comparativamente com a Parcela M, embora os valores mais baixos de “Silte e argila” na Parcela P sejam mais elevados do que os valores de argila mais baixos, registados na Parcela M. A argila é um dos principais elementos do solo, e apresenta uma constituição importante no que respeita às atividades químicas do solo. Apesar da dimensão reduzida da sua partícula para considerar-se um ião, este mineral juntamente com água produz carga elétrica, daí ser considerada um anião negativo (Cerqueira, 2001). A matéria orgânica (MO) do solo é um constituinte fundamental do solo e constitui a maior reserva de carbono (C) orgânico à superfície da terra (González-Vila *et al.*, 2009). Este constituinte determina as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e é responsável pela disponibilidade de nutrientes às plantas e ao desenvolvimento dos microrganismos do solo (Rosa *et al.*, 2013).

A matéria orgânica é responsável, sobretudo, no processo de agregação de materiais argilo-húmicos, pois, na sua generalidade, é composta por «*agregados menos consistentes nos estados secos e húmidos*» (Costa, 1985, pág. 316). Assim, a matéria mineral (silte e areia fina) é revestida por matéria orgânica decomposta e que na interação química proporcionada pelas partículas de argilas, conjuntamente com o óxido de ferro e alumínio, possibilita a agregação das partículas individuais, tornando os agregados estáveis à água (Brady e Weil, 2013).

No estudo de Fernández e Vega (2016), a maior perda de material erodido do solo pós-incêndio florestal verifica-se no primeiro outono e inverno após o incêndio (Soler *et al.*, 1994; Sanchez *et al.*, 1994). Isto é uma resposta típica na área de estudo, em que a precipitação abundante ocorreu nos primeiros meses após o incêndio, e provavelmente no primeiro ano após a ocorrência de incêndios florestais (Gimeno-Garcia *et al.*, 2007).

As perdas de solo, após incêndio florestal, podem ser elevadas durante os dois primeiros anos, tendendo a diminuir com o crescimento da vegetação (Hosseini *et al.*, 2016). No entanto, a resposta de regeneração da vegetação, nomeadamente do mato, em condições pós-incêndio florestal, é indetetável ainda após 18 meses de ocorrência do fogo. Hosseini *et al.* (2016) corrobora este fundamento, afirmando que no primeiro ano cresce apenas 7% e no segundo 49% da vegetação. Todavia, a utilização de fogo controlado, é salientado em vários estudos, ao verificar-se a redução da erosão pós-fogo logo no primeiro ano (Gimeno-Garcia *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2013; Fontúrbel, *et al.*, 2016). Na utilização de fogo controlado, Cerdà e Lasanta (2005) destacam a recuperação vegetativa superior a 50% no primeiro ano. Porém, Gimeno-Garcia *et al.* (2007) contrapõe que no primeiro ano verificou apenas a regeneração de 9 a 12% de matos, o que deste modo, não permite a redução da erosão pós-fogo.

Neste sentido, na Parcela M (Matos), a erosão e escorrência verificada no início do período em estudo, demonstra que a falta de vegetação e um solo desnudado é propício à perda dos constituintes e das propriedades mais importantes do solo, como a matéria orgânica e a matéria mineral fina (argila e silte), resultando na diminuição das propriedades coloidais do solo, o que, por sua vez, conduz a perda de nutrientes do solo. O estudo de Hosseini *et al.* (2016) releva que a precipitação de curta duração e intensa é favorável ao escoamento superficial e às perdas de solo, durante esses fenómenos. Ressalva ainda que os efeitos verificados no estado do solo dependem das condições ao longo do tempo e das condições pós-fogo do solo. De referir que a cobertura do solo e o teor de humidade afeta o escoamento e erosão.

Contudo, a presença de vegetação arbórea na Parcela P (Povoamentos) permite a formação de uma barreira contra a erosão hídrica e mesmo eólica, o que provocou a estabilização da escorrência ao longo do período de análise, não se registando discrepâncias tão elevadas entre os picos mais elevados e os mais baixos de escorrência. Como comprovado por Foth (1990); Hooke e Sandercock (2012) e Osman (2013), a vegetação intercepta a chuva e atenua o impacto do “pingo de chuva”; reduz a concentração de água na superfície do solo; aumenta da capacidade de infiltração; aumenta a rugosidade e assim reduz as velocidades de fluxo e transporte de sedimentos; aumenta a estabilidade do solo e, portanto, resistência à erosão; a raiz da vegetação promove a porosidade e os macroporos.

A cobertura vegetal, portanto, reduz a erosão do solo. No entanto, diferentes tipos de vegetação têm uma eficiência diferente no controlo da erosão do solo (Foth, 1990; Cerdá, 2002; Hooke e Sandercock, 2012; Osman, 2013; Hosseini *et al.*, 2016).

O índice de erosão registado na Parcela M foi de 2,34 ton/ha¹/ano¹ e na Parcela P de 0,24 ton/ha¹/ano¹, em áreas aridas com técnica de fogo controlado após um ano. De acordo com os mapas de erosão ICONA, a bacia do mediterrâneo é afetada por erosão hídrica quando os valores são superiores a 12 ton/ha¹/ano¹, sendo a erosão intensa quando o valor é > 50 ton/ha¹/ano¹ (PAP/RAC, 1997). Estudos da União Europeia (EU) avaliam a perda por erosão hídrica para os países da EU, e segundo Cerdan *et al.* (2010) para Portugal, em parcelas de erosão, o valor do índice de erosão é 1,6 ton/ha¹/ano¹. No entanto, com recurso a outro indicador, o PESERA, o índice de erosão hídrica em Portugal é de 4,6 ton/ha¹/ano¹ (Stolte *et al.*, 2016). Neste sentido, a erosão verificada nas parcelas instaladas, num solo sujeito a ação do fogo é baixo, uma vez que comparando com o índice de Cerdan *et al.* (2010), se verifica uma diferença de 0,7 ton/ha¹/ano¹. É importante realçar que este índice é aplicado ao país na sua totalidade, pelo que se baseia numa média e não tem em conta as especificidades do solo sujeito à ação do fogo.

Substantificando, a escorrência e a erosão quantificada na Parcela P foi menor, em quase todo o período de recolha, apresentando uma discrepância acentuada comparativamente com a Parcela M. Saliencia-se o fato de a primeira se encontrar sob coberto de povamentos de eucaliptos e a segunda em espaço aberto. No entanto, evidencia-se que a Parcela M foi submetida a uma técnica de fogo controlado de elevada intensidade e baixo tempo de residência da chama (Fernandes *et al.*, 2002; Bento-Gonçalves *et al.*, 2014), enquanto a Parcela P foi sujeita a um fogo de baixa intensidade, com tempo de residência mais prolongado e com uma chama de baixa proporção (Fernandes *et al.*, 2002; Bento-Gonçalves *et al.*, 2014), o que pode influenciar a regeneração do coberto vegetal, de herbáceas e vegetação arbustiva, no que respeita ao brotar das sementes. Moreno e Oechel (1991); Odion e Davis (2000) referidos em Fernández *et al.* (2013), destacam os poucos estudos referentes à regeneração das sementes após o contato com o fogo.

Os estudos que abordam os efeitos do fogo sobre a regeneração das sementes da vegetação arbustiva, comprovaram que a regeneração da planta diminui com o aumento da temperatura e a duração do tempo de residência do fogo (Fernández *et al.*, 2013). A utilização de fogo controlado na regeneração dos matos, é de acordo com o referido por diversos autores (*e.g.*: Vega *et al.*, 2005), sendo que o fogo com uma temperatura de solo baixa (37 a 73°C), não contribui

para que o aquecimento do solo que origine a destruição da semente e da vegetação. Por conseguinte, outros autores afirmam que no seu estudo o aquecimento da superfície do solo (150 °C) com um poder calorífico da chama atingir 500°C, verificaram uma redução da regeneração das sementes (Fernández *et al.*, 2013 citando Díaz-Fierros *et al.*, 1990; De Luis *et al.*, 2006; Odion e Davis, 2000).

Conclusões

A perda do solo por erosão é uma consequência natural (devidos aos fatores naturais endógenos e exógenos), mas os fatores antrópicos tendem a incrementar as suas consequências.

Considerando estes pressupostos, com a presente dissertação procurou-se abordar as temáticas da formação e constituição do solo, bem como as formas de erosão a que este se encontra sujeito, face à implementação de metodologias para a redução de combustível em áreas florestais. Para esse efeito, o principal objetivo resultante da aplicação metodológica prende-se com a avaliação dos resultados de uma queima experimental.

No contexto do estudo da erosão do solo, aplicaram-se técnicas de fogo controlado que são metodologias passíveis de implementar na gestão dos espaços florestais e legalmente enquadradas. Assim, utilizou-se técnicas de condução do fogo de flanco/lateral, em concordância com critérios definidos para a direção do vento, e condução de fogo “a favor” do declive e da direção do vento, em povoamentos de *Eucalyptus globulus* e em matos, tiveram como objetivo alcançar diferentes tipos de intensidade e severidade, considerando que os efeitos sobre a erosão do solo podem apresentar diferenças significativas.

A utilização de fogo controlado teve como objetivo a redução da matéria vegetal na área, de forma a reduzir o combustível, principal fator de ignição e de propagação de incêndios no período estival. Note-se, além disso, que o fogo controlado pode ser muito importante para a gestão dos espaços florestais, torna necessário acautelar os seus efeitos nas propriedades e perdas do solo.

A ocorrência de incêndios e, por consequência, as áreas aridas constituem-se como fatores adversos para o solo, além de terem consequências nefastas no ecossistema florestal. Portugal, pelas suas características bioclimáticas (Mediterrânicas), é frequentemente assolado pelos incêndios florestais. No entanto, o espaço florestal deve ser abordado como um suporte ecossistémico, para além do seu interesse económico.

A avaliação da perda da erosão revelou baixas taxas de perda, beneficiadas pela vegetação espontânea que permitiu reduzir o escoamento superficial e perdas de sedimentos do solo.

Neste sentido, a presença de vegetação forma uma barreira à erosão, pelo que a escorrência foi mais estabilizada ao longo do período de análise, na parcela sob coberto, que,

como já salientado, não se registaram discrepâncias tão elevadas entre os picos mais elevados e os mais baixos de escorrência, pois a vegetação, reduz a concentração de água na superfície do solo, aumenta a capacidade de infiltração e a rugosidade do solo. Deste modo, reduz as velocidades de fluxo e o transporte de sedimentos; aumenta a estabilidade do solo, pois promove a porosidade e a criação de macroporos.

O estudo efetuado à erodibilidade do solo com recurso a parcelas de erosão em eucaliptos e matos tem características pedogénicas e meteorológicas diferenciadas em relação aos estudos elaborados por outros autores. Porém, tendo em conta as evidências empíricas de outros estudos com características semelhantes (Cerdà, 2002; Fernández *et al.*, 2013; Hosseini *et al.*, 2016), as consequências verificadas no estudo efetuado são as expectáveis.

De referir que ao longo da presente investigação foram identificadas várias limitações, designadamente:

- i. Cada método de análise utilizado nesta investigação foi selecionado por uma razão específica, embora as técnicas de recolha de dados tenham de ser consideradas com alguma ponderação;
- ii. Os dados apresentados representam uma amostra de dados possíveis;
- iii. Restrições temporais de acesso ao local de estudo, pelo fato de ser propriedade privada;
- iv. Ausência de parcelas de controlo da erosão (permitiria a quantificação da erosão hídrica num solo não queimado);
- v. Inexistência de estudos dedicados ao mesmo tipo de solo.

De qualquer forma, os principais resultados corroboram que uma das técnicas a aplicar no planeamento e gestão florestal pode estar subjacente à utilização de técnicas de fogo controlado, com o objetivo de reduzir o combustível florestal. O recurso a técnicas de fogo controlado, além de ter um impacto benéfico na prevenção dos incêndios florestais permitiu obter um valor de erosão baixo, em ambas as parcelas, apesar da utilização de técnicas diferenciadas (técnica de flanco/lateral e "a favor"). Porém, o solo não sujeito a fatores incrementadores de erosão, não foi analisado, o que não permitiu obtenção do índice de erodibilidade do solo da área de estudo. Os índices de erosão das parcelas analisadas, obtidos neste estudo, apresentam valores

tão elevados quanto a erosão hídrica do solo (não sujeito a forças erosivas), comparativamente com resultados obtidos em outros estudos (*vide* Cap. III, 3).

Mais do que a apresentação de resultados e afirmações conclusivas às questões levantadas e aos objetivos de investigação delineados para este trabalho, esta investigação tem que ser vista como um contributo para o debate sobre o domínio da erosão hídrica após incêndios florestais. Em razão disso, considera-se que existem determinadas questões que permanecem em aberto. Neste cômputo, entre várias sugestões e recomendações para futuras investigações inerentes aos objetivos deste estudo pode salientar-se o seguinte: (i) a aplicação de medidas de mitigação de erosão em vertente nas parcelas da área de estudo podiam determinar algumas conclusões significativas relativamente aos procedimentos a tomar em caso de incêndio florestal em áreas com características similares e (ii) a avaliação da erosão num período de dois anos podia ser preponderante para a determinação da resposta de recuperação do solo a curto-prazo.

Apesar disso, a implementação de parcelas de controlo para quantificar e qualificar a erosão a que o solo é sujeito, mas também a análise química aos solos e a aplicação de métodos de análise da porosidade, de infiltração, de densidade e da resistência à penetração do solo são procedimentos que permitem uma análise mais completa da resposta do solo à erosão.

Bibliografia

- AFN/Lourenço, L.; Fernandes, S.; Bento-Gonçalves, A.; Castro, A.; Nunes, A. e Vieira, A. (2012) *“Causas de incêndios florestais em Portugal continental – Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010)”* Cadernos de Geografia, nº 3; FLUC, Coimbra;
- Albuquerque, R. e Fernandes, A. (2015) *“Floresta em Perigo”* in Jornal Público - <https://www.publico.pt/floresta-em-perigo> – acessado em 07/10/2015;
- Almendros, G.; Polo, A.; Ibanez, J.J. e Lobo, M.C. (1984) *“Contribucion al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. I: Transformaciones del humus en un bosque de Pinus pinea del centro de España”* Rev Ecol Biol Sol, 21; pág. 7 – 20;
- Alveirinho Dias, J. M. (2004) *“A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: Uma introdução à oceanografia geológica”* - http://w3.uaig.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html – acessado em 15/05/2016;
- Archégui, V.; Lozano, E. e Jiménez-Dimilla, P. (2013) *“Efectos del fuego en las propiedades físicas del suelo”* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/04;
- Arduini, I; Kettner, C.; Godbold, D. L.; Onnir, A.; Stefani, A. (1998) *“Ph influence on root growth and nutriente uptake of Pinus pinaster seedlings”* Chemosphere; Vol. 36, nº 4-5; pág. 733-738;
- Bárcenas-Moreno, G. e Diaz-Ravinã, M (2013) *“Efectos del fuego sobre los microorganismos del suelo”* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/07;
- Baretta, D.; Santos, J.C.P.; Segat, J.C.; Geremia, E.V.; Oliveira Filho, L.C.I. de e Alves, M.V. (2000) *“Fauna edáfica e qualidade do solo”* Tópicos especiais em ciência do solo (Klauber F.; Mafra, A.L.; Gatiboni, L.C. Eds.); Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; pág. 141-192;
- Batista e Silva, F. (2011) *“Land function – origin and evolution of the concept”* Cadernos do curso de doutoramento em geografia, FLUP;
- Bautista, S.; Morgado, R. e Moreira, F (2010) *“A extração da madeira queimada após os incêndios florestais”* in Ecologia do Fogo; Capítulo VIII; ISAPress, Lisboa; pág. 121-139;
- Begonha, A. e Teles, M. (2001) *“Geologia”* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, U.P.; Porto;

- Bento-Gonçalves, A. J. (2011) *“Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha – o caso da Serra da Cabreira”* Fundação Calouste Gulbenkian, FCT;
- Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A. e Ferreira-Leite, F. (2011) *“Adaptação aos efeitos derivados das alterações climáticas: A Floresta e as mudanças climáticas no Ave”* AMAVE; Guimarães;
- Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A.; Castro, A. M.; Fonte, C.; Bessa, P. e Borges, A. (2014) *“Efeitos do fogo no solo, na sequência de uma queima experimental – síntese metodológica”* III Congresso Internacional, I Simpósio ibero-americano e VIII Encontro Nacional de Riscos – Multidimensão e Territórios de Risco, Resumos, RISCOS;
- Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A.; Úbeda, X.; Martín, D. (2012) *“Fire and Soils: Key concepts and recent advances”* Geoderma, 191; pág. 3-13;
- Biro, Y. e Lacaze, J. F. (1993) *“A Floresta”* Instituto Peaget, BBCC, Lisboa;
- Bloom e Epstein, (2006) *“Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas”* 2ª Edição; Editora Planta;
- Boix-Fayos, C.; Martínez-Mena G. M. D.; Arnau, E. R.; Calvo-Cases, A.; Sánchez, V. M. C. e Montoro, J. D. (2006) *“Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation”* Earth Science Reviews 78(3-4); Elsevier; pág. 267-285;
- Boyd, D. (2000) *“Eucalyptus globulus”* Invasive Plants of California's Wildlands, University of California Press, Berkeley; pág. 182-187;
- Brady, N. C. e Weil, R. R. (2013) *“Elementos da natureza e propriedades do solo”* 3ª Edição; Bookman Editora; Porto Alegre, Brasil;
- Brais, S.; David, P.; Owimet, R. (2000) *“Impacts of wild fire severity and salvage harvesting on nutrient balance of jack pine and black spruce boreal stands”* Forest Ecology and Management, 137; Elsevier; pág. 231-243;
- Breemen, N. e Burman, P. (2002) *“Soil formation”* Laboratory of Soil Science and Geology; 2ª Edição; Klumer Academic Publishers;
- Brown, A.A. e Davis, K.P. (1973) *“Forest fire: Control and use”* 2ª Edição; McGrawHill Book Company; NY;
- Brown, J. M. (2000) *“Introduction and Fire regimes”*; Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Flora; Chapter 1, Vol. 2; USDA – Forest Service; Rocky Mountain Research Station;
- Brum Ferreira, A. (2005) *“Geografia de Portugal - Estruturação geológica do território”* in Geografia de Portugal (Dir. Medeiros, C. A.); Círculo de Leitores e Autores, Vol. 1; pág 56 -102;

- Buol, S.W.; Southard, R. J.; Graham, R. C. e McDaniel, P. A. (2011) *“Soil genesis and classification”* 6ª Edição; Wiley-Blackwell, USA;
- Byram, G. M. (1948) *“Vegetation temperature and fire damage in the southern pines”* Fire Control Notes, 1; USDA Forest Service; pág. 35-36;
- Cammeraat, E.L.H., 2004. *“Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain”* Agriculture, Ecosystems and Environment, 104; pág. 317–332;
- Campar de Almeida, A.; Nunes, A. e Figueiredo, A. (2009) *“Mudanças no uso do solo – no interior Centro e Norte de Portugal”* Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra;
- Cantón, Y.; Domingo, F.; Solé-Benet, A. e Puigdefábregas, J. (2001) *“Hydrological and erosion response of a badland system in semiarid SE Spain”* Journal of Hydrology, Vol. 252; pág. 65–84;
- Carballas, T.; Martín, A. e Díaz-Ravinã (2009) *“Efecto de los incendios forestales sobre los suelos en Galicia* Efectos de los incêndios forestales sobre los suelos en España; Cátedra divulgación de la Ciencia; Universitat de València, España;
- Catalonotti, A. E. (2009) *“Effects of prescribed burning on soil and vegetation”* Ph.D. Thesis; D.F.S.B, University of Naples Federico II;
- Catry, F. X.; Pausas, J. G.; Moreira, F.; Fernandes, P. M. e Rego, F. (2013) *“Post-fire response variability in Mediterranean Basin tree species in Portugal”* International Journal of Wildland Fire, 22; pág. 919-932;
- Catry, F. X.; Silva, J. S. e Fernandes, P. (2010) *“Efeitos do fogo na vegetação”* Ecologia do Fogo; Capítulo V; ISAPress, Lisboa; pág. 49-85;
- Cerdà, A. (2002) *“The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain”* Journal of Arid Environments, 52; Elsevier; pág. 319–337;
- Cerdà, A. e Lasanta, T. (2005) *“Long-term erosional responses after fire in The central spanish pyrenes: 1. Water and sediment yield”* Catena, 60; Elsevier, pág. 59-80;
- Cerdan, O.; Govers, G.; Le Bissonnais, Y.; Van Oost, K.; Poesen, J.; Saby, N.; Gobin, A.; Vacca, A.; Quinton, J.; Auerswald, K.; Klik, A.; Kwaad, F.J.P.M.; Raclot, D.; Ionita, I.; Rejman, J.; Rousseva, S.; Muxart, T.; Roxo, M.J. e Dostal, T. (2010) *“Rate and spatial variation of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data”* Geomorphology, 122; pág. 167–177;
- Cerqueira, J. (2001) *“Solos e Clima em Portugal”* 2ª Edição, Clássica Editora;

- Certini, G (2005) *"Effects of fire on properties of forest soils: a review"* Oecologia. 143 (1); pág. 1–10;
- Clark, B. (2001) *"Soil, Water and Watersheds"* Fire Effects Guide; Chapter V; National Wildfire Coordinating Group, USA;
- Coelho, C.O.A.; Ferreira, A.D.J.; Boulet, A.K. e Keizer, J.J.K. (2004) *"Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires"* Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 37; pág. 233-240;
- Cortez, N. (2007). *"Solo – Recurso a Preservar no Âmbito do Ordenamento do Território"* Arquitectura e Vida;. http://www.isa.utl.pt/ceap/index_files/AV_Solo.pdf acedido em 25/11/2015;
- Costa, J. B. (1985) *"Caracterização e constituição do Solo"* 6ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa;
- Cremer, K. W. (2004) *"Effects of fire on vegetation – Dilemmas for prescribed nurning in Australian"* Biodiversity, Australian;
- Daveau, S. (2000) *"A posição geográfica e o território"* Geografia de Portugal (Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S.- Org.); Vol. I, 5ª Edição; Edições João Sá da Costa, Lisboa;
- DeBano, L. F. e Deary, D. G. (2005) *"Its importance, characteristics and general responses to fire"* Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water; Part A - The Soil Resource, Vol. 4; USDA – Forest servisse; Rocky Mountain Research Station;
- DeBano, L.F.; Neary, D.G. e Ffolliott, P.F. (1998) *"Fire's Effects on Ecosystems"* Wiley; NY;
- DeBano, L.F.; Savage, S.M. e Hamilton, D.A. (1976) *"The transfer of heat and hydrophobic substances during burning"* Soil Science Society of America Journal, 40; pág. 779–782;
- Delgado, Carlos (2013) *"Paisagens multifuncionais e alterações dos usos dos solos no Noroeste de Portugal"* Cadernos de Doutoramento em Geografia, FLUP (<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/11453.pdf>);
- Di Gregorio, A. e Jansen, L.J.M. (1998) *"Land cover classification system: classification concepts and user manual for software version"* FAO, Rome;
- Dlapa,P.; ChenKová, K.; Mataix-Solera, J. e Simkobic, I. (2012) *"Soil profile improvement as by product of gully stabilization measures"* Catena, 92; pág. 155-161;
- Doerr, S. H. e Shabesky, A. C. (2009) *"Soil water repellency – Principles, causes and revelance in fire affected enviroments"* Efectos de los incêndios forestales sobre los suelos en Españã, Cátedra divulgacioón de la Ciencia; Universitat de València, Españã;

- Doerr, S. H.; Shakesby, R. A.; Walsh, R. P. D. (1996) *“Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburned Eucalyptus globulus and Pinus Pinaster forest terrain in the Águeda basin, Portugal”*; Catena 27; pág. 25-47;
- DRAEDM (1985) *“Carta dos Solos e Carta de Aptidão da Terra de Entre-Douro e Minho: Memórias”* Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho;
- DUDF (2012) *“Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI) – Guia Técnico”*, Autoridade Nacional da Floresta, Abril;
- FAO (1995) *“Planning for sustainable use of land resources. Towards a new approach”* FAO Land and Water Bulletin; n 2; Rome;
- Fernandes, M. M. (1994) *“Mecânica dos Solos”* Volume 1, FEUP
- Fernandes, P.; Botelho, M. e Loureiro, C. (2002) *“Manual de Formação para a técnica de fogo controlado”* Departamento Florestal, UTAD; Vila Real;
- Fernández, C. e Vega, J. A. (2016) *“Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain”* Forest Ecology and Management, 375; Elsevier; pág. 46-54;
- Fernández, C.; Vega, J. A. e Fontúrbel, T. (2013) *“Does fire severity influence shrub resprouting after Spring prescribed burning ?”* Acta Oecologia, 48; Elsevier; pág. 30-36;
- Fernández, M. F.; Key, M. X. G.; Prieto, S. J. G. (2015) *“Effects of fire and three fire-fighting chemicals on main soil properties, plant nutrient content and vegetation growth and cover after 10 years”* Science of The Total Environment, 515-516; Elsevier; pág. 92-100;
- Ferreira, A. D.; Alegre, S. P.; Carvalho, T.; Silva, J. S.; Pinheiro, A. Q.; Coelho, C. (2010) *“Estratégias e técnicas de conservação do solo e da água após incêndios”* Ecologia do Fogo; Capítulo X; ISAPress, Lisboa; pág. 229-249;
- Ferreira, A. J. D.; Coelho, C. D. A.; Ritsema, C. J.; Baulet, A. K. e Keizer, J. P. (2008) *“Soil and Water degradation processes in burned areas: lessons learned from a nested approach”* Catena, 74; Elsevier; pág. 273-285;
- Ferreira-Leite, F.; Bento-Gonçalves, A.; Lourenço, L.; Úbeda, X. e Vieira, A. (2013) *“Grandes incêndios florestais em Portugal continental como resultado das perturbações nos regime do fogo no mundo mediterrâneo”* Sílvia Lusitânia, Especial, 1-9; Portugal; pág. 129-144;
- Fontúrbel, M. T.; Fernández, C. e Vega, J. A. (2016) *“Prescribed burning versus mechanical treatments as shrubland management options in NW Spain: Mid-term soil microbial response”* Applied Soil Ecology, 107; Elsevier; pág. 334-346;

- Foth, H. D. (1990) *“Fundamentals of soil science”* 8ª Edição; John Wiley & Sons; USA;
- Frost, C. C. (2000) *“Studies in Landscape fire ecology and presentlement vegetation of the southeastern United States”* Tese de Douturamento; University of North Carolina, USA;
- Gimeno-Garcia, E.; Andreu, V. e Rubio, J. L. (2007) *“Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland”* Catena, 69; Elsevier; pág. 150-160;
- Gomes, A. M. A. (2014) *“Análise Espaço - Temporal de parâmetros químicos em compartimentos do ciclo de nutrientes em montados de sobro – Relação com estado vegetativo dos sobreiros”* Pedon, nº 20; Setembro, Lisboa; pág. 32-33;
- González-Vila, F. J.; Almendros, G.; González-Pérez, J. A., Knicker, H.; González-Vásquez, R.; Hernández, Z.; Piedra-Buena, A. e De la Rosa, J. M. (2009) *“Transformaciones de la matéria orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio”* Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España, Cátedra divulgación de la Ciencia; Universitat de València, Espanha;
- Grimm, M.; Jones, R.J.A. e Montanarella, L. (2002) *“Soil Erosion Risk in Europe”* Official Publications of the European Communities, Luxembourg;
- Guerreiro, M. G. (1956) *“A Floresta Portuguesa”* Campanha Nacional de Educação para Adultos, Lisboa;
- Hooke, J. e Sandercock, P. (2012) *“Use of vegetation to combat desertification and land degradation: Recommendations and guidelines for spatial strategies in Mediterranean lands”* Landscape and Urban Planning, 107; Elsevier; pág. 389– 400;
- IFN5 (2005) *“Relatório Final do 5.º Inventário Florestal Nacional (IFN5)”* ICNF - <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/ifn5/rel-fin>;
- IFN6 (2013) *“Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares”* ICNF, I.P., Lisboa - <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/ifn6-res-prelimv1-1>;
- Imeson, A. e Curfs, M. (2014) *“Erosão do Solo”* Série Fascículo: B; Nº 1; (<http://docplayer.com.br/8154471-Erosao-do-solo-anton-imeson-michiel-curfs-serie-do-fasciculo-b-numero-1.html>) - acedido em 20/11/2014;
- INMG (1990) *“Normais climatológicas da região de «Entre Douro e Minho» e «Beira Litoral», correspondentes a 1951 – 1980”* O Clima de Portugal; Fasc. XLIX; Vol. 1; Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa;

- Jackson, W. L.; Knoop, K.; Szalona, J. e Hudson, S. (1895) *"A runoff and soil-loss monitoring technique using paired plots"* Technical Note 368; USDI – Bureau of Land Management; USA;
- Jansá, M. F. (2008) *"Métodos de campo"* Seminário de Investigação em Geografia Física; Universidade do Minho;
- Jordán, A.; Zavla, L. M.; González, F. A.; Bárcenas-Moreno, G. e Mataix-Solera, J. (2010) *"Repelencia al agua en suelos afectados por incendios: métodos sencillos de determinación e interpretación"* Actualización en Métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales; Cátedra divulgación de la Ciencia; Universitat de València, Espanha;
- Keeley, J. E. (2009) *"Fire intensity and fire severity terminology"* Publication Brief for Resource Managers Western Ecological Research Center – USGS;
- Keeley, J. E. (2009a) *"Fire intensity, fire severity and burn severity: brie review and suggested usag"* International Journal of Wildland Fire, 18; pág 116-226;
- Keeley, J.E. e Zedler, P.H. (1998) *Evolution of life histories in Pinus - In Ecology and Biogeography of Pines*; Cambridge University Press, 219-251;
- Keizer, J.; Djuma, H. e Prasuhn, V. (2016) *"Soil erosion by water"* in Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services (Stolte, J., *et al.*; Eds.); RECARE project, EC;
- Knoepp, J. D.; De Bano, L. F.; Neary, D. G. (2005) *"Soil chemistry"* Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water; Chapter 3, Vol. 4; USDA – Forest servisse; Rocky Mountain Research Station;
- Lautensach, H. (2000) *"As características fundamentais da geomorfologia"* Geografia de Portugal (Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S.- Org.); Vol. 1; Edições João Sá da Costa, Lisboa; pág. 121-164;
- Lautensach, H. (2000a) *"Portugal no contexto ibérico"* Geografia de Portugal (Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S.- Org.); Vol. 1; Edições João Sá da Costa, Lisboa; pág. 5-22;
- Lepsch, Igo F. (1977) *"Solos - formação e conservação"* Edições Melhoramentos, Instituto Nacional do Livro – MEC, Editora da Universidade de São Paulo;
- Lourenço, L. (1990a) *"Efeitos do temporal de 23 de Junho de 1988 na intensificação da erosão das vertentes afectadas pelo incêndio florestal de Arganil-Oliveira do Hospital"* Comunicação apresentada ao Seminário Técnico sobre Parques e Conservação da Natureza nos países do Sul e da Europa, Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra;

- Lourenço, L. (1990b) *“Impacte ambiental dos incêndios florestais”* Comunicação apresentada na III Semana da Geografia Física, 2 a 5 de Abril de 1990; Cadernos de Geografia, 9; Coimbra; pág. 143-150;
- Lourenço, L.; Fernandes, S.; Bento-Gonçalves, A.; Castro, A.; Nunes, A.; Vieira, A. (2012) *“Causas dos incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010)”* Cadernos de Geografia nº30/31; FLUC, Coimbra; pág. 61 a 80;
- Lourenço, L.; Serra, G.; Moto, L.; Paúl, J. J.; Correia, S.; Parola, J. e Reis, J. (2006) *“Manual de Combate a incêndios florestais para equipas de primeira intervenção”* Cadernos Especializados da ENB, 1; 3ª Edição; Escola Nacional de Bombeiros;
- Lozano, E e Jiménez-Dimilla, P. (2013) *“Intensidade y severidade del fuego”* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/01;
- Mahaffey, L. e Miller, H. (2012) *“Air Quality”* Fire Effects Guide, Chapter IV; National Wildfire Coordinating Group, USA;
- Mataix-Solera, J.; Cerdà, A.; Arcenegui, V. ; Jordán, A. e Zavala, L. M. (2011) *“Fire effects on soil aggregation: A review”* Earth-science Reviews, 109; Elsevier; pág. 44-60;
- McRae, D. J. (2005) *“Use of experimental prescribed fires in building future knowledge bases for fire management decision-making”* International Forest Fires News 32 – January to June; pág. 78 – 82;
- Medeiros, C.A.; Pereira, E. e Moreira, A. (1980) *“Notícia Explicativa da Folha 9-D, Penafiel”* Carta Geológica de Portugal; DGGM – Serviços Geológicos de Portugal; Lisboa;
- Meneses, Bruno M. C. S. (2011) *“Erosão hídrica do solo – caso de estudo do concelho de Tarouca”* Dissertação de Mestrado em Gestão do Território - Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica; Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa;
- Monteiro-Henriques, T. (2010) *“Fitossociologia e paisagem da bacia hidrográfica e do rio Paiva”* Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa;
- Montiel, C. e Kraus, D. (2010) *“Best practices of fire use – prescribed burning and suppression fire programmes in selected case-study regions in Europe”* European Forest Institute Research Report 24; European Forest Institute;

- Moreira, F.; Fernandes, P.; Silva, J. S.; Pinho, J. e Bugalho, M. (2010) *“Princípios de gestão para minimizar impactos de incêndios florestais”* Ecologia do Fogo; Capítulo VI; ISAPress, Lisboa; pág. 85-;
- Moreira, M. E. e Neto, C. S. (2005) *“Geografia de Portugal – A vegetação”* Círculo de Leitores e Autores, Vol. 1; pág. 441-468;
- Moya D, Ferrandis P, de las Heras J. (2013) *“Efectos del fuego sobre las comunidades vegetales”* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED), Ficha técnica FGR2013/06;
- Neary D. G.; Landsberg, J. P.; Tiedmann, A. R. e Ffolliot, P. F. (2005) *“Water Quality”* Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water; Chapter 6, Vol. 4; USDA – Forest service; Rocky Mountain Research Station;
- Neary, D. G. e Ffolliot, P. F. (2005) *“Its importance, characteristics and general responses to fire”* Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water; Part B - The Water Resource, Vol. 4; USDA – Forest service; Rocky Mountain Research Station;
- Neary, D. G.; Klopatek, C. C; De Bano, L. F.; Ffolliot P. F (1999) *“Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis”* Forest Ecology and Management, 137; Elsevier; pág. 51-71;
- Nunes, A.; Lourenço, L.; Bento-Gonçalves, A. e Vieira, A. (2013) *“Três décadas de incêndios florestais em Portugal – incidência regional e principais fatores responsáveis”* Cadernos de Geografia, nº 3; FLUC, Coimbra;
- Oliveira, M. E. e Silva, I. L. (1994) *“Efeitos do Fogo sobre o solo”* Floresta e Ambiente, Ano I; pág. 142-144;
- Oliveira, Mariana F. (2001) *“Modificações do uso do solo - A Serra da Penha”* (Relatório Final de Investigação); Secção de Geografia, Instituto de Ciências Sociais, UM; Guimarães;
- Osman, K. T. (2013) *“Soils: Principles, Properties and Management”* Springer;
- Pamplona, J. (2001) *“Tectónica da antiforma de Viana do Castelo-Caminha (ZCI): regime de deformação e instalação granitoides”* Tese de Doutoramento; Cap. I; pág. 30-49;
- PAP/RAC (1997) *“Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas”* MAP/UNEP;
- Partidário, M. R. (1999) *“Introdução ao ordenamento do território”* Universidade Aberta; Lisboa;
- Pausas, J. G. (2012). “Incendios Forestales”. CSIC; Ministerio de Economía y Competitividad; Catarata, Madrid;

- Pereira, P.; Bodi, MB; Úbeda, X.; Cerdá, A.; Mataix-Solera, J.; Baifour, V; Woods, S. (2010) “*Las cenizas y el ecosistema suelo*” Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales; Càtedra de Divulgació de la Ciència; Universitat de Valencia, Valencia, pág. 345-398;
- Pereira, P.e Bodí, M. B. (2013) *Las cenizas y su impacto en el suelo*. Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED), Ficha técnica FGR2013/02;
- Petan, S.; Taveira-Pinto, F.; Miko, M e Pais-Barbosa, J. (2010) “*Modelação da erosão do solo da bacia hidrográfica do rio Leça, com a equação RUSLE e SIG*” Revista Recursos Hídricos, 1; APRH; Vol. 3; Março; pág. 99-110;
- Ponce-Alvares, M. T. e Pimenta, M. T. (1998) “*Erosão hídrica e transporte sólido em pequenas bacias hidrográficas*” IV Congresso da Água, Março, 1998 (<http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/149.pdf>);
- Rebelo, F. e Campar De Almeida, A. (1986) “*Quadriculagem ou áreas homogéneas na elaboração de mapas de declives: duas metodologias em confronto*” Actas do IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra; pág. 867-873;
- Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED), Ficha técnica FGR2013/02;
- Reinert, J. D. e Reichert, J. M. (2006) “*Propriedades físicas do solo*” Centro de Ciências Rurais - Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria, Brasil;
- Ribeiro, O. (1999) “*O ritmo climático e a paisagem*” Geografia de Portugal (Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S.- Org.); Vol. II, 4ª Edição; Edição João Sá da Costa; Lisboa;
- Robichaud, P. R. (2009) “*Fire effects on soils and restoration strategies –using erosion baniers for post-fire stabilization*” Land Reconstruction and Management, 5, Oxford, U.K.; pág. 337-352;
- Robichaud, P. R.; Beyers, J. L.; Neary, D. G. (2005) “*Watersheed rehabilitation*” Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water; Chapter 10, Vol. 4; USDA – Forest servisse; Rocky Mountain Research Station;
- Rosa, J. M.; Almendros, G.; Knicker, H.; Hernández, Z.; Arias, E. e Gonzáles-Vila, F. J. (2013) *Investigaciones recientes sobre el impacto del fuego en la materia orgánica del suelo*” Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/09;

- Ryan, K. e Noste, N. (1985) *"Evaluating prescribed fires"* in Proceedings - Symposium and Workshop on Wilderness (Lotan, J.E. *et al.*; *tech. coord*); USDA; pág. 230-238;
- Sánchez, J. R.; Mangas, V. J.; Ortiz, C. e Bellot, J. (1994) *"Forest fire effect on soil chemical properties and runoff"* in Soil erosion and as a consequence of forest fires (Sala, M. e Rubio, J. L.; *Eds.*) Geoforma Ediciones; Logroño; pág. 53-66;
- Sandberg, D. V.; Ottman, R. D.; Peterson, J. L. e Core, J. (2002) *"Effects of fire on Air"* Wildland Fire in Ecosystems – Effects of Fire on Air; Vol. 5; USDA – Forest service; Rocky Mountain Research Station;
- Schaetzl, R.J. e Anderson, S. (2005) *"Soil Genesis and Morphology"* Cambridge University Press; New York;
- Schoeneberger, P. J. (2002) *"Field book for describing and sampling soils"* Version 3.0.; Government Printing Office;
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., e Broderson, W.D. (2002) *"Field book for describing and sampling soils"* Versão 2.0, Natural Resources Conservation Service; National Soil Survey Center, NE;
- Shakesby, A. R.; Walsh, R. P.D. e Coelho, C.O.A. (1991) *"New Developments in Techniques for Measuring Soil Erosion in Burned and Unburned Forested Catchments, Portugal"* Suppl. Bd.83, Berlim; pág. 161-174;
- Sham, C. H.; Tucillo, M. E. e Rooket, J. (2013) *"Effects of wildfire on drinking water utilities and best practises for wildfire reisk reduction and mitigation"* Water Research Foundation, USA;
- Sheet, I. J. (2009) *"Prescribed burning"* Conservation Practicse 338, August 2009; USDA – Forest service; Rocky Mountain Research Station;
- Silvério, M. A. R. (2000) *"Erosão hídrica do solo na Serra da Aboboreira"* Dissertação de Mestrado; FLUP, Porto;
- Soler, M.; Sala, M. e Gallart, F. (1994) *"Post fire evolution of runoff and erosion during on eighteen month period"* in Soil erosion and as a consequence of forest fires (Sala, M. e Rubio, J. L.; *Eds.*); Geoforma Ediciones; Logroño; pág. 149-162;
- Sommers, W. T.; Coloff, S. G. e Conard, S. G. (2011) *"Synthesis of Knowledge: Fire History and Climate Change"* JFSP Synthesis Reports; Paper 19;
- Soto, B.; Benito, E. e Diaz-Fierros, F. (1991) *"Heat-induced degradation processes in forest soils"* Int. J. Wildland Fire 1 (3); Fire Research Institute, USA; pág. 147-152;

- Tiedemann, A.R.; Conrad, C.E.; Dieterich, J.H.; Hornebeck, J.W.; Megahan, W.F.; Viereck, L.A. e Wade, W.W. (1979) *"Effects of fire on water: a state-of-knowledge review"* USDA Forest Service; USA;
- Vallejo, R. e Moreira, F. (2010) *"Conceitos de restauro ecológico e planeamento da gestão florestal pós-incêndio"* Ecologia do Fogo; Capítulo V; ISAPress, Lisboa; pág. 121-139;
- Varela, M. E. e Benito, E. (2013) *"Repelencia al agua en suelos afectados por el fuego"* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/08;
- Veloso, J. F. (2001) *"Considerações sobre análise granulométrica de sedimentos praias"* Tese de Mestrado; COPPE/UFRS; Rio de Janeiro;
- Vieira, A. e Bento-Gonçalves, A. (2015) *"Investigação sobre erosão e degradação dos solos afetados por incêndios florestais"* in II Simpósio de Pesquisa em Geografia (Vieira, A. e Costa, F.; Orgs.); Departamento de Geografia da Universidade do Minho; pág. 33-49;
- Vieira, A.; Bento-Gonçalves, A.; Lourenço, L. e Nunes, A. (2012) *"Medidas de mitigação da erosão em canais: aplicação em áreas ardidas do NW de Portugal"* Revista GeoNorte, Edição Especial, 4; Vol. 1; pág. 800-815;
- Villas, D. B. e Dalmau, C. M. (2009) *"Zona afectadas por incendios forestales. Estudio de casos en el valle mediano del Ebro"* Efectos de los incêndios forestales sobre los suelos en Espana,, Cátedra divulgación de la Ciencia; Universitat de València, Espanã;
- Villas, D. B. e Úbeda, X. (2013) *"Consecuencias hidrológicas y erosivas de um incendio florestal"* Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED); Ficha técnica FGR 2013/05;
- Wagener, W. W. (1961) *"Guidelines for estimating the survival of fire-damaged trees in California"* USDA Forest Service;
- Wiend, (2007) *"Informações agronômicas"* nº 117; Março de 2007 - [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/FE8C56C221AE2CCD83257AA10061752D/\\$FILE/Parte-Toni.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/FE8C56C221AE2CCD83257AA10061752D/$FILE/Parte-Toni.pdf) – acedido em 04/02/2015
- Woods, S. W. e Balfour, V. N. (2010) *"The effects of soil texture and ash thickness on the post-fire hydrological response from ash-covered soils"* Journal of Hydrology, Vol. 393; pág. 274–286;

Zwolinski, J. B. e Donald, D. M. G (1995) *"Differences in vegetation cover resulting from various methods of site preparation for pine plantations in South Africa"* Annales des sciences forestieres, 52; INRA/EDP Sciences; pág. 365-374.

Legislação

Decreto-Lei N° 156/2014, de 30 de Junho publicado em Diário da República Portuguesa n.º 152, Série IA;

Webgrafia

Biorede (2015) <http://www.biorede.pt/page.asp?id=940> – acedido em 18/11/2015;

Edomexaldia (s.d.) <http://www.edomexaldia.com.mx/2015/03/sin-recortes-presupuesto-para-combate-a-incendios-semarnat/>;

EIC (2016) *"Ulex europaeus (gorse)"* Invasive Species Compendium - <http://www.cabi.org/isc/datasheet/55561> – acedido em 20/02/2016;

Fire-Paradox (s.d.) http://www.fireparadox.org/prescribed_fire.php - acedido em 20/10/2019);

Flora-On (2015) <http://www.flora-on.pt/index.php#bEucalyptus+globulus> – acedido em 25/11/2015;

Florestar (2015) <http://www.florestar.net/estevinha/estevinha.html> - acedido em 18/11/2015;

ICNF (s.d.) <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo> - acedido em 10/05/2015;

Incendioscerrado (s.d.) <https://incendioscerrado.files.wordpress.com/2013/02/incendio-subterraneo.png?w=570>;

Invasoras (2015) <http://invasoras.pt/gallery/eucalyptus-globulus/> - acedido em 25/11/2015;

Naturdata (2015) <http://naturdata.com/Eucalyptus-globulus-3652.htm> - acedido em 25/11/2015;

Radionova, (s.d.) http://www.radionova.fm/thumb/index/noticias/image/30453ed9d4_008851718f0328020a63b.jpg – acedido em 14/09/2016;

SCRIF (2015) <http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/producao.htm> - acedido em 24/09/20

Soil Survey Manual (2014) http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050993.pdf - Soil Survey Manual – acedido em 12/11/2014

Anexos

	Orientação	Município		Freguesia	
		Km ²	%	Km ²	%
	Plano	0,02	0,0	—	—
	Norte	18,63	13,6	0,86	17,2
	Nordeste	26,15	19,2	0,21	4,2
	Este	13,44	9,8	0,11	2,2
	Sudeste	12,08	9,0	0,06	1,2
	Sul	12,77	9,5	0,29	5,8
	Sudoeste	15,41	11,3	0,68	13,6
	Oeste	22,82	16,7	1,31	26,2
	Noroeste	14,70	10,8	1,48	29,6
Total		136		5	

Anexo I - Distribuição das áreas do município e da freguesia por exposições

	Altitude	Município			Altitude	Freguesia	
	M	Km ²	%		M	Km ²	%
	500-530	3,75	2,7		400-450	0,94	18,8
	450-500	17,68	12,9		350-400	1,17	23,4
	400-450	34,71	25,4		300-350	0,82	16,4
	350-400	27,56	20,2		250-300	0,97	19,4
	300-350	15,95	11,7		200-250	0,66	13,2
	250-300	9,13	6,7		150-200	0,32	6,4
	200-250	7,3	5,3		100-150	0,12	2,4
	150-200	7,77	5,7	Total		5	
	100-150	8,92	6,5				
	50-100	3,53	2,6				
	30-50	0,3	0,2				
Total		136,6					

Anexo II - Distribuição da área do município e da freguesia por altimetria

Declive (graus)	Município		Freguesia	
	Km²	%	Km²	%
0-5	48,42	35,4	1,37	27,4
5-10	46,64	34,1	0,96	19,2
10-15	25,13	18,4	1,18	23,6
15-20	12,31	9,0	0,99	19,8
20-25	3,54	2,6	0,4	8
25-30	0,52	0,4	0,08	1,6
30	0,04	0,03	0,02	0,4
Total	136,6		5	

Anexo III - Distribuição da área do município e da freguesia por inclinação