



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior Agrária

Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos

Micaela Matos Leite

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em CIENCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**BRAGANÇA
Novembro 2011**



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BRAGANÇA** Escola Superior Agrária

Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos

Micaela Matos Leite

**Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em CIENCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Orientação: Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo

Co-Orientação: Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

**BRAGANÇA
Novembro 2011**

Editado por

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA – ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE BRAGANÇA

Campos de Santa Apolónia Apartado - 1172

5301-855 BRAGANÇA

Portugal

Telefone: (+351) 273 303 200 ou (+351) 273 331 570

✉ sacd@ipb.pt ou grei@ipb.pt

🌐 <http://www.esa.ipb.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado de Tecnologia Ambiental – 2010/2011, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica cedida pelo respectivo Autor.

Agradecimentos

Quero agradecer a todas as pessoas que desde o início me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Tomás D’Aquino Rosa de Figueiredo e à Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca, da Escola Superior Agrária de Bragança, meus orientadores, agradeço desde já todo o auxílio que me deram ao longo de todo este árduo trabalho. Na adaptação das metodologias e aplicação das mesmas, na preciosa ajuda do tratamento estatístico dos dados e interpretação dos resultados. Demonstrando sempre um grande entusiasmo, dedicação, esforço, disponibilidade, compreensão e amizade ao longo da realização deste trabalho. Um muito sincero obrigado por tudo, sem vocês a realização deste trabalho não teria sido possível.

À Professora Doutora Margarida Arrobas responsável pelo laboratório de solos da ESAB, e às técnicas do laboratório nomeadamente à D. Rita e à D. Ana que foram incansáveis e imprescindíveis para a realização das tarefas laboratoriais.

Ao Engenheiro Arsénio Araújo, pela sua disponibilidade e ajuda durante este trabalho mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao Instituto Politécnico de Bragança, nomeadamente à Escola Superior Agrária de Bragança pela disponibilidade de cedência do meio de transporte para os locais de estudo.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e incentivaram, mesmo nos momentos mais difíceis desta longa caminhada. Um Muito Obrigado!

Aos meus amigos que sempre me deram força nesta longa caminhada. Destacando o apoio imprescindível da Mónica e do Eduardo. A todos aqueles que directa ou indirectamente me ajudaram na elaboração deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos. Obrigada!!!

Resumo

Nos países mediterrâneos regista-se elevada ocorrência de incêndios em áreas de matos e florestas, tornando-se num problema ambiental. A severidade do fogo é determinante na alteração das propriedades físicas e químicas dos solos pois, altera a temperatura a que o solo fica sujeito.

O presente estudo decorreu em duas regiões distintas: Edroso, Concelho de Vinhais, Trás-os-Montes e Alto Douro; Revelhe, Concelho de Fafe, Entre Douro e Minho. Teve como objectivo caracterizar propriedades do solo e avaliar o impacto do fogo sobre processos relevantes para a protecção dos recursos solo e água, em áreas de matos. Estudaram-se propriedades físicas e químicas do solo e a vegetação. A amostragem realizou-se em áreas vizinhas queimadas e não queimadas, com vegetação arbustiva semelhante, principalmente em *Cytisus multiflorus* e *Ulex Europeus*. Em cada área de amostragem (Edroso e Revelhe) foram seleccionados 16 locais onde se colheram amostras (8 na zona queimada e 8 na zona não queimada), 6 meses após a ocorrência do fogo. As amostras de vegetação arbustiva e herbácea bem como de horizonte orgânico (obtidas somente nas zonas não queimadas), foram colhidas numa área de 0,49 m² por local e as amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm.

Os resultados mostram que a % de elementos grosseiros, a porosidade e a permeabilidade diminuem após fogo; a densidade aparente sofre um ligeiro aumento nas zonas queimadas; as classes de textura mantêm-se inalteráveis. Nas propriedades químicas, a % de matéria orgânica, o alumínio de troca e a capacidade de troca catiónica efectiva registaram aumentos após fogo, verificando-se o contrário com o fósforo, as bases de troca, o grau de saturação de bases e a condutividade eléctrica. O potássio, o azoto total e a acidez de troca têm comportamento diferente nas duas áreas de amostragem. As propriedades físicas e químicas do solo sofreram alterações após fogo, por comparação das zonas queimadas e não queimadas, sendo o tipo de vegetação que cobre os solos, relevante neste contexto.

Abstrat

The Mediterranean countries have a greater tendency for the occurrence of forest fires, making it an environmental problem. The fire severity is a determinant in changing physical and chemical properties of soils therefore changes the temperature at which the soil is subjected.

This study took place in two distinct regions in Edroso, inserted in the municipality of Bragança region of Trás-os-Montes and Alto Douro, in Revelhe, inserted in the municipality of Fafe region between the Douro e Minho. The study regions are characterized by the type of vegetation, *Cytisus multiflorus* and *Ulex europaeus*.

The aim of this study was to compare physical and chemical soil properties in burned and unburned shrubs areas under Mediterranean climate conditions, 6 months after the fire.

In each region were selected 16 sampling sites where collecting the soil samples (8 for the burned area and 8 for the unburned area), making a total of 32 samples. Sampling was carried in area of 0.49 m² per site, to depths of 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm and 20-30 cm. Previously, we proceeded to cut the existing vegetation and the collection of the organic horizon.

By comparing the areas burned with unburned areas of the change of physical and chemical properties of the soil after the fire occurred.

With regard to physical properties, the percentage of gross elements, the porosity and permeability decrease after the occurrence of fire. On the other hand, the bulk density, a slight increase in areas burned, since the texture classes remain unchanged. With regard to chemical properties, the percentage of organic matter, aluminum exchange and effective cation exchange capacity are increased by the occurrence of fire. Phosphorus, the basis of exchange, the degree of base saturation and electrical conductivity decrease with the occurrence of fire. In turn, the C/N ratio, potassium, total nitrogen and acidity of exchange assume different behaviors in both sampling regions.

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstrat	v
Índice Geral	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Quadros	xi
CAPÍTULO 1	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Fogos.....	3
2.1.1. Incêndios Florestais em Portugal	4
2.2. Condições climáticas	5
2.3. Severidade do incêndio	6
2.4. Erosão do solo.....	8
2.5. Topografia.....	8
2.6. Importância do horizonte orgânico no solo	9
2.7. Efeitos do fogo sobre o solo	9
2.7.1. Textura do solo.....	10
2.7.2. Porosidade e permeabilidade do solo	11
2.7.3. Densidade aparente do solo.....	12
2.7.4. Matéria orgânica e Reacção do solo.....	12
2.7.5. Azoto total	13
2.7.6. Relação C/N	15
2.7.7. Fósforo e Potássio	15
2.7.8. Bases de Troca	16
2.7.9. Acidez de Troca	17
2.7.10. Condutividade Eléctrica	17
CAPITULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Campo experimental: caracterização genérica.....	19
3.1.1. Localização das áreas de estudo.....	19

3.1.2.	Caracterização litológica e geológica.....	19
3.1.3.	Caracterização climática	20
3.1.4.	Caracterização dos solos	21
3.1.5.	Vegetação	23
3.2.	Colheita e preparação de amostras.....	24
3.2.1.	Metodologia de estudo	24
3.2.2.	Corte e preparação de amostras de vegetação.....	25
3.2.3.	Recolha e preparação de amostras de horizonte orgânico	26
3.2.4.	Recolha e preparação de amostras de solo.....	27
3.3.	Métodos analíticos.....	28
3.3.1.	Propriedades físicas.....	28
3.3.2.	Propriedades químicas	31
3.4.	Análises estatísticas.....	35
CAPITULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		36
4.1.	Vegetação e Horizonte Orgânico	36
4.1.1.	Principais resultados.....	36
4.1.1.1.	Vegetação herbácea.....	36
4.1.1.2.	Vegetação arbustiva, Tojo.....	37
4.1.1.3.	Vegetação arbustiva, Giesta.....	38
4.1.1.4.	Horizonte Orgânico.....	40
4.2.	Impacto do fogo nas propriedades do solo	41
4.2.1.	Propriedades físicas.....	41
4.2.1.1.	Elementos Grosseiros.....	41
4.2.1.2.	Porosidade do solo.....	42
4.2.1.3.	Permeabilidade ou condutividade hidráulica.....	42
4.2.1.4.	Densidade Aparente do solo.....	44
4.2.1.5.	Textura do solo.....	44
4.2.2.	Propriedades químicas	47
4.2.2.1.	pH do solo.....	47
4.2.2.2.	Matéria orgânica do solo.....	48
4.2.2.3.	Azoto total do solo.....	49
4.2.2.4.	Potássio e Fósforo assimiláveis.....	50
4.2.2.4.1.	Potássio.....	50
4.2.2.4.2.	Fósforo.....	51

4.2.2.5. Bases de Troca.....	51
4.2.2.6. Acidez de Troca e Alumínio de Troca	55
4.2.2.6.1. Acidez de Troca.....	55
4.2.2.6.2. Alumínio de Troca.....	56
4.2.2.7. Capacidade de Troca Cationica efectiva e Grau de Saturação de Bases.....	56
4.2.2.8. Condutividade electrica.....	57
4.3. Síntese de resultados	58
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	61
5.1. Efeito da vegetação no solo	61
5.2. Propriedades do solo	62
Referências bibliográficas	63

Índice de Figuras

Figura 1–Estatísticas concelhias de fogos rurais.	4
Figura 2–Ciclo do Azoto	14
Figura 3–Localização geográfica das áreas de estudo.....	19
Figura 4–Diagrama ombrotérmico de Bragança, médias de 30 anos.....	20
Figura 5–Diagrama ombrotérmico de Braga, médias de 30 anos.	21
Figura 6–Caracterização dos solos do concelho de Vinhais.....	22
Figura 7–Caracterização dos solos no concelho de Fafe.....	23
Figura 8– <i>Ulex europaeus</i>	24
Figura 9– <i>Cytisus multiflorus</i>	24
Figura 10–Área de amostragem de Edroso	25
Figura 11–Área de amostragem de Revelhe.....	25
Figura 12–Método de colheita da vegetação	26
Figura 13–Após o corte da vegetação.....	26
Figura 14–Processo de moagem das amostras de vegetação.....	26
Figura 15–Recolha de amostras de solo	27
Figura 16–Processo de crivagem das amostras de solo.....	27
Figura 17–Placa de aquecimento para destruição da matéria orgânica	28
Figura 18–Diagrama triangular das classes de textura dos solos	29
Figura 19–Processo de determinação do azoto total	33
Figura 20–Condutivímetro	34
Figura 21– Macronutrientes na vegetação herbácea, Edroso	37
Figura 22 – Macronutrientes do Tojo, Edroso.....	38
Figura 23 – Macronutrientes do Tojo, Revelhe.....	38
Figura 24–Macronutrientes da Giesta, Edroso	39
Figura 25–Macronutrientes da Giesta, Revelhe	39
Figura 26–Macronutrientes no horizonte organico, Edroso	40
Figura 27–Macronutrientes no horizonte orgânico, Revelhe	40
Figura 28–Percentagem de elementos grosseiros no solo, Edroso.....	41
Figura 29–Percentagem de elementos grosseiros no solo, Revelhe	41
Figura 30–Porosidade do solo, Edroso	42
Figura 31–Porosidade do solo, Revelhe	42

Figura 32–Permeabilidade do solo na profundidade 0-5 cm, Edroso.....	43
Figura 33–Permeabilidade do solo na profundidade 0-5 cm, Revelhe.....	43
Figura 34–Densidade aparente do solo, Revelhe.....	44
Figura 35–Densidade aparente do solo, Edroso	44
Figura 36–pH do solo, Edroso.....	47
Figura 37–pH do solo, Revelhe	47
Figura 38–Matéria orgânica do solo, Edroso	48
Figura 39–Matéria orgânica do solo, Revelhe.....	48
Figura 40–Azoto total no solo, Edroso.....	50
Figura 41–Azoto total no solo, Revelhe	50
Figura 42–Potássio no solo, Revelhe	50
Figura 43–Potássio no solo, Edroso	50
Figura 44–Fósforo no solo, Edroso	51
Figura 45–Fósforo no solo, Revelhe	51
Figura 46–Acidez de Troca no solo, Edroso	55
Figura 47–Acidez de Troca no solo, Revelhe.....	55
Figura 48–Alumínio de Troca no solo, Edroso	56
Figura 49–Alumínio de Troca no solo, Revelhe	56
Figura 50–Condutividade eléctrica no solo, Revelhe.....	58
Figura 51–Condutividade eléctrica no solo, Edroso	58

Índice de Quadros

Quadro 1–Sistema de classificação da severidade do incêndio.....	7
Quadro 2–Classes de Permeabilidade e respectiva quantificação.....	31
Quadro 3–Classes de pH do solo.....	31
Quadro 4–Classificação dos teores de matéria orgânica de acordo com a textura.....	32
Quadro 5–Carbono, azoto e relação C/N da vegetação herbácea, Edroso.....	36
Quadro 6–Carbono, azoto e relação C/N do Tojo, Edroso.....	37
Quadro 7–Carbono, azoto e relação C/N do Tojo, Revelhe.....	37
Quadro 8–Carbono, azoto e relação C/N da Giesta, Edroso.....	39
Quadro 9–Carbono, azoto e relação C/N da giesta, Revelhe.....	39
Quadro 10–Carbono, azoto e relação C/N.....	40
Quadro 11–Carbono, azoto e relação C/N.....	40
Quadro 12–Distribuição das partículas constituintes do solo areia, limo e argila, Edroso.....	46
Quadro 13–Distribuição das partículas constituintes do solo areia, limo e argila, Revelhe.....	46
Quadro 14– Bases de Troca na área de amostragem de Edroso.....	53
Quadro 15– Bases de Troca na área de amostragem de Revelhe.....	54
Quadro 16–Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) e Grau de saturação em bases (GSB), Edroso.....	57
Quadro 17–Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) e Grau de saturação em bases (GSB), Revelhe.....	57
Quadro 18–Caracterização das zonas de amostragem.....	58
Quadro 19–Síntese dos resultados obtidos na análise da vegetação e do horizonte orgânico.....	59
Quadro 20–Síntese dos resultados obtidos nas análises do solo.....	60

CAPÍTULO 1

1.1. Introdução

“De entre as causas de degradação da terra e desertificação na Região Mediterrânea o fogo surge como o factor responsável pela destruição do coberto vegetal e como tal agente potencial directo de degradação” (Coelho, 2001).

Os países mediterrâneos têm uma grande propensão para a ocorrência de incêndios florestais. O clima é o principal factor associado ao fogo, devido aos verões quentes e secos, no entanto a elevada dimensão dos incêndios no nosso país também está relacionada com o abandono das zonas rurais e a deficiente prevenção e combate (Fernandes et al., 2009).

O fogo é a principal causa dos malefícios que afectam a floresta e a luta contra esse flagelo constitui elevada importância (Macedo & Sardinha, 1993). O fogo faz parte da história dos ecossistemas florestais da região mediterrânea (Campo et al., 2006). Até 2005, Portugal foi o país do Sul da Europa com o maior número de incêndios e área ardida. Posteriormente, tem-se verificado uma diminuição de ambos os factores, no entanto a tendência será para que haja aumentos devido às alterações climáticas em curso (Fernandes et al., 2009).

Na Região Mediterrânea, os incêndios constituem um problema de primeira ordem ambiental. O aumento da sua frequência tem conduzido a uma redução dos períodos de recuperação dos ecossistemas. A época de incêndios é normalmente seguida das chuvas torrenciais do Outono, o que intensifica os processos de erosão e aumenta o risco de desertificação (Campo et al., 2006). Estes efeitos traduzem-se, frequentemente, em mudanças de propriedades físicas e químicas do solo, como a repelência à água (e consequente redução da taxa de infiltração do solo), estabilidade dos agregados, dinâmica de nutrientes, entre outras (Andreu et al., 2001; Campo et al., 2006). Em muitos casos, áreas queimadas ainda em recuperação são afectadas por novos incêndios, favorecendo claramente uma progressiva degradação dos ecossistemas, com modificações das condições estruturais e hidrológicas do solo (Campo et al., 2006).

Dependendo de vários factores, os efeitos dos fogos são múltiplos e complexos. O efeito mais evidente é, sem dúvida, a destruição de grandes volumes de materiais lenhosos, que por acção do calor desenvolvido tem efeitos sobre a vegetação, animais e solo (Macedo & Sardinha, 1993).

Tanto os fogos naturais como as queimadas ou os fogos controlados exercem diversos efeitos físicos, químicos e biológicos sobre o solo, alguns vantajosos e outros prejudiciais (Macedo & Sardinha, 1993). Alguns pesquisadores defendem que os processos ecológicos afectados pelo fogo aumentam num curto período de tempo até uma taxa máxima ser atingida, durante o período de recuperação dar-se-á uma diminuição dessas mesmas taxas (Cerdà & Lasanta, 2005).

1.2. Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo caracterizar propriedades do solo e avaliar o impacto do fogo sobre propriedades e processos relevantes para a protecção dos recursos solo e água, em áreas de matos. Para tal, foram estudadas propriedades físicas e químicas do solo e da vegetação, sendo dada especial relevância às primeiras.

1.3. Estrutura geral da tese

O presente trabalho estrutura-se num conjunto de cinco capítulos, como se apresenta abaixo:

Capítulo I – Abordagem geral ao tema, Impacto dos incêndios em propriedades dos solos de montanha cobertos de matos.

Capítulo II – Revisão de bibliografia associada ao tema, relacionando pontos focais do mesmo. A problemática dos incêndios, as condições climáticas, a topografia e a severidade do incêndio associadas à mesma. O impacto do fogo nas propriedades físicas e químicas do solo.

Capítulo III – Material e métodos, onde é feita uma breve caracterização das áreas de amostragem. Referindo-se também o modo de colheita e preparação das amostras, assim como toda a metodologia utilizada tanto no campo como em laboratório.

Capítulo IV – Resultados e discussão, os resultados são apresentados e discutidos com base em estudos procedentes sobre tópicos similares.

Capítulo V – Conclusão e apreciação dos resultados.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fogos

Ao longo do tempo, mas sobretudo nos últimos anos, a problemática dos fogos tem estado no centro das atenções, não somente pelo elevado número, mas também pela sua intensidade e severidade (Fernandes et al., 2009). Os incêndios são comuns durante os verões quentes e secos da Península Ibérica (Cerdà & Lasanta, 2005), existindo desde épocas anteriores à ocupação humana, constituindo parte integrante dos ecossistemas mediterrâneos. No passado os incêndios ocorriam naturalmente, sendo a ignição provocada por trovoadas secas. A descoberta do fogo pelo homem levou a novas causas de ignição, e conseqüentemente a uma maior frequência e ocorrência de incêndios (Fernandes et al., 2009).

Os incêndios são uma ameaça constante. O risco e a intensidade dos prejuízos têm vindo a aumentar, entre outros aspectos, em função da extensão da área ardida, da idade dos povoamentos e da severidade do fogo (Batista et al., 1998).

A ocorrência de incêndios provoca uma série de efeitos, quer na área ardida quer nas proximidades. A amplitude destes efeitos depende, em particular, da intensidade do incêndio, a qual depende de factores meteorológicos, da natureza do combustível queimado e do declive do terreno (Vélez, 2000). Os efeitos directos da combustão no ecossistema são o consumo da matéria orgânica, produção de calor, libertação de nutrientes e de produtos de sub-combustão. Como consequência destes efeitos directos, surgem os efeitos secundários que serão sentidos em maior/menor escala, dependendo da intensidade do fogo (Batista et al., 1998). O fogo é também um dos principais factores ecológicos que modelaram e modelam a paisagem do Mediterrâneo influenciando o seu mosaico actual. Também, os incêndios afectam o solo de diferentes formas, as quais se traduzem em mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo (Andreu et al., 2001).

O fogo exerce um poderoso efeito modificador no meio ambiente, afectando a curto, médio e longo prazo o ciclo de nutrientes do ecossistema, o crescimento vegetal, os processos de lixiviação e erosão do solo, e dependendo da sua intensidade pode mesmo causar mudanças irreversíveis nas propriedades dos solos (Alauzis et al., 2004).

Poucos estudos têm sido capazes de analisar as respostas das áreas queimadas imediatamente a seguir à passagem do fogo, e portanto, pouco se sabe sobre os efeitos

das camadas de cinza que muitas vezes cobrem o solo até que sejam redistribuídas ou removidas por erosão do vento e da água (Cerdà & Doerr, 2008).

Algumas características do solo como a estrutura, capacidade de troca iónica, disponibilidade de nutrientes e actividade microbiológica são altamente dependentes da matéria orgânica, que começa a alterar-se quimicamente quando aquecida a 200°C e é consumida quando atinge 450°C (Batista et al., 1998; Fernandes et al., 2009).

Por norma, os incêndios reduzem o teor de matéria orgânica, modificam a estrutura do solo, aumentam a repelência à água, que se traduz numa redução das taxas de infiltração e consequente aumento dos processos erosivos do solo (Cerdà & Lasanta, 2005). A remoção da vegetação e a degradação da estrutura do solo resulta num aumento da erodibilidade do solo.

2.1.1. Incêndios Florestais em Portugal

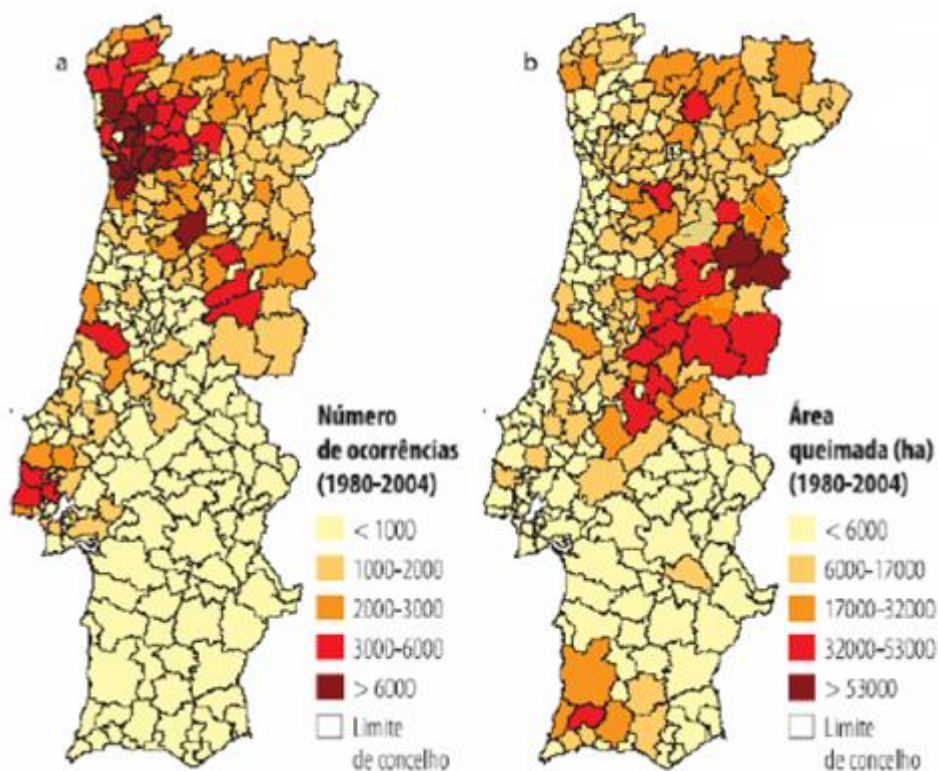


Figura 1—Estatísticas concelhias de fogos rurais (1980-2004): a) número de ocorrências; b) área queimada (ha) (Pereira et al., 2006).

Como se pode observar na Figura 1, as regiões mais afectadas pelo fogo em Portugal situam-se a Norte do Rio Tejo e no Barlavento Algarvio. Apesar do maior número de incêndios ocorrer nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, as zonas de maior preocupação localizam-se no interior, onde existem grandes áreas de abandono rural, com manchas contínuas de florestas e matos e com um clima mais severo, comparativamente ao litoral (Fernandes et al., 2009).

2.2. Condições climáticas

O fogo é um dos factores mais importantes na dinâmica de muitos ecossistemas terrestres. Para que um fogo comece e se propague é necessário que haja combustível, condições meteorológicas apropriadas e fontes de ignição. Enquanto a vegetação e a meteorologia estão sobretudo condicionadas pelas características edafo-climáticas e topográficas de uma região, em muitas situações, a ignição dos fogos está sobretudo dependente da actividade humana (Ventura & Vasconcelos, 2006). Por outro lado, as enxurradas não dependem exclusivamente das características da precipitação, é provável que estejam também dependentes das alterações das características do solo e da vegetação (Cerdà & Lasanta, 2005).

Existem trabalhos que referem que a relação precipitação/escoamento mostra um aumento do escoamento imediatamente a seguir ao fogo, o qual afecta principalmente a concentração de sedimentos em suspensão (Cerdà & Lasanta, 2005). Para além da precipitação, cujas consequências sobre os incêndios são óbvias, as principais variáveis meteorológicas com relevância sobre os incêndios são a temperatura e a humidade do ar e o vento. Temperaturas elevadas e humidades baixas favorecem a secagem dos combustíveis, facilitando a sua inflamação (Ventura & Vasconcelos, 2006). Por seu lado, o vento introduz oxigénio na zona de reacção e promove a mistura turbulenta, aumentando a transferência de calor, a velocidade de progressão, a intensidade da linha de fogo, a intensidade da reacção e a probabilidade de ocorrência de fogos secundários por projecção de material inflamado. A variabilidade do vento, expressa pela variação da velocidade e/ou da direcção, constitui provavelmente a maior dificuldade na previsão do comportamento do fogo (Ventura & Vasconcelos, 2001).

O comportamento do fogo também é classificado em função da área ardida. Os grandes fogos estão normalmente associados a condições meteorológicas severas e correspondem muitas vezes a fogos intensos e de rápida propagação. Nestes, a velocidade e direcção do vento são determinantes e exercem um controlo acentuado

sobre a forma do fogo, a área final ardida, e as direções de propagação preponderantes (Ventura & Vasconcelos, 2001). O calor intenso do fogo pode aumentar a repelência do solo à água (reduz a taxa de infiltração), condição chamada de hidrofobia e que tem graves consequências do ponto de vista da conservação do solo (Moench & Fusaro, 2007). Também esta redução da taxa de infiltração da água no perfil do solo pode dificultar a sobrevivência das plantas (Moench & Fusaro, 2007).

2.3. Severidade do incêndio

A severidade do incêndio é tradicionalmente expressa pela magnitude dos impactos causados e considera três classes: baixa, moderada e alta severidade (Hungerford, 1996) (Quadro 1). O aspecto do coberto vegetal, a espessura de casca atingida, o tempo de permanência e a profundidade de combustão do horizonte orgânico são muitas vezes utilizados como indicadores da severidade do fogo. A humidade do combustível também tem sido utilizada na predição da severidade do incêndio antes ou após a sua ocorrência (Robichaud & Waldrop, 1994). A severidade do incêndio é ainda utilizada para caracterizar os efeitos no solo, pois a humidade pode atenuar os efeitos do fogo sobre o referido recurso (Robichaud & Waldrop, 1994).

Quadro 1–Sistema de classificação da severidade do incêndio (Hungerford, 1996).

Grau	Baixa	Moderada	Alta
Descrição	Baixo aquecimento do solo	Moderado aquecimento do solo	Elevado aquecimento do solo
Horizonte Orgânico	Queimada, carbonizada, consumida	Consumida	Consumida
Solo mineral	Não é alterado visivelmente	Não é alterado visivelmente	Fica com cor avermelhada/alaranja da nos locais onde o fogo atingiu temperaturas muito elevadas
Restos de madeira das árvores	Parcialmente consumido, carbonizado	Consumido parcialmente, com exceção dos cepos que são profundamente carbonizados	Os cepos são consumidos ou profundamente carbonizados
Temperatura do solo à profundidade de 1cm	< 50 °C	100 a 200 °C	> 250°C
Profundidade temperaturas letais para os organismos do solo	1 cm	3 a 5 cm	9 a 16 cm

Os fogos controlados, são geralmente incêndios de baixa severidade, por norma são realizados quando as cargas de combustível e as condições meteorológicas são favoráveis à ocorrência de um fogo de baixa intensidade. Por outro lado, os incêndios florestais (incêndios naturais) podem ser de alta severidade, quando a temperatura, a velocidade do vento e a massa de combustível são elevados e a humidade baixa (Debano et al., 1998). Em síntese, os fogos são classificados de acordo com o seu comportamento no ecossistema.

2.4. Erosão do solo

A erosão consiste na perda gradual de material constituinte do solo. Os processos erosivos têm um impacto negativo, com uma degradação progressiva do solo (Porta, et al., 1999). A seguir a um incêndio o potencial de erosão aumenta (Moench & Fusaro, 2007). O fogo pode indirectamente levar à erosão dos solos através da remoção dos materiais à superfície (protecção à superfície) e alteração das propriedades físicas do solo. O grau de erosão segundo Yoho (1980) depende de vários factores, incluindo: (i) textura do solo (solos de textura grosseira sofrem destruição mais facilmente); (ii) declive (a maiores declives corresponde maior probabilidade de erosão); (iii) vegetação (a rápida recuperação da vegetação pode diminuir a erosão); (iv) severidade do fogo (quanto maior a severidade maior a probabilidade de ocorrência de erosão); (v) precipitação (geralmente, a erosão hídrica aumenta com o aumento da quantidade de precipitação).

Efectivamente, estudos realizados por González-Pelayo et al. (2006) mostram que existe um aumento do escoamento superficial em áreas afectadas por fogos de severidade moderada/alta, relativamente a áreas não queimadas, uma vez que as propriedades físicas da superfície do solo foram alteradas, nomeadamente a agregação. Nos primeiros meses a seguir à ocorrência dos incêndios, os solos apresentam elevada vulnerabilidade à erosão. Mas, a magnitude do processo erosivo depende em grande parte da severidade do fogo e das características dos eventos climatéricos após o incêndio (Cerdà & Lasanta, 2005; Campo et al., 2006; Chafer, 2008). A erosão química está associada à perda de nutrientes e a elevadas taxas de erosão do solo (Coelho, 2001).

2.5. Topografia

Muitas das características topográficas influenciam indirectamente o fogo através do tipo de combustível e da meteorologia. A exposição e a altitude condicionam a temperatura e a precipitação e, desta forma, o tipo de combustível existente e o seu teor de humidade (Ventura & Vasconcelos, 2001). O declive do terreno condiciona a combustão e a temperatura do fogo. A temperatura é menor nos cumes (James et al., 1999). O declive também interfere na quantidade de carbono, as zonas mais baixas normalmente apresentam um maior teor em carbono (James et al., 1999).

As encostas são mais susceptíveis ao escoamento superficial e à erosão após o fogo, devido à remoção da vegetação e dos resíduos orgânicos acumulados à superfície.

Em muitos casos, os incêndios aumentam a repelência do solo à água (Cerdà & Doerr, 2008), traduzindo-se num aumento de exportação de cinzas e nutrientes dos ecossistemas por erosão hídrica (Coelho, 2001).

2.6. Importância do horizonte orgânico no solo

Na linguagem florestal portuguesa são frequentes as expressões *folhada* e *camada húmifera*, que são equivalentes ao horizonte orgânico (Costa, 1991).

O solo serve de suporte às plantas terrestres que nele desenvolvem as suas raízes e dele obtêm grande parte dos elementos nutritivos que carecem (Costa, 1991).

A produção e a qualidade da folhada em sistemas florestais têm uma grande importância na acumulação e no tipo de matéria orgânica do solo e ciclo de nutrientes, com reflexos nas propriedades do solo, na pedogénese e na produtividade e sustentabilidade dos sistemas (Fisher & Binkley, 2000).

Os nutrientes absorvidos anualmente pela maioria das espécies florestais são em grande parte devolvidos ao solo através da folhada, o que confere a esta um papel fundamental no ciclo de nutrientes e na nutrição e funcionamento destes sistemas, em particular em solos de baixa fertilidade (Fisher & Binkley, 2000).

2.7. Efeitos do fogo sobre o solo

Na Região Mediterrânea, a época das chuvas ocorre após o Verão, logo a seguir à ocorrência de inúmeros incêndios, o que pode resultar num elevado potencial de escoamento superficial e erosão. Através destes processos, o fogo é uma das principais causas do aumento do risco de desertificação em áreas com este tipo de clima (González et al, 2006).

Dependendo da temperatura que o solo atinja durante o fogo, esta produz mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Fernandes et al., 2009). Os fogos em áreas de matos destroem a vegetação, deixando as rochas e os solos expostos directamente à acção dos agentes erosivos, intensificando assim os processos de meteorização das rochas e movimentação dos solos. A falta de vegetação faz com que as gotas da chuva atinjam directamente o solo, aumentando a erosão por salpico. Também, a inexistência de vegetação reduz as taxas de infiltração e, concomitantemente, acresce os coeficientes de escoamento superficial levando a que, à superfície, fique

disponível uma maior quantidade de água que pode erosionar essa mesma superfície topográfica (Lourenço, 1994b).

O fogo pode afectar o solo de três formas distintas: pela exposição, deixando o solo a descoberto; pelo aquecimento e pela libertação de nutrientes. O grau de aquecimento do solo durante o fogo é variável e depende do tipo de combustível (vegetação herbácea, arbustos e árvores), da intensidade do fogo, da natureza da camada orgânica (espessura e conteúdo de humidade), e das propriedades do solo (matéria orgânica, teor de humidade, textura) (Batista et al., 1998). O aumento da temperatura no solo está relacionado com a transferência de calor da superfície para as camadas mais profundas, dependendo de vários factores, como a textura, estrutura, teor de matéria orgânica, humidade e condutividade térmica do solo. Os fogos de alta severidade podem atingir temperaturas de 700 °C no horizonte orgânico superficial e 250 °C a 10 cm de profundidade, enquanto os fogos de baixa severidade não ultrapassam os 100 °C à superfície podendo atingir temperaturas da ordem dos 50 °C a 5 cm de profundidade (Neary et al., 1999).

Algumas das características físicas afectadas pelos fogos são a estrutura, porosidade, infiltração e regime térmico do solo, em grande parte relacionadas com a perda de matéria orgânica. O fogo aumenta a susceptibilidade do solo à erosão eólica e hídrica e o teor de cinzas ricas em nutrientes. Pode ainda formar-se em alguns solos uma camada hidrofóbica a alguns centímetros de profundidade, causada pelo aquecimento da matéria orgânica (Fernandes et al., 2009). A matéria orgânica começa por sofrer perdas dos constituintes voláteis a partir dos 100 até aos 180 °C, e destilação entre os 200 e os 315 °C (Debanno et al., 1998).

Após fogo, geralmente a quantidade de nutrientes diminui, podendo ocorrer perdas por mineralização, imobilização, lixiviação ou arrastamento superficial. No entanto, é comum que a concentração dos nutrientes em formas mais disponíveis para as plantas e microrganismos aumente, devido à destruição das formas orgânicas e a sua transformação em formas mais biodisponíveis. Pode também ocorrer a incorporação de nutrientes no solo, devido à morte de plantas e da biomassa microbiana (Fernandes et al., 2009).

2.7.1. Textura do solo

O fogo pode produzir grandes modificações nas propriedades físicas do solo, mas a textura, geralmente, não é alterada de forma significativa, salvo ligeiras alterações

superficiais e de natureza temporária (Macedo & Sardinha, 1993). A textura do solo está relacionada com a percentagem de areia, limo e argila presentes no solo (Birkeland & Richter, 1973; Lopes, 1978). Quanto menor o tamanho das partículas, mais próxima se encontra da textura argilosa e quanto maior o tamanho das partículas, mais próxima se encontra da textura arenosa (Lopes, 1978).

São denominados de elementos grosseiros todos os fragmentos rochosos que apresentam diâmetro aparente superior a 2 mm, as fracções que compreendem um diâmetro menor que 2 mm são denominadas por terra fina (areia, limo argila). A pedregosidade de um solo faz referência aos elementos grosseiros existentes à superfície. Em áreas queimadas observa-se com frequência um aumento da pedregosidade, devido à erosão do solo a seguir ao fogo (Costa, 1991).

A estabilidade dos agregados depende da coerência interna das partículas de argila. Esta coesão é mediada por agentes aglutinantes, como substâncias húmicas, que formam complexos fortes com ferro, alumínio e magnésio. Estes agentes são afectados pela temperatura do fogo e em conexão com as argilas provocam alterações importantes ao nível do solo. A micro-agregação desempenha um papel importante na formação de crostas, na permeabilidade e na taxa de infiltração do solo. A degradação do solo pode levar a uma diminuição da porosidade e da infiltração, reduzindo a coesão das partículas com o conseqüente aumento do escoamento e remoção do solo por erosão hídrica (Andreu et al, 2001).

O comportamento físico e químico dos solos minerais depende das proporções relativas da areia, limo e argila, isto é, da textura (Costa, 1991). A argila tal como a matéria orgânica contêm a propriedade de reter energeticamente a água e os nutrientes (Cerqueira, 1992). O fogo remove a camada superficial e destrói a estrutura do solo à superfície, deixando uma faixa fina de cinzas misturadas com solo de fraca consistência (Hubbert et al., 2006).

2.7.2. Porosidade e permeabilidade do solo

A porosidade de um solo resulta da agregação das partículas minerais individuais e da matéria orgânica. A porosidade é descrita a nível global, pois a descrição detalhada inclui a quantidade, qualidade, orientação, distribuição e a forma (Birkeland & Richter, 1973). A porosidade do solo é definida como a percentagem do seu volume não ocupado por partículas sólidas (Macedo & Sardinha, 1993).

Após fogo, verificam-se perdas de água por evapotranspiração, diminuição da interceptação de precipitação e aumento da relação precipitação/escoamento (Coelho, 2001). Apesar do acentuado efeito do fogo sobre os processos hidrológicos do solo, a disponibilidade de informação sobre o efeito directo do fogo nas características de retenção de água são limitantes e contraditórias (Stoof et al., 2010). Geralmente os fogos aumentam o número de microporos, sem alterar substancialmente a porosidade total do solo. O fogo não produz geralmente efeitos importantes para além da camada mais superficial do solo, não alterando a permeabilidade das camadas mais profundas.

O aumento da repelência da superfície do solo à água deve-se à volatilização e recondensação do material orgânico. O aumento da repelência com a profundidade é relativamente baixo (Hubbert et al., 2006). Após o incêndio, a resistência do solo, a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração diminuem significativamente nas primeiras camadas de solo. No entanto, a superfície dos solos respondem de diferentes formas à passagem do fogo (Are et al., 2009). As propriedades hidrofóbicas da superfície do solo estão relacionadas com a severidade do fogo (Chafer, 2008).

2.7.3. Densidade aparente do solo

A densidade aparente do solo é a razão da massa da parte sólida de um dado volume aparente no solo (volume ocupado pelas partículas sólidas mais o volume ocupado pelos interstícios ou poros) e da massa de igual volume de água (Costa, 1991). A densidade aparente do solo geralmente aumenta após a ocorrência do incêndio (Hubbert et al., 2006). As áreas queimadas apresentam uma diminuição da taxa de infiltração em relação às áreas não queimadas. A infiltrabilidade no estado estacionário está relacionada com a percentagem de matéria orgânica presente no solo (Savagodo et al., 2007).

2.7.4. Matéria orgânica e Reacção do solo

A matéria orgânica é um constituinte fundamental do solo. Inclui biomassa microbiana e material vegetal em diferentes estados de decomposição (Birkeland & Richter 1973; Fernandes et al., 2009). A decomposição da matéria orgânica é um dos mais importantes fenómenos naturais. Após a sua decomposição, os nutrientes que estavam integrados nos diversos organismos tornam-se novamente assimiláveis (Rheinheimer et al., 2003). A matéria orgânica, além de ser um reservatório de

nutrientes possíveis de ser libertados através da mineralização dos compostos orgânicos, tem influência nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Possui um elevado poder tampão, evitando grandes variações de pH, aumenta a retenção de água e a capacidade de troca catiónica (CTC), promove a agregação do solo, formando macroporos, onde o ar e água circulam de forma facilitada, diminui as perdas de solo e de nutrientes causadas pela erosão (Fernandes et al., 2009).

A velocidade de decomposição da matéria orgânica varia principalmente com a sua natureza, a temperatura e a reacção do solo. A actividade microbiana no solo depende, em grande parte, da acidez e temperatura. Por norma, o fogo tem efeitos positivos sobre estes factores e apenas destrói os microrganismos à superfície do solo (Rheinheimer et al., 2003). Quando a matéria orgânica do solo é queimada, muitas das substâncias nela contidas são libertadas em forma de óxidos, permanecendo os carbonatos, que geralmente apresentam reacções alcalinas. Assim, quando as cinzas são depositadas sobre o solo, normalmente a acidez diminui (Batista et al., 1998). Alguns autores como Franco-Vizcaíno e Sosa-Ramirez (1997) defendem que as diferenças de pH entre áreas queimadas e não queimadas não são significativas. A basicidade do solo verifica-se normalmente quando não ocorre arrastamento de bases pelas águas de percolação e existe um elevado grau de saturação do complexo de troca (Porta, et al., 1999).

Quando a intensidade do fogo é baixa, não existem grandes modificações no solo mineral, observando-se uma ligeira redução do teor de matéria orgânica (Batista et al., 1998). Os fogos apresentam benefícios como a libertação imediata de nutrientes minerais (Are et al., 2009).

2.7.5. Azoto total

O azoto (N) possui um carácter cíclico no sistema que permite estabelecer a sequência dos processos e dos compostos químicos.

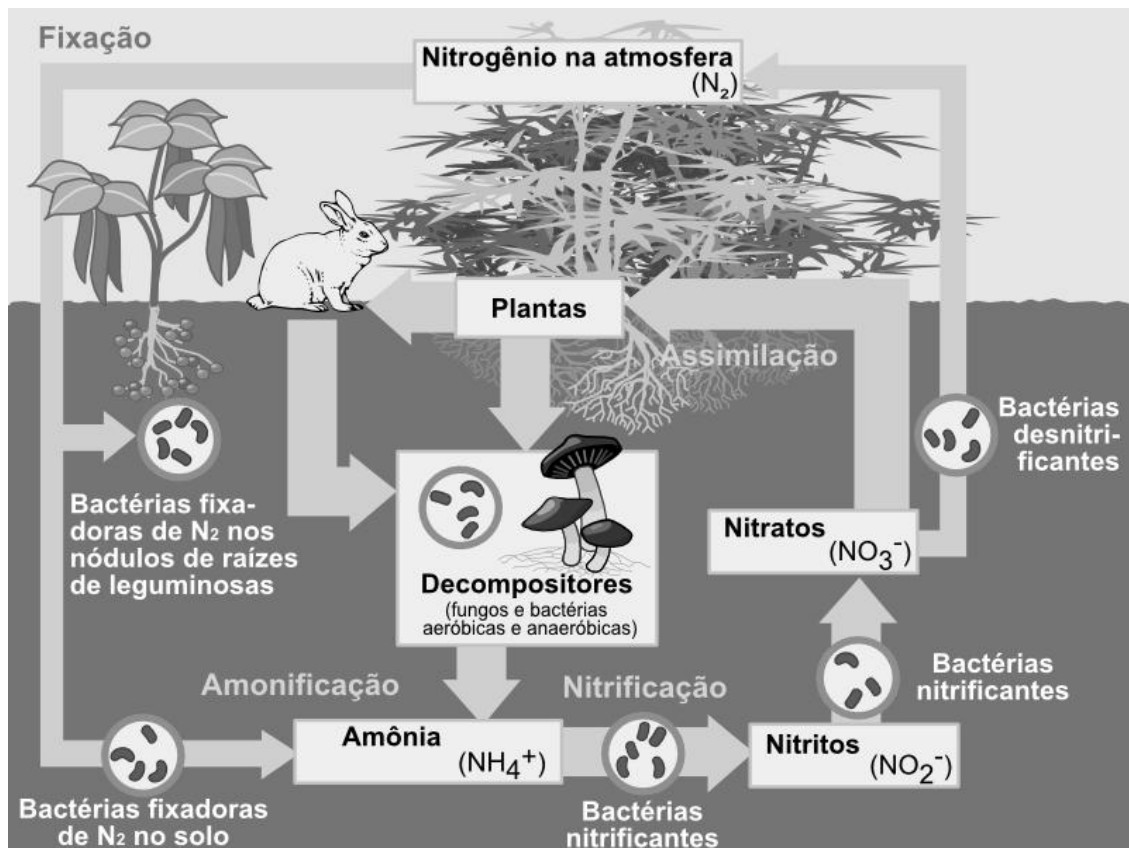


Figura 2–Ciclo do azoto (<http://gaunipac.forumeiros.com/t24-o-ciclo-do-nitrogenio>).

O ciclo do azoto (Figura 2) permite compreender o comportamento deste elemento nos diferentes subsistemas, entre os quais o solo (Porta, et al., 1999). O ciclo do azoto é considerado um sistema dinâmico e fechado, sistemas integrantes do subsistema são dinâmicos e abertos, com fluxos de entrada e saída de azoto que são transferidos de uns para outros. A atmosfera actualmente com 79% de N-N₂ é a principal fonte primária deste elemento. A incorporação do azoto no solo dá lugar a todo um ciclo bastante complexo, podendo ser esquematizado da seguinte forma: os principais processos identificados no ciclo do azoto são a fixação de N₂ atmosférico; a fixação em compostos orgânicos de seres vivos; a imobilização; a mineralização; a nitrificação; a fixação de N-NH₄⁺ em argilas; a adsorção de N-NH₄⁺ em argilas; escoamento superficial; a desnitrificação e por fim a volatilização (Porta, et al., 1999).

A camada orgânica do solo, é um dos principais reservatórios de azoto no solo florestal, a sua remoção durante o fogo pode causar uma diminuição significativa deste elemento no solo (Fernandes et al., 2009). Quando a intensidade do fogo é baixa, não existem grandes modificações no solo, podendo ocorrer uma pequena redução do azoto total (Batista et al., 1998).

Apesar do referido anteriormente, após o fogo pode verificar-se um aumento do teor de azoto total. As possíveis perdas de azoto por volatilização podem ser compensadas por ganhos estimulados por um aumento da actividade bacteriana do solo por efeito do fogo (Rheinheimer et al., 2003). Arocena & Opio (2003) encontraram concentrações de azoto total semelhantes em áreas queimadas e não queimadas.

2.7.6. Relação C/N

A razão C/N é o quociente de carbono orgânico total pelo azoto orgânico total do solo (Costa, 1991). A razão C/N não só tem pretendido definir tipos de matéria orgânica característicos dos diferentes tipos de solos, mas também tem procurado avaliar o seu grau de alteração (Costa, 1991).

Dependendo da severidade do incêndio, surgem mudanças no solo, as quais podem ser benéficas ou prejudiciais para o ecossistema como um todo. Muitas vezes, pode causar alterações nas taxas de sucessão, gerar volatilização de nutrientes e arrastamento de cinzas, provocar taxas de mineralização rápidas ou lentas, alterar a relação C/N, resultando em subsequentes perdas de nutrientes por meio de lixiviação e erosão (Neary et al., 1999).

Vários autores afirmam que os incêndios florestais contribuem para a acumulação de carbono nos solos afectados pelo fogo e também pela alteração da cobertura vegetal (Costa, 1991). Iglesias et al. (1997) observaram um aumento do teor de carbono, 2 a 8 meses após a ocorrência do fogo. Por outro lado, Alauzis et al. (2004) referem uma diminuição significativa dos teores de azoto e carbono após o fogo. A alteração da razão C/N pode resultar em subsequentes perdas de nutrientes (Neary et al., 1999).

2.7.7. Fósforo e Potássio

O fósforo é um dos nutrientes essenciais à nutrição vegetal. No solo, uma pequena parte encontra-se na forma orgânica. Ao contrário do azoto, as concentrações mais elevadas de fósforo encontram-se no solo mineral, sob a forma de apatites. A meteorização lenta resulta na libertação do ião fosfato (PO_4^{3-}) que em solos calcários sofre uma rápida imobilização devido à formação de compostos insolúveis de calcário. Em solos neutros ou ligeiramente ácidos, como uma grande parte dos solos portugueses, o fósforo encontra-se associado a hidróxidos de ferro e alumínio. Na solução do solo, o fósforo encontra-se em diferentes formas dependentes do pH (Fernandes et al., 2009).

Após o fogo, o fósforo mantido em formas orgânicas é libertado na forma de PO_4^{3-} , podendo depositar-se nas cinzas, aumentando assim a sua disponibilidade. Uma vantagem é a sua reduzida mobilidade no solo, podendo sofrer perdas por arrastamento da cinza devido à acção do vento ou do escoamento superficial (Fernandes et al., 2009). O fósforo pode ser volatilizado a temperaturas compreendidas entre 550 e 750°C (Alauzis et al., 2004).

O potássio é bastante abundante no solo, no entanto a maior parte encontra-se nos minerais primários (micas e feldspatos), sendo a sua meteorização mais ou menos lenta, consoante o tipo de mineral em que tem origem. Em solução, o potássio encontra-se na forma livre (K^+), dado que não tem tendência a formar complexos inorgânicos ou quelatos com compostos orgânicos solúveis. Assim, a destruição da matéria orgânica, que pode ocorrer durante o fogo, vai contribuir para o aumento da adsorção deste elemento aos colóides minerais. O potássio pode ser volatilizado a 760°C o que confirma as baixas perdas no solo após o fogo, pois estas temperaturas são bastante difíceis de atingir (Alauzis et al., 2004).

Alauzis et al. (2004) referem, após fogo, incrementos na quantidade de fósforo extratável. Também após fogo, Brais e tal. (2000) observaram um aumento da concentração de potássio trocável na camada mineral e uma redução significativa do teor em nutrientes em áreas severamente queimadas. A erosão remove selectivamente material orgânico rico em nutrientes importantes como o fósforo, que não é facilmente substituído pelos processos de meteorização (Shakesby et al., 1996).

Os incêndios conduzem a perdas de nutrientes por volatilização, causando alguns problemas na atmosfera, por escoamento superficial e por lixiviação. A perda progressiva de nutrientes devido ao fogo estimula o aparecimento de uma vegetação mais adaptada a um nível baixo de nutrientes no solo (McIntosh et al., 2005). No entanto, é comum que a concentração de nutrientes em formas mais disponíveis para as plantas e microrganismos aumente, devido à destruição das formas orgânicas e à sua transformação em formas mais biodisponíveis. Pode também ocorrer a incorporação de nutrientes no solo, devido à morte de plantas e da biomassa microbiana (Iglesias et al., 1997; Alauzis et al., 2004; Fernandes et al., 2009).

2.7.8. Bases de Troca

São denominadas de bases de troca os elementos cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) (Costa, 1991). As bases de troca são os catiões de troca

dominantes nos solos de reacção alcalina e neutra (Costa, 1991). Nos solos ácidos, os catiões de troca dominantes são o alumínio (Al) e/ou o hidrogénio (H). Geralmente, as concentrações totais de cálcio aumentam após fogos de severidade média/baixa (Brais et al., 2000). Os fogos de severidade baixa não causam grandes modificações no solo mineral, podendo, no entanto, conduzir a um ligeiro aumento das concentrações de Ca, Mg, K e P, necessitando de pouco tempo para voltar ao estado inicial (Batista et al., 1998). Arocena et al. (2003) observaram teores de Ca, Mg, K e Na, ou seja, das bases de saturação idênticos em parcelas queimadas e não queimadas.

O cálcio, o magnésio, o potássio e o sódio volatizam a temperaturas muito elevadas (740 – 12408°C) e, conseqüentemente, permanecem no local como cinza, ou então são arrastados pelo vento, lixiviação e erosão hídrica (Alauzis et al., 2004).

2.7.9. Acidez de Troca

As principais origens da acidez dos solos são a matéria orgânica, os aluminossilicatos (principalmente minerais de argila), os sesquióxidos (óxidos e hidróxidos de Fe e Al) e certos sais solúveis. A acidez do solo está associada à presença não só do hidrogénio, mas também do alumínio. Os efeitos negativos da acidez sobre as plantas são essencialmente devido à toxicidade dos iões Al^{3+} e Mn^{2+} presentes nas zonas de troca dos colóides e na solução do solo. Esta toxicidade restringe o desenvolvimento radicular, pelo que a planta reduz o volume de solo explorado, diminuindo deste modo a absorção de nutrientes e água (Porta, et al., 1999).

Os solos minerais ácidos não são simplesmente solos H_3O^+ , são essencialmente solos Al^{3+} . Os iões H_3O^+ só adquirem importância em solos minerais muito ácidos. Em situações de pH inferior a 4.0, poderá ocorrer ácidos minerais. Os solos orgânicos ácidos caracterizam-se por apresentarem protões, devido ao grupo R-COOH e R-OH. Em solos ácidos pode haver diferentes catiões em posição de troca e em solução (Porta, et al., 1999).

2.7.10. Condutividade Eléctrica

A salinidade é uma propriedade do solo, referindo-se à quantidade de sais solúveis no solo. É geralmente um problema de regiões áridas e semi-áridas. A condutividade eléctrica (CE) é a medida mais comum da salinidade do solo e é um indicativo da capacidade de uma solução aquosa transportar uma corrente eléctrica. As plantas são

afectadas negativamente, tanto ao nível físico como químico, pelo excesso de sais no solo e por níveis elevados de sódio trocável (Grisso et al., 2009).

Normalmente, após fogo verifica-se um incremento da condutividade eléctrica do solo (Iglesias et al., 1997; Alauzis et al., 2004). Contudo, após um curto período de tempo tende a baixar significativamente, podendo as áreas queimadas apresentar menor condutividade eléctrica que as áreas não queimadas (Lambao et al., s/d).

CAPITULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Campo experimental: caracterização genérica

3.1.1. Localização das áreas de estudo

As áreas de estudo localizam-se em duas regiões distintas (Figura 3). A primeira, **Edroso**, situa-se na Serra da Coroa, no Parque Natural de Montesinho (PNM), pertence ao conselho de Vinhais, freguesia de Quirás, estando a 41° 54' de latitude Norte e 7° 09' de longitude Oeste e 937 m de altitude. A segunda, **Revelhe**, localiza-se na região do Minho, pertence ao conselho de Fafe, tendo como coordenadas geográficas 41° 29' de latitude Norte e 8° 9' de longitude Oeste e 700 m de altitude.

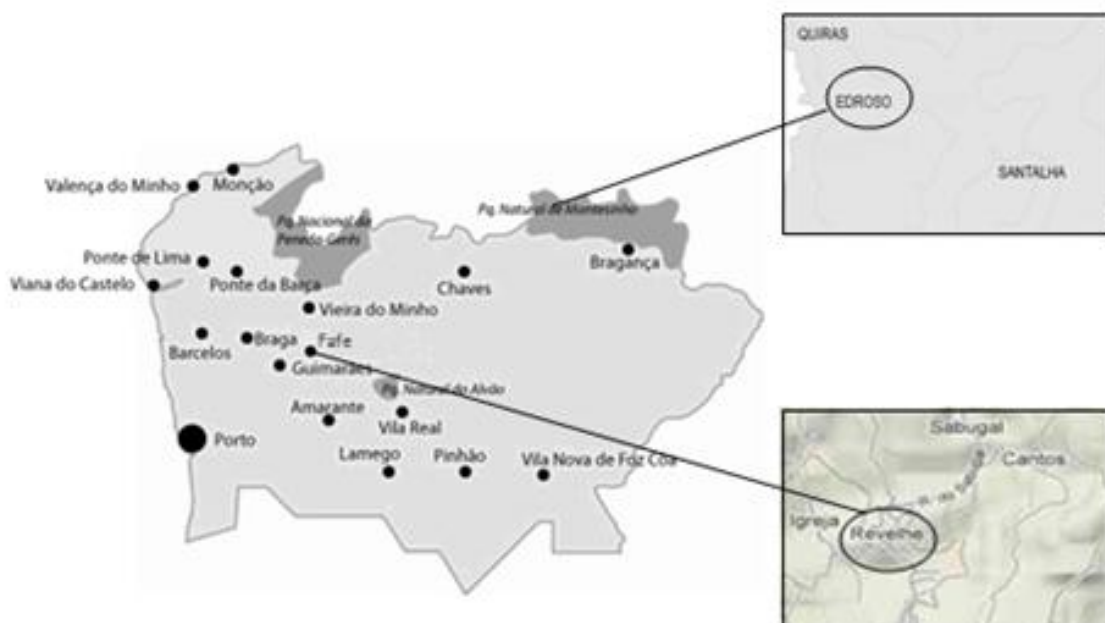


Figura 3—Localização geográfica das áreas de estudo (adaptado: www.portugaltrails.com).

3.1.2. Caracterização litológica e geológica

A litologia da região de Edroso é essencialmente constituída por xistos, frequentemente metamorfisados e quartzitos do Silúrico e do Ordovício. Esta região enquadra uma vasta superfície planáltica integrante da Meseta Ibérica e Maciço Hespérico (Moreira et al., 1997).

No que se refere à litologia da região de Revelhe os granitos assinalam uma larga dominância, com uma restrita ocorrência de xistos mais ou menos metamorfisados. Geologicamente a região enquadra-se no Maciço Hespérico.

3.1.3. Caracterização climática

As temperaturas médias mensais representadas referem-se ao período 1971/2000. As variações de temperatura em Braga e em Bragança são bastante homogêneas, verificando-se oscilações características de um clima mediterrânico. São visíveis as temperaturas mais baixas referentes aos meses de inverno e um incremento nos meses de verão.

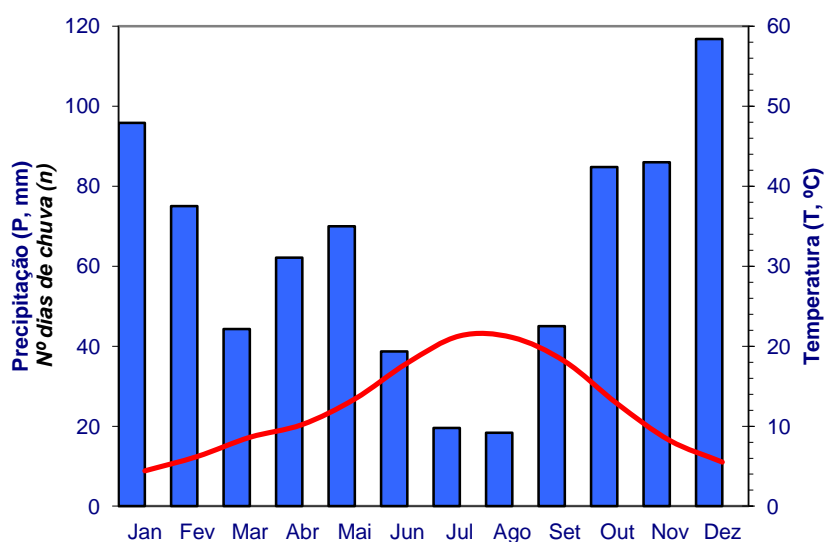


Figura 4—Diagrama ombrotérmico de Bragança, médias de 30 anos (1971/2000)

Com base nos dados da estação meteorológica de Bragança para o período de 1971/2000 (INMG, 2011) (Figura 4), a temperatura média anual é de 12,3°C com médias mensais que variam de 21,3°C (Julho) a 4,4°C (Janeiro). A precipitação média anual é de 758,3 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea. Observa-se a existência de um período quente e seco de Julho a Agosto, com uma temperatura média de 21,2°C e um período frio e húmido de Novembro a Abril, com uma temperatura média de 7,1°C. Durante o período quente e seco a precipitação é escassa, com um mínimo de 19,6 mm em Julho e um total de 42,4 mm de Julho a Agosto. A precipitação concentra-se no período húmido e frio, atingindo um pico de 118,6 mm em Dezembro.

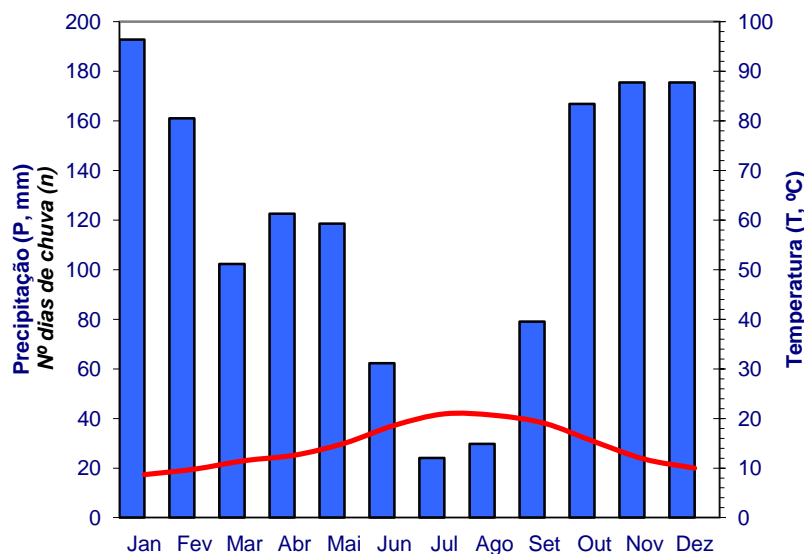


Figura 5-Diagrama ombrotérmico de Braga, médias de 30 anos (1971/2000).

Com base nos dados da estação meteorológica de Braga para o período de 1971/2000 (INMG, 2011) (Figura 5), a temperatura média anual é de 14,4°C com médias mensais que variam de 20,9°C (Julho) a 8,7°C (Janeiro). A precipitação média anual é de 1465,7 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea. Observa-se a existência de um período quente e seco de Julho a Agosto, com uma temperatura média de 20,8°C e um período frio e húmido de Novembro a Abril, com uma temperatura média de 10,7°C. Durante o período quente e seco a precipitação é escassa, com um mínimo de 24,1 mm em Julho e um total de 86,7 mm de Julho a Agosto. A precipitação concentra-se no período húmido e frio, atingindo um pico de 231,4 mm em Dezembro.

3.1.4. Caracterização dos solos

Em Vinhais, nomeadamente em Edroso (Figura 6), os solos dominantes são os Leptosolos dístricos órticos de xistos (Idox) que se caracterizam por serem “solos limitados por uma rocha dura continua e coerente ou por material muito calcário ou ainda uma camada continua, cimentada a partir de menos de 50 cm de profundidade, ou solos de material não consolidado muito pedregoso tendo menos de 20% de terra fina até uma profundidade de 125 cm, sem horizontes diagnóstico além do horizonte **A** mólico, úmbrico ou ócrico, com ou sem horizonte **B** câmbico, sem propriedades hidromórficas a menos de 50 cm da superfície, sem propriedades salicas” (Agroconsultores & Coba, 1991).

Os Leptossolos dístricos órticos de xistos, cobrem as encostas erosionadas por um uso indevido dos solos, tendo um grau de saturação em bases inferior a 50% (daí a reacção subácida a ácida), horizonte A de 10 a 30 cm de espessura, de textura media e por vezes cascalhenta, e horizonte C, quando presente, constituído por rocha degradada (Agroconsultores & Coba, 1991).

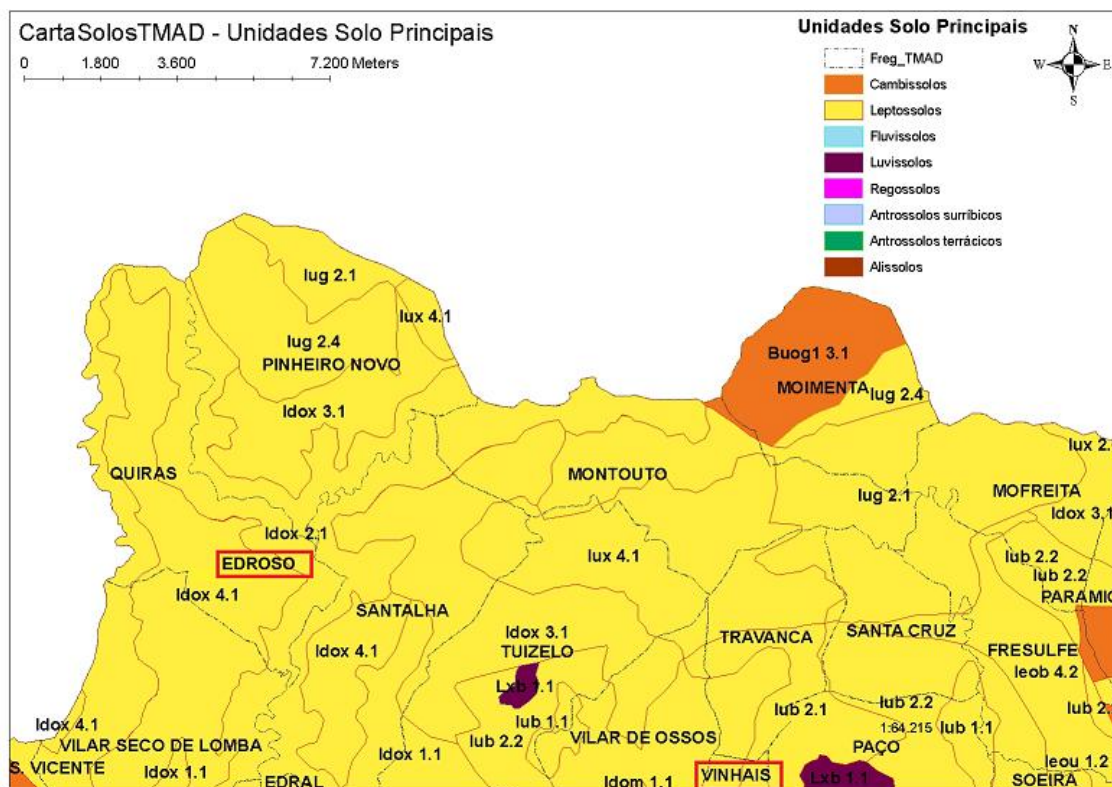


Figura 6—Caracterização dos solos do concelho de Vinhais (Carta Solos TMAD).

O tipo de solos predominante na área de estudo de Revelhe são essencialmente os Regossolos, visto os Antrossolos serem típicos de zonas com utilização agrícola (Figura 7).

“Os regossolos dístricos de granitos são solos de materiais não consolidados, com exclusão de materiais com uma textura grosseira ou com propriedades flúvicas, não tendo outro horizonte de diagnóstico além de um A úmbrico ou ócrico; sem propriedades gleicas em 50 cm a partir da superfície; sem características de diagnóstico para vertissolos ou andossolos; sem propriedades sálicas” (Agroconsultores & Geometral, 1995).

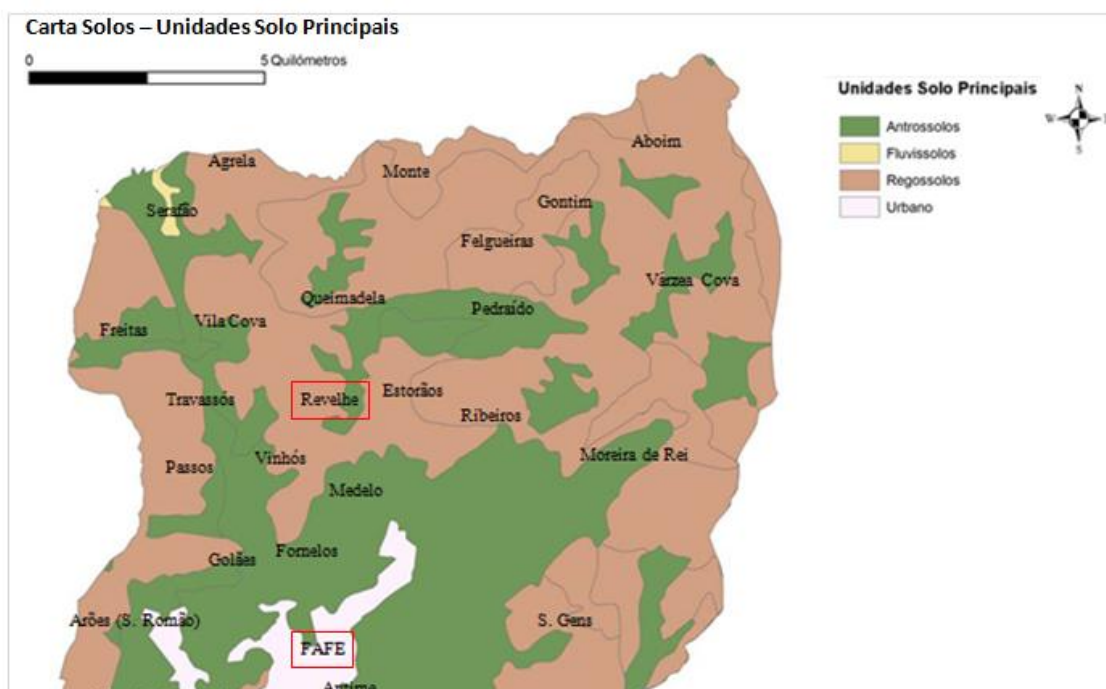


Figura 7–Caracterização dos solos no concelho de Fafe (Carta Solos entre DM).

3.1.5. Vegetação

A vegetação arbustiva em estudo inclui vários arbustos típicos de áreas de florestas, estes arbustos são espontâneos no litoral centro e norte de Portugal. Os matos, incluindo tojo, urzes, carqueja e giesta ocupam varias áreas no noroeste da península Ibérica, em que o clima tem uma marcada influencia atlântica (Freitas & Gonçalves, 2004).

O estudo incide essencialmente sobre dois tipos de vegetação arbustiva, a *Cytisus multiflorus* vulgarmente conhecida por giesta branca e o *Ulex europaeus* vulgarmente conhecido por tojo. A *Cytisus multiflorus* (giesta branca) pertence à vasta família das leguminosas e marca bem a influência mediterrânea, bem como a tendência continental do interior montanhoso (Quercus, 2006). O *Ulex europaeus* (tojo) pertence à família das leguminosas, é um arbusto cujo porte se situa entre 0,5 e os 2 metros. O seu habitat natural são os solos não calcários ou descalcificados do litoral atlântico europeu, pastagens secas e charnecas, sendo abundante em praticamente todo o território português (Godinho, 2002).

3.2. Colheita e preparação de amostras

3.2.1. Metodologia de estudo

Em cada região de estudo (Edroso e Revelhe), foram seleccionadas áreas de amostragem em locais queimados (fogos naturais) e não queimados com características edafo-climáticas e composição da vegetação idênticos. As amostras foram colhidas em 16 locais distintos (8 na zona queimada e 8 na zona não queimada), seis meses após a ocorrência do fogo, tanto em Edroso como em Revelhe. Em ambas as áreas de amostragem a vegetação arbustiva é principalmente constituída por *Cytisus multiflorus*, vulgarmente conhecida por Giesta branca e por *Ulex europaeus*, vulgarmente conhecido por tojo (Figuras 8 e 9).



Figura 8–*Cytisus multiflorus*

Figura 9–*Ulex europaeus*

De acordo com Hungerford (1996) a severidade do incêndio pode ser classificada em três classes distintas: baixa, moderada e alta. A Figura 10, na zona queimada, apresenta um grau de severidade baixa, com a vegetação parcialmente consumida, mostrando um aspecto superficial da passagem do fogo. O horizonte orgânico foi consumido parcialmente, havendo assim, um baixo aquecimento do solo.

Por sua vez, a Figura 11, na zona queimada, apresenta um grau de severidade moderado. O horizonte orgânico também foi parcialmente consumido, a vegetação foi consumida, com excepção dos cepos que foram profundamente carbonizados havendo assim, um aquecimento moderado do solo.

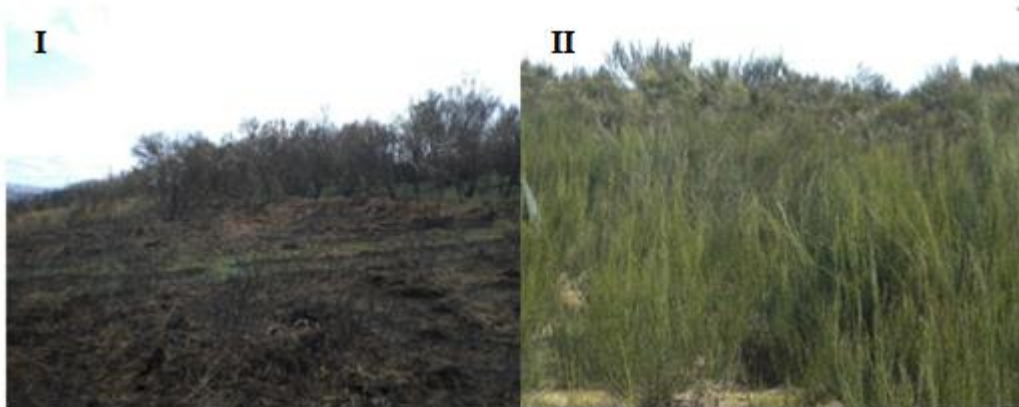


Figura 8—Área de amostragem de Edroso (I - zona queimada e II- zona não queimada)



Figura 9—Área de amostragem de Revelhe (III - zona queimada e IV - zona não queimada)

3.2.2. Corte e preparação de amostras de vegetação

Depois de seleccionadas as áreas de amostragem, como descrito no ponto **3.2.1**, seguiu-se o corte da vegetação, como é óbvio, apenas nas zonas não queimadas. Para o efeito, colocou-se um quadrado de ferro com uma área de $0,49 \text{ m}^2$ (Figura 13), seguindo-se o corte raso da vegetação (Figura 12) nomeadamente da giesta, do tojo e da vegetação herbácea, com o auxílio de uma tesoura de poda ou serrote, dependendo do diâmetro do caule.



Figura 10–Método de colheita da vegetação

Figura 11–Após o corte da vegetação

Posteriormente, as amostras foram pesadas no local da recolha com recurso a uma balança de campo. Alguma da vegetação, o suficiente para avaliação da biomassa e análise laboratorial, foi colocada num saco devidamente identificado e levada para o laboratório.

Já no laboratório (Figura 14), as amostras foram pesadas antes e após secagem a 65°C até peso constante, moídas e analisadas com vista à determinação da concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), carbono (C) e azoto (N).



Figura 12–Processo de moagem das amostras de vegetação

3.2.3. Recolha e preparação de amostras de horizonte orgânico

Depois de se proceder ao corte da vegetação, seguiu-se a recolha do horizonte orgânico (HO), definido como o material orgânico acumulado à superfície, na mesma área de 0,49 m². Este foi colocado em sacos plásticos devidamente identificados e transportado para o laboratório.

As amostras foram pesadas antes e após secagem a 65°C até peso constante, moídas e analisadas em laboratório com vista à determinação da concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), carbono (C) e azoto (N).

3.2.4. Recolha e preparação de amostras de solo

Nas mesmas áreas onde se procedeu à recolha de vegetação e horizonte orgânico, foram colhidas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm (Figura 15). Em cada profundidade colheram-se duas amostras, uma não perturbada, especificamente para a determinação da densidade aparente do solo (dap) e outra perturbada para a realização de análises física e químicas do solo. Na camada 0-5 cm colheu-se ainda outra amostra não perturbada para a determinação da condutividade hidráulica do solo ou permeabilidade.



Figura 13–Recolha de amostras de solo

As amostras para a determinação da densidade aparente foram colocadas na estufa a 105°C durante 48h, sendo pesadas ao fim deste tempo. As amostras para avaliação de características físicas e químicas do solo foram secas a 45°C durante cerca de 48 h e posteriormente crivadas num crivo de malha de 2 mm (Figura 16).



Figura 14–Processo de crivagem das amostras de solo

3.3. Métodos analíticos

3.3.1. Propriedades físicas

Todas as análises físicas foram realizadas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB).

3.3.1.1. Percentagem de Elementos Grosseiros

Os elementos grosseiros, partículas minerais com dimensões superiores a 2 mm, foram incluídos num só lote e expressos em percentagem em relação ao peso total da amostra.

3.3.1.2. Textura

As amostras com quantidade de matéria orgânica superior a 1% foram submetidas a um pré-tratamento com vista à sua destruição (Figura 17). Para este efeito, utilizou-se água oxigenada a 20 volumes e aquecimento em placa a temperatura controlada de aproximadamente 80°C. As proporções da areia, limo e argila foram determinadas pelo processo de análise mecânica, descrito por VanReeuwijk (2002). Na determinação da areia grossa utilizou-se o método de crivagem, na determinação da argila e limo o método da pipetagem (Figura 18) e na determinação da areia fina o método da decantação. A partir dos valores obtidos, as classes de textura foram determinadas segundo o diagrama triangular (Figura 19), proposto por Gomes & Silva (1962).



Figura 15—Placa de aquecimento para destruição da matéria orgânica

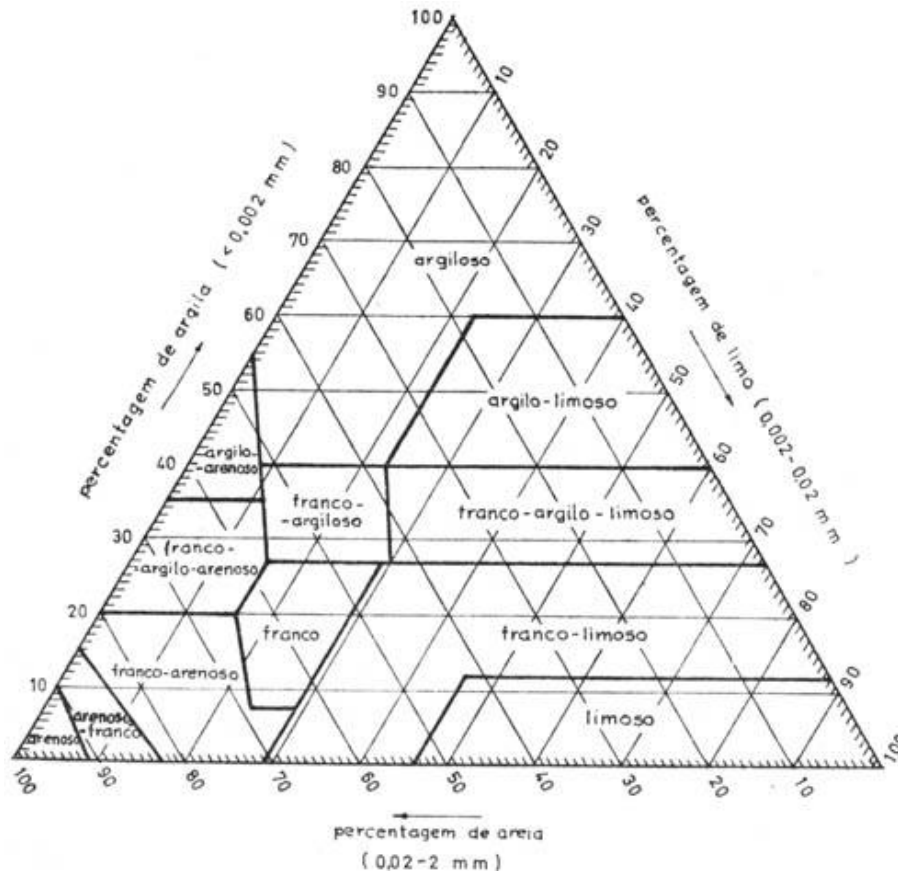


Figura 16–Diagrama triangular das classes de textura dos solos de acordo com os teores de areia, limo e argila (Gomes & Silva, 1962)

3.3.1.3. Determinação do teor de humidade

Pesam-se 10g da amostra de solo e coloca-se na estufa a 105°C, durante 48 h. O teor de humidade expresso em % é obtido por (WRBSR, 2006):

$$\% \text{ humidade} = \frac{A - B}{B} * 100$$

onde,

A- peso antes da amostra ir à estufa

B- peso da amostra depois de ir à estufa a 105°C

O factor de correcção de humidade (fch) para aplicar aos resultados analíticos ou para aplicar à quantidade de amostras a pesar é:

$$\text{fch} = \frac{100 + \% \text{ humidade}}{100}$$

3.3.1.4. Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada em amostras não perturbadas colhidas num cilindro com um volume de 100 cm³.

A densidade aparente foi determinada através da seguinte fórmula:

$$D_{ap} = \frac{P}{V_c}$$

onde,

D_{ap} – densidade aparente (g/cm³);

P – peso da amostra de solo seco a 105°C (g);

V_c – volume do cilindro (cm³).

3.3.1.5. Permeabilidade ou Condutividade hidráulica

O coeficiente de permeabilidade é determinado pela geometria do complexo de poros, dependendo da textura e estrutura do solo, e por outro lado, pelas características intrínsecas dos solos (viscosidade e densidade) (Eijkelkamp, s/d).

A permeabilidade ou condutividade hidráulica (K) é determinada pelo método da medição com nível de água constante descrito por, Eijkelkamp (s/d). A lei de Darcy é usada para calcular o factor K aquando da aplicação do método do nível de água constante, para a determinação da permeabilidade.

$$V = k * i * A * t$$

onde,

V- volume de água que flui através da amostra (cm³)

k – coeficiente de permeabilidade ou “factor k” (cm/d)

i – gradiente de aumento de permeabilidade, ou seja $i = \frac{h}{L}$

A – superfície da secção transversal da amostra (cm²)

t – tempo utilizado para o fluxo de água através do volume

Segundo Figueiredo (1990), a condutividade hidráulica pode ser caracterizada em várias classes de permeabilidade.

Quadro 2-Classes de Permeabilidade e respectiva quantificação (“Soil Survey Manual” citado por Arnoldus (1977b))

Designação	Valor (cm/h)
Muito Rápida	≥ 25.40
Rápida	12.70 a 25.40
Moderadamente Rápida	6.35 a 12.70
Moderada	2.00 a 6.35
Moderadamente Lenta	0.50 a 2.00
Lenta	0.13 a 0.50
Muito Lenta	< 0.13

3.3.2. Propriedades químicas

Todas as análises químicas foram realizadas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB).

3.3.2.1. Determinação do valor de pH

Os valores de pH foram determinados em H₂O e KCl, pelo método potenciométrico, em suspensão solo:água (1:2,5), descrito por VanReeuwijk (2002). As classes de pH são denominadas de acordo com o descrito por Porta et al. (1999) (Quadro 3).

Quadro 3-Classes de pH do solo (Porta et al., 1999)

pH	Denominação
<4,5	Extremamente ácido
4,5-5,0	Fortemente ácido
5,1-5,5	Muito ácido
5,6-6,0	Medianamente ácido
6,1-6,5	Ligeiramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Medianamente básico
7,9-8,4	Básico
8,5-9,0	Ligeiramente alcalino
9,1-10	Alcalino
<10,0	Fortemente alcalino

3.3.2.2. Determinação da Matéria Orgânica

A quantidade de matéria orgânica (MO) foi determinada pelo método de Walkley-Black (Combs & Nathan, 1998). O cálculo é feito com base na seguinte expressão:

$$\%C \text{ facilmente oxidável} = \frac{(B - S) * M \text{ de Fe}^{2+} * 12}{\text{Gramas de solos} * 4000} * 100$$

$$\% \text{ de materia orgânica} = \frac{\%C}{0.58} \text{ ou } \%C * 1.72$$

onde,

B – ml de solução de ferro necessários para a titulação do branco

S – ml de solução de ferro necessários para a titulação da amostra

$\frac{12}{4000}$ – peso de um miliequivalente de C (g)

O teor de matéria orgânica pode ser classificado em várias classes tendo em conta a textura (Quadro 4). A classificação depende da textura, pois os solos mais ricos em argila possuem teores mais elevados de matéria orgânica.

Quadro 4-Classificação dos teores de matéria orgânica de acordo com a textura (Costa, 1991).

Percentagem de matéria orgânica		Designação indicativa do nível de matéria orgânica
Em horizontes de textura grosseira	Em horizontes de textura fina	
20-30	30-15	Muito alto
10-5	15-7	Alto
5-3	7-5	Medianamente alto
3-2	5-2	Médio
2-0,5	2-1	Baixo
<0,5	<1	Muito baixo

3.3.2.3. Determinação do Potássio e Fósforo assimiláveis

O potássio e fósforo assimiláveis, foram determinados pelo método de Egner-Riehm (E-R). O potássio foi quantificado por espectrofotometria de emissão de chama e

o fósforo por espectrofotometria de absorção molecular em analisador de fluxo segmentado (Ministério da Agricultura e Pescas, 1977).

3.3.2.4. Determinação do Azoto total

O teor de azoto total foi determinado no extracto após a digestão da amostra com $H_2SO_4 + H_2O_2$, segundo o método de Kjeldahl, descrito por Bremner (1996) (Figura 20).



Figura 17–Processo de determinação do azoto total

3.3.2.5. Carbono Orgânico

3.3.2.5.1. No solo

O teor de carbono foi calculado por incineração, em uso no Laboratório de Solos da ESAB. Para o efeito, procedeu-se à incineração de 2,5 g por amostra, com 2 repetições, a 450°C durante 6 horas.

3.3.2.5.2. Na vegetação e Horizonte Orgânico

Efectuou-se a incineração de 1g por amostra, com duas repetições, 450°C durante 6 horas.

3.3.2.6. Determinação de elementos na vegetação e Horizonte Orgânico

Alguns dos macronutrientes (Ca, Mg, K, P, C e N) presentes na vegetação e HO foram determinados por espectrofotometria de absorção molecular.

3.3.2.7. Determinação da Acidez de Troca e Alumínio de Troca

Determinados por extração com KCl 1M, seguido da agitação e centrifugação dos extractos (Sims, 1996). A acidez de troca (AT) foi quantificada por titulação com NaOH 0.05M e o alumínio de troca por retrotitulação com HCl 0,05M (Sims, 1996).

Os cálculos foram efectuados da seguinte forma (Sims, 1996):

$$\text{Acidez de Troca} = \frac{(\text{mL de NaOH amostra} - \text{mL de HCl branco}) * 0.1}{\text{Peso da amostra (g)}} \left(\frac{\text{Cmolc}}{\text{Kg de solo}} \right)$$

$$\text{Alumínio de troca} = \frac{(\text{mL de HCl amostra} - \text{mL de HCl branco}) * 0.1}{\text{Peso da amostra (g)}} \left(\frac{\text{Cmolc}}{\text{Kg de solo}} \right)$$

3.3.2.8. Determinação da Capacidade de Troca catiónica efectiva e Grau de Saturação em Bases

A capacidade de troca catiónica efectiva e o grau de saturação em bases foram calculadas tendo em conta as bases de troca e a acidez de troca.

$$\text{CTCe} = \text{SBT} + \text{AT}$$

onde,

SBT – soma das bases de troca $\left(\frac{\text{Cmolc}}{\text{Kg de solo}} \right)$;

AT – acidez de troca $\left(\frac{\text{Cmolc}}{\text{Kg de solo}} \right)$.

3.3.2.9. Determinação da condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (Figura 20) foi determinada pesando 20g de terra fina sendo depois adicionados 100 ml de água desionizada, numa proporção de 1:5 (Shaw, 1999).

A determinação da condutividade eléctrica (salinidade no solo) numa proporção de 1:5 é descrito pela norma ISO 11265.

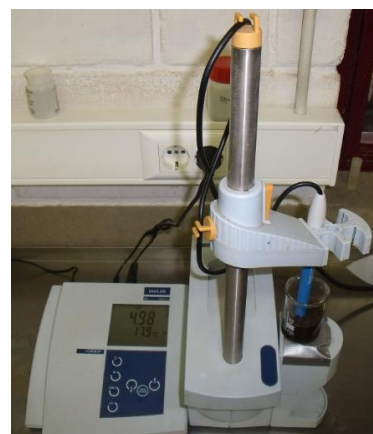


Figura 18–Conduvímeter

3.4. Análises estatísticas

O tratamento estatístico dos dados baseou-se em análises de variância e testes de comparação múltipla de médias (Tukey, 5%). Inicialmente, usou-se o Teste F para duas amostras de variâncias iguais, dependendo do valor de significância usou-se o Teste T para duas amostras com variâncias iguais ($p < 0,05$) ou desiguais ($p > 0,05$).

Em termos de significância para a mesma profundidade optou-se, que as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$) e as seguidas de letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

CAPITULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Vegetação e Horizonte Orgânico

O estudo da vegetação incide sobre as espécies arbustivas *Ulex europaeus* vulgarmente conhecido por tojo, e *Cytisus multiflorus* vulgarmente conhecida por giesta branca. Para além da vegetação arbustiva, estudou-se também a vegetação herbácea e o horizonte orgânico do solo (HO), associados àquelas espécies arbustivas. Avaliaram-se alguns macronutrientes nesses três compartimentos (vegetação arbustiva, herbácea e HO), nomeadamente C, N, P, K, Ca e Mg.

4.1.1. Principais resultados

Os resultados obtidos para a vegetação e para o horizonte orgânico, nas duas áreas de amostragem, Edroso e Revelhe, apresentam-se de seguida. Estes dados dizem apenas respeito às áreas não queimadas.

4.1.1.1. Vegetação herbácea

A vegetação herbácea proveniente de Edroso (Quadro 5) contém uma percentagem elevada de carbono e uma diminuta de azoto, resultando em razões C/N consideradas elevadas (superiores a 30).

Quadro 5—Carbono, azoto e relação C/N da vegetação herbácea, Edroso

Local	%N	%C	C/N
9	1,61	72,21	44,74
10	1,58	93,04	58,74
11	1,85	79,41	42,83
12	2,12	87,74	41,44
13	1,86	91,37	49,15
14	2,00	92,29	46,07
15	1,87	88,91	47,62
16	1,94	89,42	46,07

A %Ca mostra valores próximos de 0,20 e a %Mg cerca de 0,10. Em relação à %K, esta apresenta diferenças entre locais de amostragem, oscilando de 0,50 a aproximadamente 1,30. Por fim, no que se refere à %P, esta apresenta valores muito baixos (Figura 21).

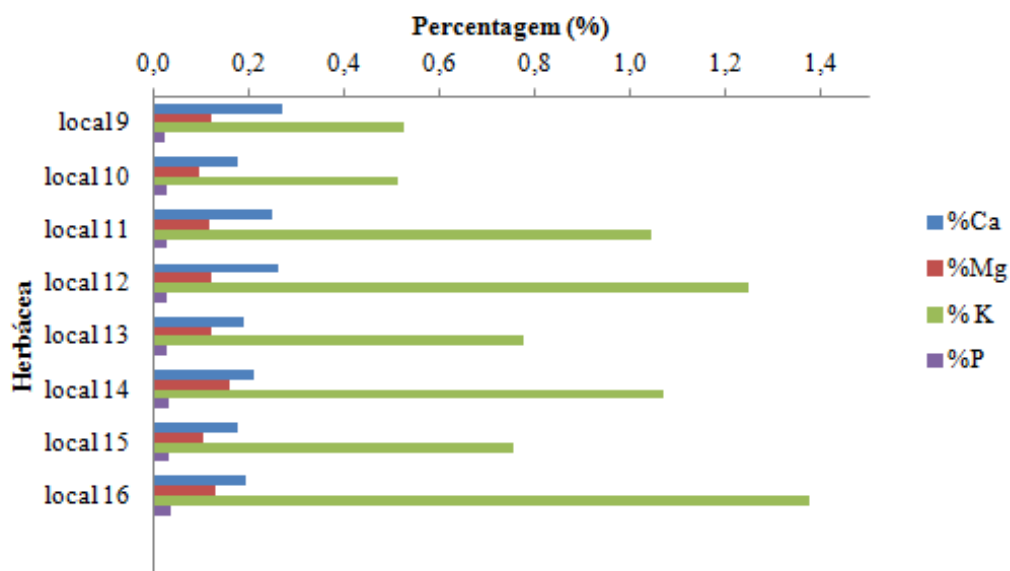


Figura 19– Macronutrientes na vegetação herbácea, Edroso

4.1.1.2. Vegetação arbustiva, Tojo

A relação C/N do tojo é muito elevada (muito superior a 30), indicativa de que a decomposição dos resíduos provenientes desta espécie processa-se de forma lenta. Em Revelhe (Quadro 7), os valores são ligeiramente mais baixos do que em Edroso (Quadro 6).

Quadro 6-Carbono, azoto e relação C/N do Tojo, Edroso

Local	%N	%C	C/N
9	0,97	98,44	101,49
10	-	-	-
11	1,23	97,97	79,52
12	1,14	98,30	86,15
13	1,12	98,34	88,12
14	1,36	98,21	72,21
15	1,18	98,31	83,25
16	1,14	98,06	85,71

Quadro 7-Carbono, azoto e relação C/N do Tojo, Revelhe

Local	%N	%C	C/N
25	1,57	97,30	62,01
26	1,50	96,93	64,53
27	1,36	97,16	71,60
28	1,59	96,57	60,93
29	1,73	94,70	54,77
30	-	-	-
31	1,04	97,43	93,50
32	1,84	97,40	52,91

As percentagens de macronutrientes, presentes no tojo, mostram comportamento bastante semelhante em Edroso (Figura 23) e Revelhe (Figura 22). A %Ca é similar em todos os locais de amostragem de Edroso. Por seu lado, em Revelhe os valores embora prevaleçam dentro da mesma gama, mostram ligeiras oscilações. Quanto à %Mg, esta mostra valores um pouco inferiores em Edroso. A %K quase duplica em Revelhe e a %P apresenta valores relativamente baixos em ambas as áreas de amostragem, embora, sendo mais baixos em Edroso.

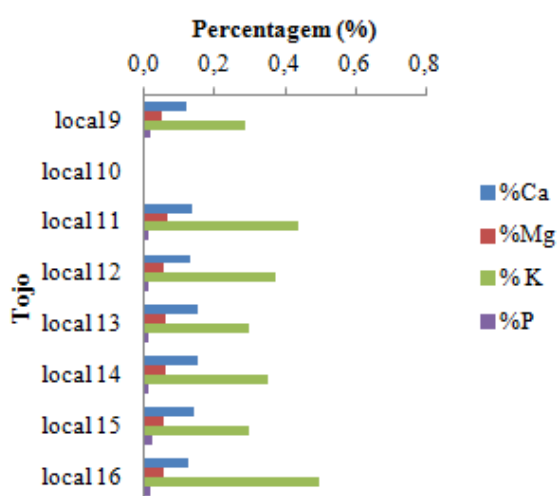


Figura 21 – Macronutrientes do Tojo, Edroso

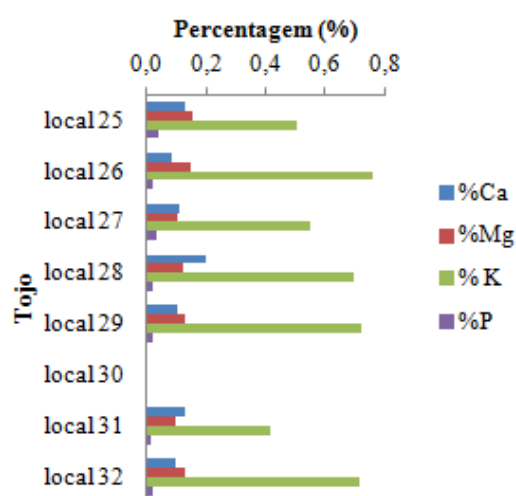


Figura 20 – Macronutrientes do Tojo, Revelhe

4.1.1.3. Vegetação arbustiva, Giesta

A giesta apresenta %N superiores e %C similares às do tojo, resultando em razões C/N mais baixas (Quadros 8 e 9), indicativo de que os resíduos provenientes desta espécie decompõem-se mais rapidamente comparativamente aos do tojo.

Quadro 8-Carbono, azoto e relação C/N da Giesta, Revelhe

Local	%N	%C	C/N
9	1,75	97,67	55,97
10	-	-	-
11	2,12	97,79	46,10
12	2,05	97,43	47,48
13	1,82	97,87	53,83
14	2,23	97,84	43,91
15	1,73	98,14	56,63
16	1,99	97,66	49,00

Quadro 8-Carbono, azoto e relação C/N da Giesta, Revelhe

Local	%N	%C	C/N
25	1,82	96,74	53,12
26	-	-	-
27	-	-	-
28	1,56	96,30	61,61
29	2,09	97,15	46,42
30	2,01	97,46	48,51
31	-	-	-
32	1,84	97,40	52,91

No que respeita aos macronutrientes, estes tendem a apresentar uma distribuição diferenciada em ambas as áreas de amostragem, Edroso (Figura 24) e Revelhe (Figura 25). A %Ca predomina entre os 0,10 e os 0,20. A %Mg em Edroso é um pouco inferior à %Ca, verificando-se geralmente o contrário em Revelhe. Em relação à %K, esta é a que mais se evidencia em ambas as áreas. Por sua vez, a %P é a que mostra os valores mais baixos, apresentando uma presença residual.

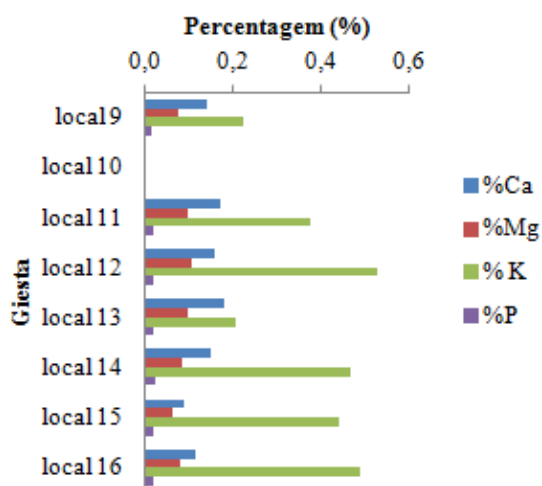


Figura 22–Macronutrientes da Giesta, Edroso

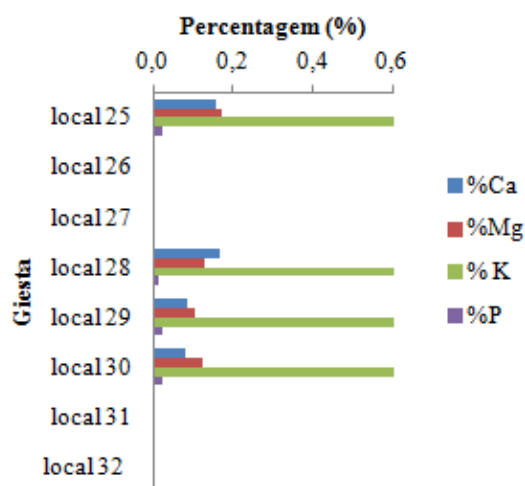


Figura 23–Macronutrientes da Giesta, Revelhe

4.1.1.4. Horizonte orgânico

Nas duas áreas de amostragem (Quadro 10 e 11), as %N são relativamente baixas e, em contrapartida as %C são bastante elevadas no horizonte orgânico do solo (HO), resultando em razões C/N similares nas duas áreas.

Quadro 9-Carbono, azoto e relação C/N no horizonte orgânico, Edroso

Local	%N	%C	C/N
9	-	-	-
10	1,47	97,43	66,10
11	1,50	80,24	53,42
12	1,66	77,13	46,35
13	-	-	-
14	-	-	-
15	1,59	72,28	45,55
16	1,49	91,64	61,62

Quadro 10-Carbono, azoto e relação C/N no horizonte orgânico, Revelhe

Local	%N	%C	C/N
25	-	-	-
26	0,76	43,43	57,45
27	0,93	50,35	54,37
28	1,13	74,29	65,63
29	1,10	64,41	58,72
30	-	-	-
31	0,93	56,03	60,51
32	-	-	-

Os macronutrientes presentes no horizonte orgânico têm comportamento diferente em Edroso (Figura 26) e Revelhe (Figura 27). Em relação à %Ca os valores oscilam dentro da mesma gama. A %Mg é um pouco variável, em Edroso o seu teor é um pouco mais baixo do que em Revelhe. Em Edroso, o horizonte orgânico apresenta elevada %K, ao contrário do que acontece em Revelhe, que apresenta valores bastante mais baixos. Por fim, a %P mostra comportamento idêntico em Edroso e Revelhe, os valores são muito baixos.

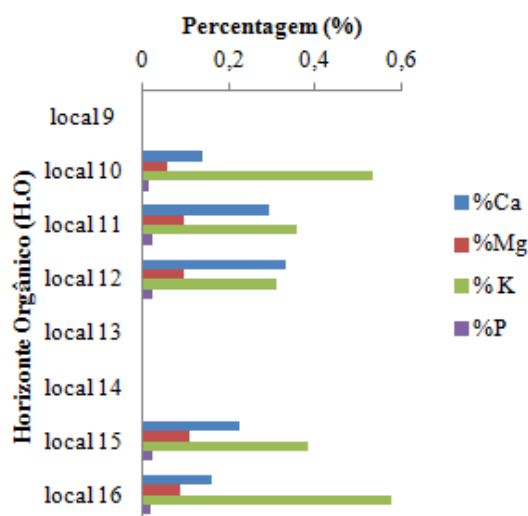


Figura 24–Macronutrientes no horizonte orgânico, Edroso

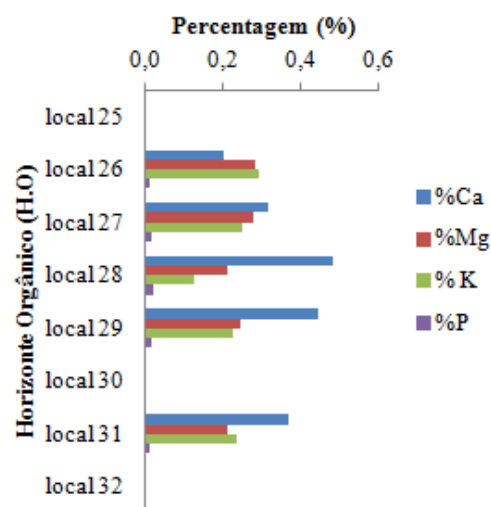


Figura 25–Macronutrientes no horizonte orgânico, Revelhe

4.2. Impacto do fogo nas propriedades do solo

Os resultados foram analisados comparando as duas áreas, e as profundidades do solo amostradas, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm, quanto aos parâmetros caracterizadores das propriedades do solo.

4.2.1. Propriedades físicas

4.2.1.1. Elementos Grosseiros

A percentagem de elementos grosseiros (%El Gr) tem comportamento idêntico nas duas áreas de amostragem (Figuras 28 e 29). Nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15 cm, em ambas as áreas, verifica-se uma ligeira redução da %El Gr na zona queimada (diferenças não significativas), observando-se uma redução significativa nas restantes profundidades. O decréscimo da %El Gr na superfície das zonas queimadas deve-se essencialmente à maior exposição do solo à erosão, pois o solo encontra-se nu sem qualquer protecção contra os agentes erosivos, sendo as partículas mais facilmente arrastadas (Costa, 1991).

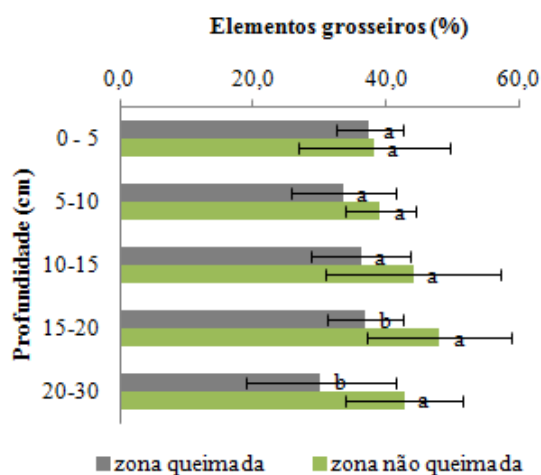


Figura 26—Percentagem de elementos grosseiros no solo, Edroso

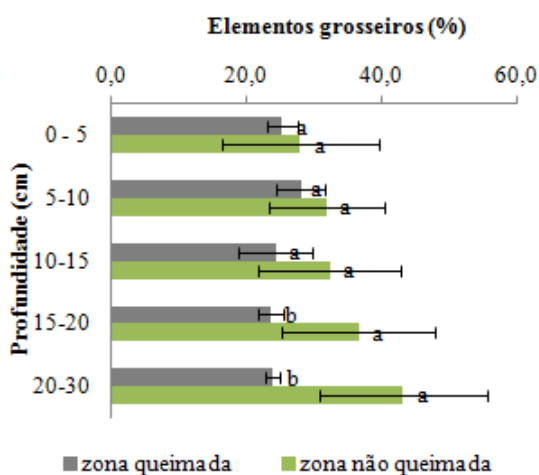


Figura 27—Percentagem de elementos grosseiros no solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$)

4.2.1.2. Porosidade do solo

No que respeita à porosidade do solo, tanto em Edroso (Figura 30) como em Revelhe (Figura 31), o comportamento também é similar. Em Edroso, a porosidade diminui nas zonas queimadas em todas as profundidades. Em Revelhe, apresenta algumas variações nas profundidades 0-5 e 10-15 cm, onde a porosidade é superior nas zonas não queimadas.

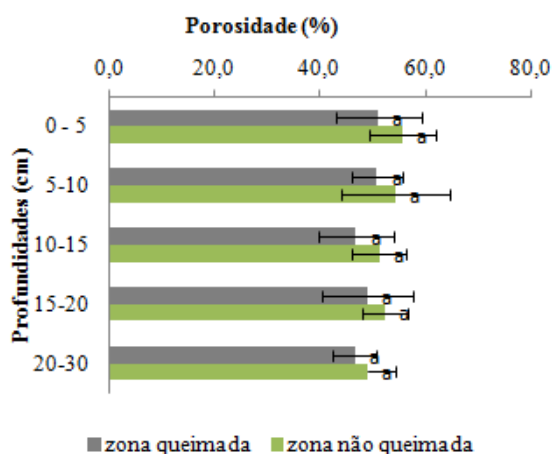


Figura 28—Porosidade do solo, Edroso

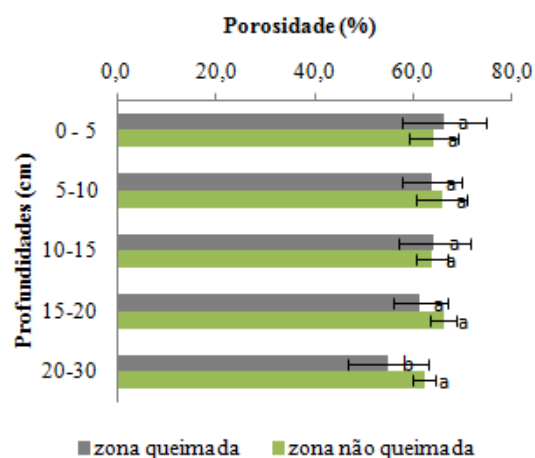


Figura 29—Porosidade do solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$)

A remoção da camada orgânica existente à superfície devido à passagem do fogo leva a que o solo mineral fique exposto directamente ao impacto das gotas da chuva, o que pode resultar numa destruição da estrutura das camadas superficiais do solo e consequente redução da porosidade (Freitas & Gonçalves, 2004). Também, em consequência dos incêndios surgem cinzas que podem provocar o entupimento dos macroporos, afectando a porosidade do solo (Freitas & Gonçalves, 2004). Segundo Macedo & Sardinha (1993), a ocorrência de um fogo, conduz normalmente a um aumento do número de microporos, contudo não substancial.

4.2.1.3. Permeabilidade ou Condutividade hidráulica do solo

A permeabilidade apenas foi estudada na camada 0-5 cm devido ao facto das alterações provocadas pelo incêndio serem mais significativas à superfície, não alterando a permeabilidade das camadas mais profundas (Macedo & Sardinha, 1993; Are et al., 2009).

Globalmente, verifica-se um decréscimo da permeabilidade da zona não queimada para a zona queimada. Em Edroso (Figura 32), ocorre uma ligeira diminuição da permeabilidade após fogo, mas sendo classificada de muito rápida em ambas as situações. Em Revelhe (Figura 33) a diminuição da permeabilidade é bastante mais brusca da zona não queimada para a zona queimada. No entanto em termos de classificação qualitativa, passa-se simplesmente de uma permeabilidade muito rápida para uma permeabilidade moderadamente rápida.

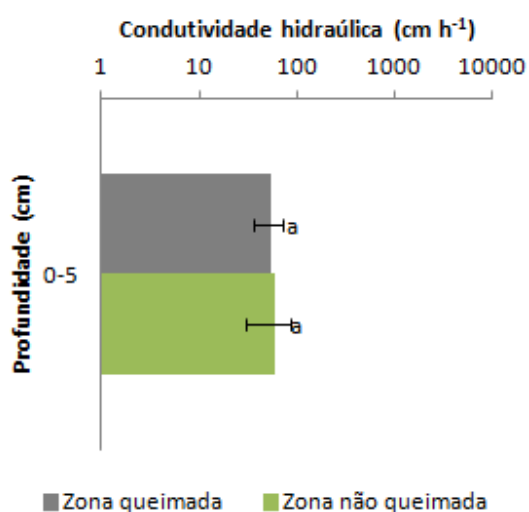


Figura30—Permeabilidade do solo na profundidade 0-5 cm, Edroso

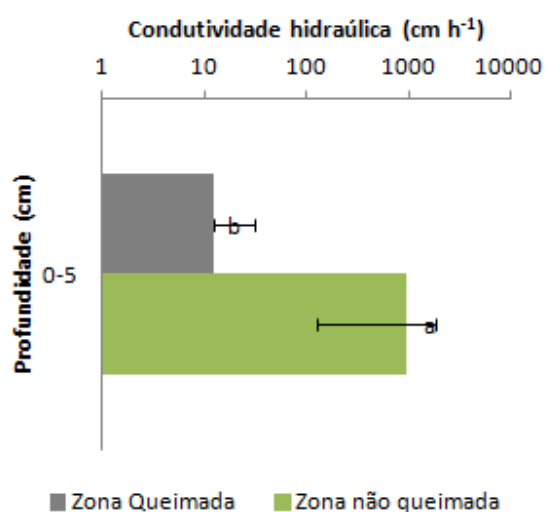


Figura31—Permeabilidade do solo na profundidade 0-5 cm, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$). A Permeabilidade está representada à escala logarítmica

Hubbert et al. (2006) obtiveram resultados idênticos aos aqui apresentados, referindo decréscimos da permeabilidade do solo após fogo. Também Are et al. (2009) referem que após fogo, a condutividade hidráulica diminui significativamente nas primeiras camadas de solo. No entanto a superfície do solo responde de diversas formas à passagem do fogo (Are et al., 2009). A diminuição da permeabilidade deve-se ao aumento do número de microporos, sem alterar substancialmente a densidade aparente do solo (Macedo & Sardinha, 1993).

4.2.1.4. Densidade Aparente do solo

Em Revelhe (Figura 35), a densidade aparente (Dap) é sempre inferior na zona não queimada, apresentando um comportamento bastante homogéneo em profundidade. Em Edroso (Figura 34), a Dap é variável ao longo do perfil do solo. Nas profundidades 0-5 e 10-15 cm a Dap é superior nas zonas não queimadas, mostrando comportamento inverso nas restantes profundidades.

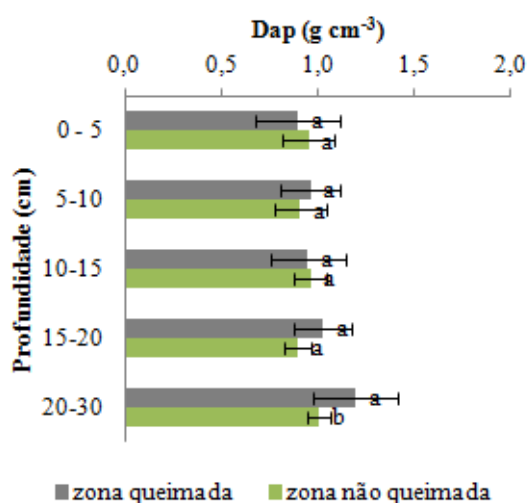


Figura33—Densidade aparente do solo, Edroso

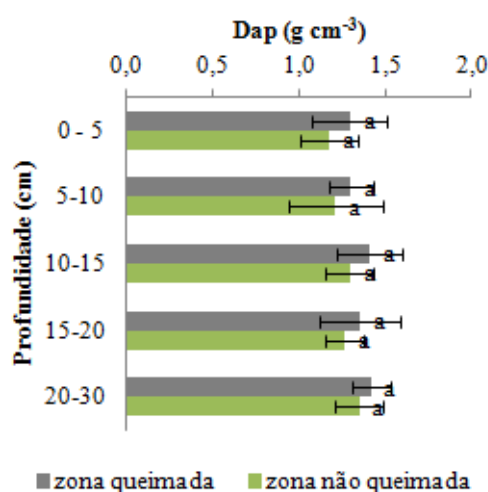


Figura32—Densidade aparente do solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05).

Por norma, a densidade aparente do solo aumenta após fogo, tal como se verifica no caso de Revelhe e maioritariamente em Edroso. Hubbert et al. (2006) obtiveram resultados análogos nos seus estudos. O incremento da densidade aparente nas zonas queimadas está directamente relacionado com a diminuição da porosidade (Figura 30 e 31) e da permeabilidade (Figura 32 e 33) do solo.

4.2.1.5. Textura do solo

Em Edroso (Quadro 12), o solo apresenta uma classe de textura Franco-limosa, e em Revelhe (Quadro 13) o solo apresenta uma textura Franco-arenosa.

De um modo geral, a classe de textura do solo não é afectada pela passagem do fogo (Macedo & Sardinha, 1993). No entanto, podem ocorrer pequenas alterações no conteúdo de limo e argila, que em geral, variam em direcções opostas, com os ganhos e

as perdas de argila no solo. A diminuição do teor de argila sugere que houve formação de agregados estáveis de partículas de maior tamanho de limo, levando ao aumento de limo após o fogo (Hubberte et al., 2006; Are et al., 2009). González-Pérez et al. (2004) referem que os solos tendem a apresentar texturas mais grosseiras após fogo.

Quadro 11–Distribuição das partículas do solo areia, limo e argila, Edroso

Profundidade (cm)	Zona queimada				Zona não queimada			
	Areia	Limo	Argila	Classe textura	Areia	Limo	Argila	Classe textura
	(%)				(%)			
0-5	44,0±3,4 ^b	34,8±1,9 ^b	21,2±2,7 ^a	Franco-limosa	48,8±2,8 ^a	30,5±2,3 ^a	20,7±2,3 ^a	Franco-limosa
5-20	44,7±3,6 ^a	34,5±2,7 ^a	20,8±1,4 ^b	Franco-limosa	45,4±3,1 ^a	31,9±2,5 ^a	22,7±2,0 ^a	Franco-limosa
20-30	40,6±5,2 ^b	39,2±3,5 ^a	20,2±2,5 ^a	Franco-limosa	47,5±2,3 ^a	30,7±1,8 ^b	21,9±2,3 ^a	Franco-limosa

Nota: Médias representadas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05).

Quadro 12–Distribuição das partículas constituintes do solo areia, limo e argila, Revelhe

Profundidade (cm)	Zona queimada				Zona não queimada			
	Areia	Limo	Argila	Classe textura	Areia	Limo	Argila	Classe textura
	(%)				(%)			
0-5	68,4±6,5 ^a	15,8±3,1 ^a	15,7±4,9 ^a	Franco-arenosa	71,5±5,3 ^a	12,4±3,0 ^a	16,0±3,9 ^a	Franco-arenosa
5-20	66,8±3,0 ^b	16,3±2,8 ^a	16,9±3,6 ^a	Franco-arenosa	75,4±6,9 ^a	13,0±5,2 ^a	11,6±4,6 ^b	Franco-arenosa
20-30	64,2±7,1 ^b	16,3±7,7 ^a	20,7±12,7 ^a	Franco-arenosa	74,9±4,0 ^a	12,0±2,7 ^b	13,0±1,9 ^a	Franco-arenosa

Nota: Médias representadas por letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

4.2.2. Propriedades químicas

4.2.2.1. pH

O pH em Edroso (Figura 36) e em Revelhe (Figura 37) apresenta comportamento bastante similar. Em ambos os casos, o pH do solo é superior nas zonas não queimadas. Segundo a classificação do pH descrita por Porta et al. (1999), em Edroso o pH na zona não queimada, na profundidade 0-5 cm é muito ácido (4,5 a 5,0), diminuindo ligeiramente o seu grau de acidez nas restantes camadas, onde é classificado de fortemente ácido (5,1 a 5,5). Na zona queimada, o pH do solo é bastante homogêneo em todas as profundidades, apresentando um pH fortemente ácido. Em Revelhe, o pH é designado de fortemente ácido tanto nas zonas não queimadas como nas zonas queimadas.

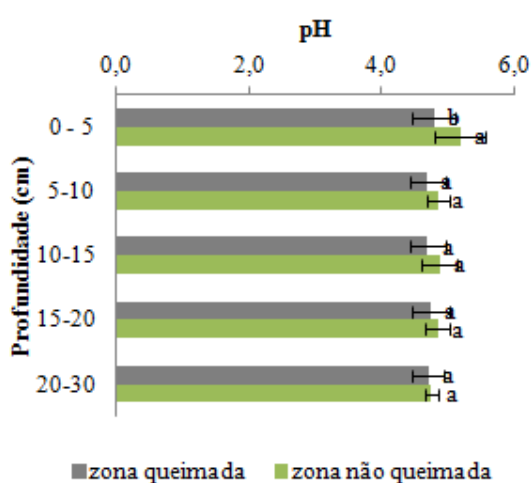


Figura 34—pH do solo, Edroso

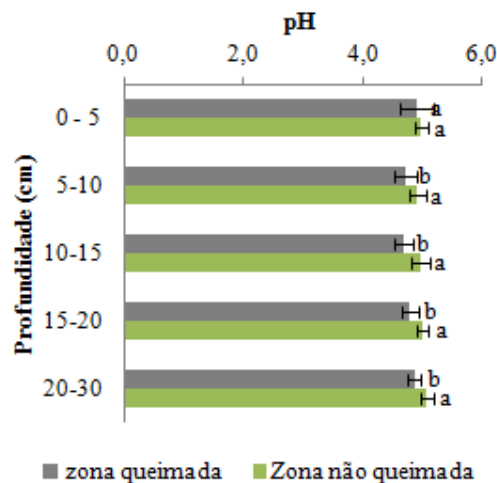


Figura 35—pH do solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$)

Autores como Franco-Vizcaíno e Sous-Ramirez (1997) defendem que as diferenças entre os valores de pH de zonas queimadas e não queimadas não são significativas. Por outro lado, a basicidade do solo só se verifica quando não ocorre arrastamento das bases de troca por percolação (o que está relacionado com as condições climáticas após fogo) e existe um grau elevado de saturação do complexo de troca (Porta et al., 1999). Assim, parece que as condições climáticas após fogo conduziram a uma redução das bases de troca, com reflexos nos valores do pH do solo.

O pH do solo diminuiu em todas as camadas após fogo (Figuras 36 e 37), sendo esta diminuição mais visível na profundidade 0-5 cm. Reduções no pH após fogo também são referidas por outros autores (Rashid, 1987; Franco-Vizcaino e Sosa-Ramirez, 1997).

4.2.2.2. Matéria Orgânica do solo

A percentagem de matéria orgânica (%MO) tem comportamento heterogêneo nas duas áreas de amostragem (Figuras 38 e 39). Em Edroso, na profundidade 0-15 cm é superior na zona não queimada, mostrando tendência inversa nas restantes profundidades (15-30 cm). De acordo com Costa (1991), na profundidade 0-10 cm da zona não queimada de Edroso a %MO é designada de medianamente alta (7-5%) e nas restantes profundidades de média (5-2%). Na profundidade 0-5 da zona queimada é classificada de alta (15-7%), na profundidade 5-10 cm de medianamente alta, na profundidade 10-20 cm de média e na profundidade 20-30 de baixa. Em Revelhe, na profundidade 0-5 cm o teor de MO é ligeiramente superior na zona não queimada, apresentando as restantes profundidades comportamento inverso. Ambas as zonas, zona não queimada e zona queimada apresentam teores de MO medianamente altos em todas as profundidades. Nas observações de campo, foram visíveis grandes quantidades de materiais carbonizados depositados à superfície do solo.

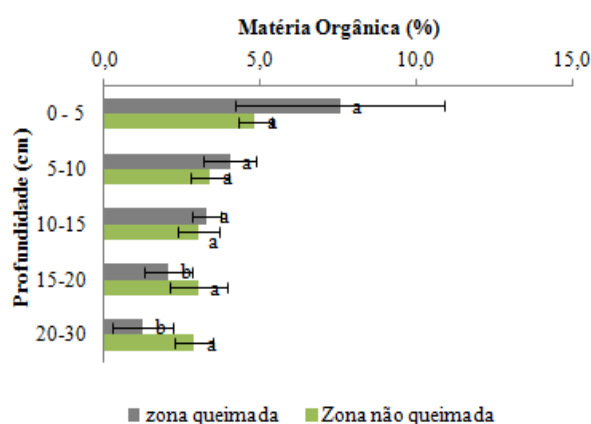


Figura36–Matéria orgânica do solo, Edroso

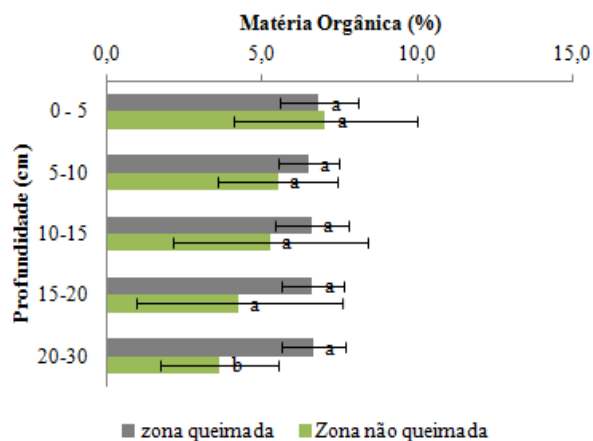


Figura37–Matéria orgânica do solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$).

Normalmente após um fogo moderado existe um aumento dos teores de MO no solo, sugerindo a inclusão substancial de materiais vegetais carbonizados (González-Pérez et al., 2004) e a presença de cinzas residuais (Pardini et al., 2004).

4.2.2.3. Azoto Total do solo

A percentagem de azoto total (%N) apresenta comportamento bastante heterogéneo nas duas áreas de amostragem. Em Edroso (Figura 40), na profundidade 0-5 cm, a %N na zona não queimada é inferior ao da zona queimada. Nas restantes profundidades é superior na zona não queimada. Em Revelhe (Figura 41), com excepção da profundidade 10-15 cm, a %N é inferior na zona não queimada.

Em Edroso, segundo NLWRA (2002) a %N na zona não queimada é classificada de extremamente baixa (0 a 0,05%), com excepção da profundidade 5-10 cm que é classificada de moderada (0,2 a 0,3%). Na zona queimada, à excepção da profundidade 5-10 cm é classificada de baixa (0,1 a 0,2%). Enquanto, na zona não queimada a profundidade 0-5 cm é classificada de muito baixa (0,05 a 0,1%) e a de 10-15 cm de extremamente baixa (0 a 0,05%). Em Revelhe, na zona não queimada todas as profundidades apresentam conformidade na sua classificação segundo NLWRA (2002), apresentando teores de azoto total extremamente baixos. Por seu lado, a zona queimada não é tão homogénea, embora na generalidade o teor de azoto decresça com a profundidade. Inicialmente, o seu teor é baixo (0-5 cm), passando para muito baixo (5-10 cm) e extremamente baixo (10-15cm e 20-30cm). A profundidade 15-20 cm apresenta teores ligeiramente superiores a estas últimas, sendo-lhe atribuída a designação de muito baixo teor de azoto total presente no solo.

Os teores de azoto total presentes no solo variam com a profundidade. Teores mais elevados são encontrados geralmente nas camadas mais superficiais do solo, os quais, tendem a decrescer exponencialmente com a profundidade (NLWRA, 2002).

O clima e o uso da terra têm influência directa nos teores de azoto presentes no solo. Teores mais altos (> 0,2%) são vulgarmente encontrados em solos florestais e cultivados; teores mais baixos (< 0,1%) são encontrados em pastagens (NLWRA, 2002).

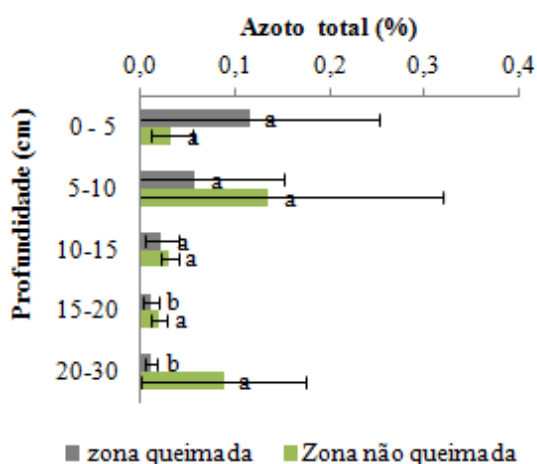


Figura 38–Azoto total no solo, Edroso

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$).

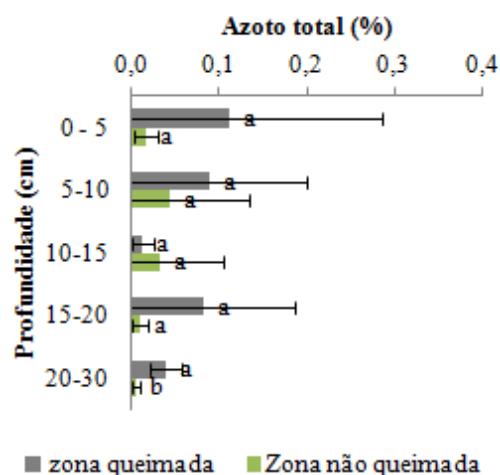


Figura 39–Azoto total no solo, Revelhe

4.2.2.4. Potássio e Fósforo assimiláveis

4.2.2.4.1. Potássio

O comportamento do potássio é bastante similar nas duas áreas de amostragem, Edroso (Figura 42) e Revelhe (Figura 43). Na camada superficial (0-5 cm) o teor de potássio é inferior nas zonas não queimadas, tendência que tende a inverter-se nas profundidades seguintes (5-20 cm). Na profundidade 20-30 cm o teor de potássio é equivalente em ambas as zonas, embora ligeiramente superior na zona não queimada.

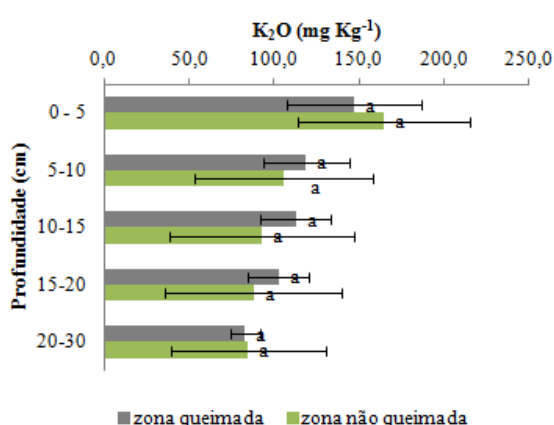


Figura 41–Potássio no solo, Edroso

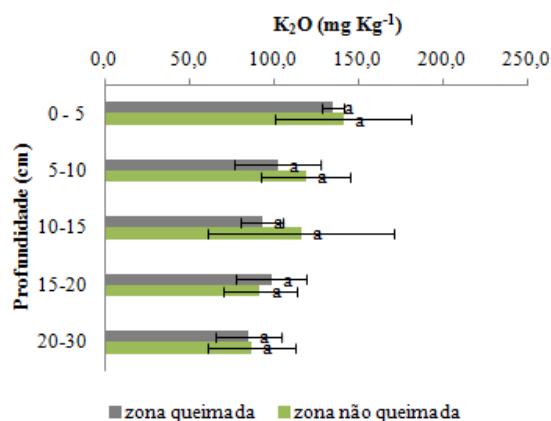


Figura 40–Potássio no solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$)

A erosão que ocorre após fogo, arrasta alguns nutrientes essenciais que não são facilmente substituídos pela meteorização das rochas e minerais (Brais et al., 2004). As baixas perdas de potássio no solo, após fogo, são justificadas pelas baixas temperaturas atingidas pelo mesmo (Alauzis et al., 2004). O potássio, normalmente volatiliza perto dos 760°C, temperaturas estas bastante difíceis de serem atingidas (Alauzis et al., 2004).

4.2.2.4.2. Fósforo

Em Edroso e Revelhe, o fósforo apresenta um comportamento similar em todas as profundidades (Figuras 44 e 45), com teores mais elevados na zona não queimada em todas as profundidades, com exceção da camada 0-5 cm da área de Revelhe, que apresenta valores mais baixos na zona não queimada.

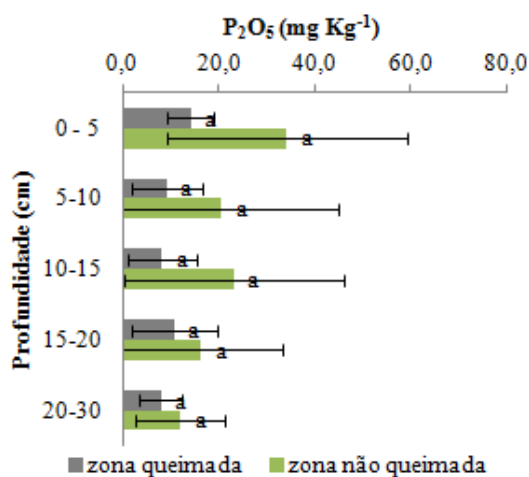


Figura 42–Fósforo no solo, Edroso

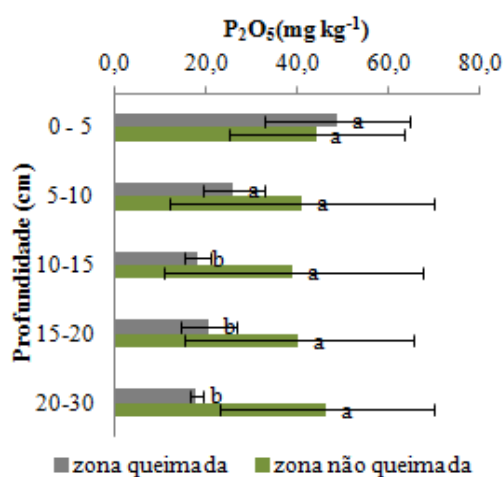


Figura 43–Fósforo no solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

Segundo Fernandes et al, (2009) após a ocorrência de um fogo, o teor de fósforo pode aumentar devido à sua libertação na forma orgânica e depositar-se nas cinzas, aumentando assim a sua disponibilidade. Mas, segundo Shakesby et al. (1996) a erosão pode remover o material rico em nutrientes como o fósforo, o qual não é facilmente repostos pelos materiais meteorizados. Apesar do efeito do fogo na diminuição da solubilidade do fósforo (Rashid, 1987), estes e outros nutrientes são geralmente depositados no solo sob a forma de cinzas, ficando susceptíveis a perdas por erosão e lixiviação (Wienhold e Klemmedson, 1992).

4.2.2.5. Bases de Troca

De uma forma geral, as bases de troca (BT) decrescem com a profundidade nas zonas queimadas e não queimadas das duas áreas de amostragem (Edroso e Revelhe). Também, das zonas não queimadas para as zonas queimadas sobressai um decréscimo das BT em ambas as áreas de amostragem.

Arocena & Opio, (2003) verificaram que as bases de troca não sofreram alterações significativas após fogo. Outros autores, como Batista et al. (1998) referem que fogos de baixa intensidade podem levar a um ligeiro aumento das BT, embora seja atenuado posteriormente. No presente estudo, o fogo conduziu a uma diminuição do teor das bases de troca, reflectindo-se nos valores de pH do solo (aumento da acidez do solo), o que pode ser explicado pela intensa precipitação que ocorreu a seguir ao fogo em ambas as áreas de amostragem.

Quadro 13– Bases de Troca na área de amostragem de Edroso

Profundidade (cm)	Zona queimada				Zona não queimada			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
	(cmol c kg ⁻¹)				(cmol c kg ⁻¹)			
0-5	1,81±0,46 ^a	0,92±0,92 ^a	0,55±0,17 ^a	0,64±0,05 ^a	2,21±0,40 ^a	1,05±0,09 ^a	0,56±0,16 ^b	0,75±0,07 ^a
5-10	1,30±0,13 ^a	0,74±0,12 ^a	0,45±0,14 ^a	0,61±0,08 ^a	1,34±0,16 ^a	0,79±0,14 ^a	0,30±0,16 ^b	0,69±0,07 ^a
10-15	1,20±0,14 ^a	0,74±0,76 ^a	0,43±0,10 ^a	0,59±0,04 ^a	1,29±0,22 ^a	0,76±0,11 ^a	0,23±0,20 ^b	0,69±0,12 ^a
15-20	1,29±0,16 ^a	0,74±0,68 ^a	0,39±0,10 ^a	0,61±0,06 ^a	1,16±0,09 ^a	0,68±0,18 ^a	0,19±0,20 ^b	0,69±0,09 ^a
20-30	1,20±0,13 ^a	0,75±0,76 ^a	0,30±0,08 ^a	0,63±0,06 ^b	1,24±0,17 ^a	0,76±0,17 ^a	0,17±0,16 ^a	0,71±0,08 ^a

Nota: Médias representadas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

Quadro 14– Bases de Troca na área de amostragem de Revelhe

Profundidade (cm)	Zona queimada				Zona não queimada			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
	(cmol c kg ⁻¹)				(cmol c kg ⁻¹)			
0-5	1,41±0,14 ^a	0,51±0,20 ^a	0,27±0,05 ^a	0,23±0,10 ^a	2,18±0,91 ^a	0,72±0,14 ^a	0,56±0,12 ^b	0,41±0,05 ^a
5-10	1,31±0,09 ^a	0,52±0,18 ^a	0,31±0,08 ^a	0,28±0,10 ^a	2,10±0,65 ^a	0,65±0,08 ^a	0,48±0,08 ^b	0,44±0,06 ^a
10-15	1,25±0,11 ^a	0,50±0,21 ^a	0,31±0,07 ^a	0,30±0,08 ^a	1,73±0,52 ^a	0,58±0,09 ^a	0,45±0,06 ^b	0,38±0,03 ^a
15-20	1,28±0,07 ^a	0,74±0,26 ^a	0,29±0,06 ^a	0,28±0,07 ^a	1,88±0,43 ^a	0,68±0,18 ^a	0,41±0,06 ^b	0,39±0,04 ^a
20-30	1,30±0,11 ^a	0,46±0,17 ^a	0,28±0,05 ^a	0,29±0,09 ^b	2,04±0,82 ^a	0,62±0,13 ^a	0,17±0,16 ^b	0,38±0,03 ^a

Nota: Médias representadas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

4.2.2.6. Acidez de troca e alumínio de troca

4.2.2.6.1. Acidez de Troca

Em Edroso (Figura 46), na profundidade 0-5 cm a acidez de troca (AT) é inferior na zona não queimada comparativamente à zona queimada. Nas profundidades 5-20 cm esta tendência inverte-se, a AT passa a ser superior na zona não queimada. Por fim, na profundidade 20-30 cm a AT é similar nas duas zonas. Em Revelhe (Figura 47) a AT tem um comportamento bastante homogêneo ao longo da profundidade. A zona não queimada apresenta valores mais baixos de AT.

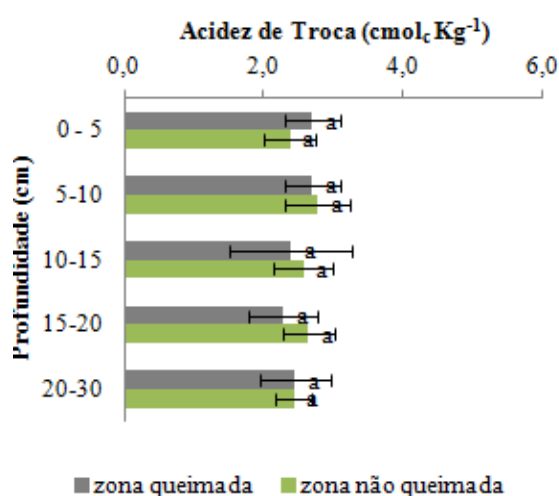


Figura 44—Acidez de Troca no solo, Edroso

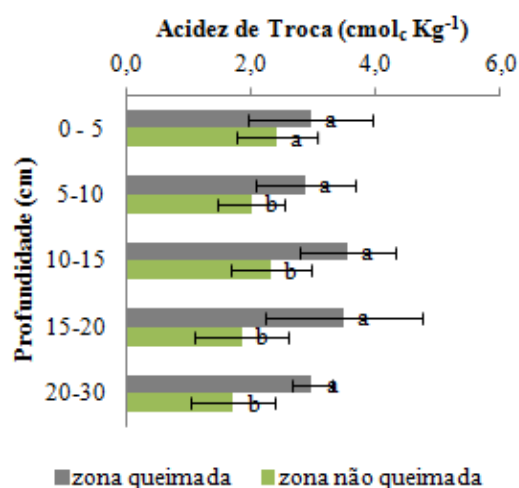


Figura 45—Acidez de Troca no solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

Segundo Soares (1990), a acidez do solo tende a diminuir após fogo. Pois, quando a matéria orgânica do solo é queimada, muitas das substâncias nela contida são libertadas em formas de óxidos, remanescendo os carbonatos, que geralmente apresentam uma reação alcalina (Soares, 1990). De acordo com Wells et al., (1979), a acidez nas camadas superficiais do solo diminui após fogo, mas esta redução é temporária dependendo da quantidade e composição da cinza libertada, do pH original do solo e da humidade do solo. A acidez de troca em Edroso tem um comportamento similar com o que Soares (1990) e Wells et al., (1979) observaram nos seus estudos.

4.2.2.6.2. Alumínio de Troca

O alumínio de troca evidencia comportamento idêntico nas duas áreas de amostragem, Edroso (Figura 48) e Revelhe (Figura 49), com valores inferiores nas zonas não queimadas em relação às zonas queimadas. Contudo, em Revelhe as diferenças são estatisticamente significativas. Batista et al., (1998) observaram que os teores de alumínio de troca não sofreram alterações significativas após fogo.

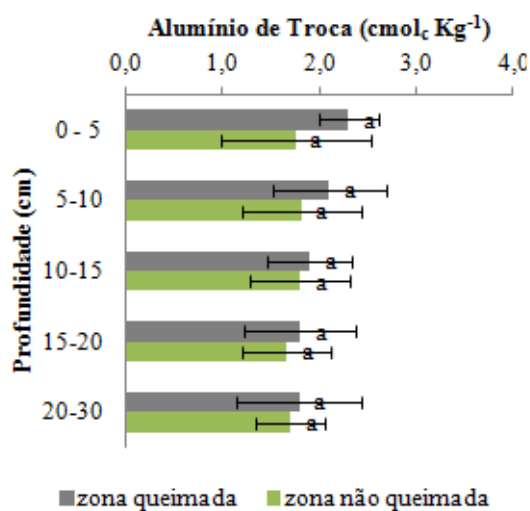


Figura46–Alumínio de Troca no solo, Edroso

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

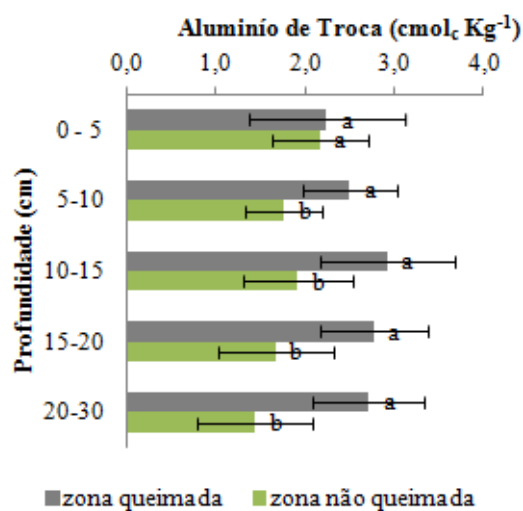


Figura47–Alumínio de Troca no solo, Revelhe

4.2.2.7. Capacidade de Troca Catiônica efectiva e Grau de Saturação em Bases

A capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) aumenta após fogo, tanto em Edroso (Quadro 16) como em Revelhe (Quadro 17). Por seu lado, o grau de saturação em bases (GSB) aumenta maioritariamente da zona queimada para a zona não queimada, em ambas as áreas de amostragem (Edroso e Revelhe). Batista et al., (1998) obtiveram resultados semelhantes nos seus estudos.

Quadro 15–Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) e Grau de saturação em bases (GSB), Edroso

Profundidade (cm)	Zona queimada		Zona não queimada	
	CTCe	GSBe	CTCe	GSBe
	(cmol _c Kg ⁻¹)			
0-5	8,92 ^a	43,95 ^b	8,62 ^a	52,15 ^a
5-10	7,90 ^a	39,25 ^a	7,66 ^a	40,14 ^a
10-15	7,19 ^a	41,21 ^a	7,13 ^a	39,71 ^a
15-20	7,21 ^a	41,94 ^a	7,13 ^a	37,35 ^a
20-30	7,36 ^a	39,20 ^a	6,90 ^a	40,93 ^a

Nota: Médias representadas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

Quadro 16–Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) e Grau de saturação em bases (GSB), Revelhe

Profundidade (cm)	Zona queimada		Zona não queimada	
	CTCe	GSBe	CTCe	GSBe
	(cmol _c Kg ⁻¹)			
0-5	7,60 ^b	31,76 ^b	7,45 ^a	45,88 ^a
5-10	7,80 ^a	31,06 ^b	7,44 ^a	49,43 ^a
10-15	8,82 ^a	26,73 ^b	7,36 ^b	42,61 ^a
15-20	8,63 ^a	27,46 ^b	6,77 ^b	48,09 ^a
20-30	8,02 ^a	29,06 ^b	6,58 ^b	52,32 ^a

Nota: Médias representadas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, P<0,05)

4.2.2.8. Condutividade Eléctrica

As duas áreas de amostragem mostram comportamento bastante similar, à excepção da profundidade 10-15 cm em Revelhe (Figura 51). Em Edroso (Figura 50), a salinidade do solo é significativamente superior na zona não queimada em relação à zona queimada. Em Revelhe a salinidade não apresenta oscilações significativas entre zona não queimada e zona queimada.

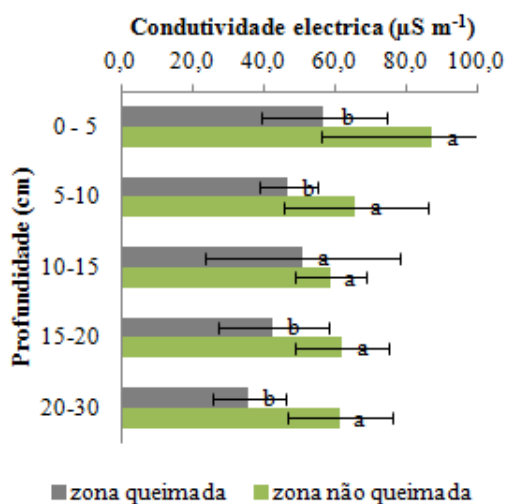


Figura 48–Condutividade eléctrica no solo, Edroso

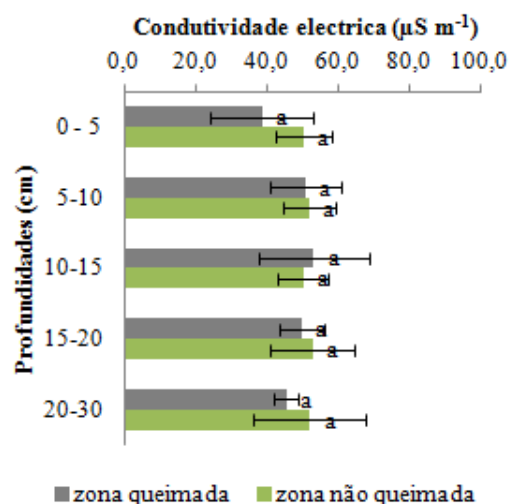


Figura 49–Condutividade eléctrica no solo, Revelhe

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste T, $P < 0,05$)

4.3. Síntese de resultados

Apresenta-se de seguida, uma breve síntese da caracterização das duas áreas de amostragem, Edroso e Revelhe (Quadro 18), onde se faz referência à geologia, litologia tipo de solos, tipo de vegetação e características climáticas.

Quadro 17–Caracterização das zonas de amostragem

Designação	Edroso	Revelhe
Localização	Região: Trás-os-Montes e Alto Douro Concelho: Vinhais	Região: Entre Douro e Minho Concelho: Fafe
Geologia	Meseta Ibérica e Maciço Hespérico	Maciço Hespérico
Litologia	Xistos	Granitos
Solos	Leptosolos dístricos órticos de xistos	Regossolos dístricos de granitos
Vegetação	<i>Ulex europaeus</i> e <i>Cytisus multiflorus</i>	<i>Ulex europaeus</i> e <i>Cytisus multiflorus</i>
Temperatura	12,3 °C	14,4 °C
Precipitação	758,3 mm	1465,7 mm

No Quadro 19 apresentam-se dados relativos às amostras de vegetação e horizonte orgânico.

Quadro 18-Síntese dos resultados obtidos na análise da vegetação e do horizonte orgânico

Parâmetros	Edroso				Revelhe			
	HO	Tojo	Giesta	VH	HO	Tojo	Giesta	VH
%Ca	0,23	0,14	0,14	0,21	0,36	0,12	0,12	-
%Mg	0,09	0,06	0,09	0,12	0,25	0,13	0,13	-
%K	0,43	0,36	0,39	0,91	0,22	0,62	0,72	-
%P	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	-
%N	1,54	1,16	1,96	1,85	0,97	1,52	1,87	-
%C	83,74	98,23	97,77	86,8	57,7	96,78	96,91	-
C/N	54,61	85,21	50,42	47,08	59,34	65,75	52,42	-

HO – horizonte orgânico; VH – vegetação herbácea; Ca - Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; P – Fósforo; C – carbono; N – azoto e C/N – razão carbono/azoto

No Quadro 20 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos para parâmetros físicos e químicos do solo, nas zonas queimadas e não queimadas das duas áreas de amostragem, Edroso e Revelhe.

Quadro 19-Síntese dos resultados obtidos nas análises do solo

Parâmetros	Edroso		Revelhe	
	Zona queimada	Zona não queimada	Zona queimada	Zona não queimada
El Gr (%)	31,85	38,14	22,71	30,11
Textura	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
K (cm h⁻¹)	53,44	58,52	19,13	844,78
Dap (g cm⁻³)	1,21	1,12	0,88	0,84
P (%)	44,20	47,60	56,63	58,21
pH	4,25	4,42	4,30	4,47
MO (%)	3,51	3,14	5,96	4,76
K₂O (mg kg⁻¹)	104,61	98,69	94,11	102,13
P₂O₅ (mg kg⁻¹)	9,27	20,08	24,45	37,58
N_{Total} (%)	0,04	0,05	0,06	0,02
BT (cmol_c kg⁻¹)	0,56	0,62	0,25	0,36
AT (cmol_c kg⁻¹)	2,25	2,32	2,98	1,89
Al (cmol_c kg⁻¹)	1,80	1,57	2,36	1,64
CTCe (cmol_c kg⁻¹)	6,98	6,80	7,37	6,66
GSB (cmol_c kg⁻¹)	37,19	37,96	26,31	42,43
CE (µS)	43,04	61,97	42,99	46,26

El Gr - Elementos grosseiros; K – Permeabilidade; Dap – Densidade aparente; P – Porosidade; MO – Matéria orgânica; K₂O – Potássio; P₂O₅ - Fósforo; N_{Total} – Azoto total; C/N – Relação carbono/azoto; BT – Bases de troca; AT – Acidez de troca; Al – Alumínio de troca; CTCe – Capacidade de troca catiónica efectiva; GSB – Grau de saturação em bases; CE – Condutividade eléctrica

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Este estudo teve como principal objectivo contribuir para um melhor conhecimento do impacto do fogo em solos cobertos por matos, uma vez que a disponibilidade de informação para este tipo de sistemas ainda é muito escassa. Os resultados foram analisados por comparação de zonas queimadas e zonas não queimadas em condições edafo-climáticas e de vegetação similares. Deste modo, foi possível estabelecer uma relação entre as zonas estudadas com os parâmetros caracterizadores dos solos, nomeadamente as características físicas (densidade aparente, permeabilidade, porosidade entre outras) e químicas (bases de troca, pH, condutividade eléctrica, entre outras). Para assegurar a reprodutibilidade dos ensaios foi fundamental que o processo de recolha e análise das amostras fosse inalterável ao longo de todo o estudo.

A vegetação e o horizonte orgânico do solo presente em ambas as áreas de amostragem, Edroso e Revelhe, têm um efeito importante no controlo da erosão e nas relações solo-planta. Por seu lado, a avaliação dos parâmetros físicos e químicos do solo permite estimar o efeito do fogo no solo. Os resultados obtidos permitem uma avaliação experimentalmente fundamentada do impacto do fogo nas propriedades do solo e do efeito da vegetação no solo e/ou vice-versa através da quantificação de alguns nutrientes.

5.1. Efeito da vegetação no solo

O tipo de vegetação tem elevada influência na natureza da matéria orgânica formada no solo. A vegetação é a principal fonte de resíduos da fracção orgânica, afectando assim as propriedades dos horizontes orgânicos e minerais do solo. A vegetação e o solo estão intimamente ligados através da reciclagem de nutrientes. A reciclagem de nutrientes minerais compreende a trajectória cíclica dos elementos essenciais à vida dentro dos ecossistemas. Resultando de um conjunto de processos, de forma que os recursos nutricionais sejam utilizados em sucessivos períodos de fixação de energia.

A reciclagem dos elementos essenciais reflecte o metabolismo integrado da comunidade e depende também das propriedades de cada elemento químico e da sua interacção com a atmosfera. A sua regulação intra-sistémica depende essencialmente da actuação dos seres vivos, mantidos pelo fluxo de energia.

5.2. Propriedades do solo

Este estudo permitiu obter informação sobre alterações de propriedades físicas e químicas do solo após fogo. Relativamente às propriedades físicas do solo verificou-se que a percentagem de elementos grosseiros, a porosidade e a permeabilidade diminuíram após fogo nas duas áreas de amostragem. A densidade aparente sofreu um ligeiro aumento nas zonas queimadas em ambas as áreas de amostragem e as classes de textura mantiveram-se inalteráveis.

No que respeita às propriedades químicas do solo, a percentagem de matéria orgânica, o alumínio de troca e a capacidade de troca catiónica efectiva sofreram um aumento após fogo, nas duas áreas de amostragem. Em contrapartida, o fósforo, as bases de troca, o grau de saturação em bases e a condutividade eléctrica diminuíram. Por sua vez, o potássio, o azoto total e a acidez de troca assumem comportamento diferente nas duas áreas de amostragem.

As propriedades físicas e químicas do solo sofreram alterações após fogo, por comparação das zonas queimadas e não queimadas, sendo o tipo de vegetação que cobre os solos, relevante neste contexto.

Referências bibliográficas

- Agroconsultores e Coba, 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.
- Agroconsultores e Geometral, 1995. Carta de Solos e da Aptidão da terra do Entre-Douro e Minho. DRAEDM, Lisboa.
- Alauzis, M.V., Mazzarino, M.J., Raffaele, E., Roselli, L., 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management* 192, 131-142.
- Andreu, V., Imeson, A.C., Rubio, J.L., 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44, 69-84.
- Are, K.S., Oluwatosin, G.A., Adeyolanu, O.D., Oke, A.O., 2009. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 103, 4-10.
- Arnoldus, H.M.J., 1997b. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Marocco. In *Soil Survey Manual*.
- Arocena, J.M., Opio, C., 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113, 1-16.
- Batista, A.C., Reissmann, C.B., Soares, R.V, 1998. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés. *PR. Floresta*, 27.
- Birkeland, D., Richter, D., 1973. Nutrient cycling and H⁺ budgets of forest ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 16, 1-54.

- Brais, S., David P., Ouimet, R., 2000. Impacts of wild fire severity and salvage harvesting on the nutrient balance of jack pine and black spruce boreal stands. *Forest Ecology and Management* 137, 231-243.
- Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-Total. In *Methods of Soil Analysis Parte 3 – Chemical Methods*. SSSA Book Series No.5: 1085-1121.
- Campo, J., Andreu, V., Gimeno-García, E., González, O., Rubio, J.L., 2006. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology* 82, 376-387.
- Cerdá, A., Doerr, H. S., 2008. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena* 74, 256-263.
- Cerdà, A., Lasanta, T., 2005. Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees 1. Water and sediment yield. *Catena* 60, 59-80.
- Cerqueira, J., 1992. *Solos e Clima em Portugal*. Lisboa. Clássica.
- Chafer, C.J., 2008. A comparison of fire severity measures: An Australian example and implications for predicting major areas of soil erosion. *Catena* 74, 235-245.
- Coelho, C., 2001. Efeitos dos Incêndios Florestais sobre a erosão e a degradação do solo. In *Ministério da Administração Interna – SEAMAI (ed.). A floresta que futuro?* 135-146. Instituto Nacional de Administração (INA).
- Combs, S.M., Nathan, M.V., 1998. Soil Organic Matter. In *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*. North Central regional Research Publication n.º 221. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001.
- Costa, J.B., 1991. *Caracterização e Constituição do Solo*. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian.

- Debano, L.F., Neary, D.G., Ffolliot, P.F., 1998. Fire's effects on ecosystems. New York: John Wiley and Sons, Inc. 333.
- Eijkelkamp, S.D., s/d. Operating instruction 09.02 Laboratory permeameters. Giesbeek, N.L.
- Fernandes, R.C., Cordovil, C.M., De Varennes, A., 2009. Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.
- Figueiredo, T., 1990. Aplicação da equação universal de perda de solo na estimativa da erosão potencial: o caso do Parque Natural de Montesinho. Bragança: Escola Superior Agrária de Bragança.
- Fischer, R.F., Binkley, D., 2000. Ecology and Management of Forest Soils (3 rd Ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Franco-Vizcaíno, E., Sosa-Ramirez, J., 1997. Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California, Mexico. *Acta Ecologica* 18 (4), 503-517.
- Freitas, A., Gonçalves, T.P., 2004. Impacto das queimadas no solo à superfície.
- Godinho, F., 2002. *Ulex Europaeus: A vida Amarela na Desolação Cinzenta*. Leiria.
- González-Pelayo O., Andreu V., Campo J., Gimeno-García E., Rubio J.L., 2006. Hydrological properties of a Mediterranean soil burned with different fire intensities. *Catena* 68, 186-193.
- González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H., 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International*, 30: 855-870.
- Gomes, M.P., Silva, A.A., 1962. Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Est. Agron.* 3, 1-9.

- Grisso, R.B., Alley, M., Holshouser, D., Thomason, W., 2009. Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia Cooperative Extension: 442-508.
- Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.C., Narog, M.G., 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma* 130, 284-298.
- Hungerford, R.D., 1996. Soils. Fire in Ecosystem Management Notes: Unit II-I. USDA Forest Service, National Advanced Resource Technology Center, Marana, Arizona.
- Iglesias, T., Cala, T., Gonzalez, J., 1997. Mineralogical and chemical modifications in soils affected by forest fire in Mediterranean area. *The Science of the Total Environment* 204, 89-96.
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geoquímica, 2011. Normais Climatológicas. Braga. Período 1971/2000.
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geoquímica, 2011. Normais Climatológicas. Bragança. Período 1971/2000.
- ISRIC, 2002. Procedures four soil analysis. Technical paper 9. Othed. Van Reeuwijk, L.P. (ed). ISRIC. FAO.
- James, M.V., Wayne, T.S., Barton, D.C., Jennifer, D.K., Lloyd, W.S., 1999. Using stand replacement fires to restore southern Appalachian pine-hardwood ecosystems: effects on mass, carbon, and nutrient pools. *Forest Ecology and Management* 114, 215-226.
- Lombao, A., Barreiro, A., Martin, A., Díaz-Raviña, M., s/d. Soil microbial community structure as affected by a wildfire in laza (NW Spain). Departamento de Bioquímica del Suelo, Instituto de Investigaciones Agrícolas de Galicia (IIAG-CSIC). Santiago de Compostela (Spain).

- Lopes, A.S., 1978. Manual do Solo. São Paulo. Potafos.
- Lourenço, L., 1994b. Risco de incêndio florestal em Portugal Continental. Informação Florestal, 4. Lisboa: 22-32.
- Macedo, F.W., Sardinha, A.M., 1993. Fogos Florestais, Vol. No.1. Lisboa. Publicações Ciência e Vida Lda.
- McIntosh, P.D., Laffan M.D., Hewitt, A.E., 2005. The role of fire and nutrient loss in the genesis of the forest soils of Tasmania and southern New Zealand. Forest Ecology and Management 220, 185-215.
- Ministério da Agricultura e Pescas, 1977. Sector da Fertilidade do Solo. Documentação 2. D.G.S.A. – Divulgação.
- Moench, R., Fusaro, J., 2007. Controle de Erosão do solo após Wildfire. USDA Serviço de Conservação de Recursos Naturais. México.
- Moreira, L., Rosa, L.J., Lourenço, J., Barroso, I., Pimenta, V., 1997. Parque Natural de Montesinho. Projecto Lobo. Relatório de Progressão 1996. Ministério do Ambiente e dos recursos Naturais. Instituto da Conservação da Natureza.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Folliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management 122, 51-71.
- NLWRA, 2002. Solo Australiano Sistema de Informação de Recursos. Atlas dos recursos Naturais Australianos. Apêndice 2.
- Pardini, G., Gispert, M., Dunjó, G., 2004. Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. Science of the Total Environment 328, 237-246.

- Pereira, J.S., Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.N., Silva, T.P., 2006. Incêndios Florestais em Portugal. Caracterização, Impactes e Prevenção, Cap.6; ISA press; Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C., 1999. Edafología para la agricultura y el médio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Quercus, 2006. Jornal Quercus Ambiente.
- Rashid, G.H., 1987. Effects of fire on soil carbon in nitrogen in a Mediterranean oak forest of Algeria. *Plant and Soil* 103, 89-93.
- Rheinheimer, S., Santos, J.C., Fernandes, V.B., Almeida, A.L., 2003. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. Brasil. *Ciência Rural*.
- Robichaud, P.R., Waldrop, T.A., 1994. A comparasion of surface runoff and sediment yields from low-and high-severity site preparation burns. *Water Res. Bull.*30, 27-34.
- Savadogo, P., Sawadogo, L., Tiveau, D., 2007. Effects of grazing intensity and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture Ecosystems and Environment* 118, 80-92.
- Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J. B., Walsh, R.P.D., 1996. Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal. *Applied Geography* 16 (4), 337-355.
- Shaw, R.J., 1999. Soil salinity – electrical conductivity and chloride. In Peveill, K.L., Sparrow, L.A., Renter, D.J. (eds) *Soil Analysis an interpretation manual*. CSIRO publishin: 129-145.

- Sims, J.T., 1996. Lime requirement. In *Methods of Soil Analysis. Part 3 – Chemical Methods*. SSSA Book Series: 491-515.
- Soares, R.V., 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In *International Conference on Forest Fire research*. Universidade de Coimbra: 06-09.
- Stoof, C.R., Wesseling, J.G., Ritsema, C.J., 2010. Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma* 159, 276-285.
- Vélez, R., 2000. *La defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y Experiencias*. McGrawHill. Espanha.
- VanReeuwijk, L.P., (Ed). *ISRIC. FAO. Technical Paper 9*.
- Ventura, J., Vasconcelos, M.J., 2006. O fogo como processo físico-químico e ecológico, *Incêndios Florestais em Portugal, Caracterização, Impactes e Prevenção*, ISAPress, Lisboa, 93: 113.
- Wells, C., Campbell, R.E., DeBano, L.F., Lewis, C.E., Fredricksen, R.L., Franklin, E.C., Froelich, R.C., Dunn, P.H., 1979. Effects of fire on soil: a state of knowledge review. *Gen. Tech. Rep., Washington, U.S.D.A. Forest Service: 34*.
- Wienhold, B.J., Klemmedson, J.O., 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorus in Arizona chaoarral soil-plant systems. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 6, 285-296.
- WRBSR, 2006. *World reference base for soil resources 2006. A framework of international clarification, correlation and communication*. JUSS. ISRIC. FAO.
- Yoho, N.S., 1980. Manejo Florestal e produção sediment no Sul-Uma revisão. *Southern Journal of Applied Florestal* 4, 27-36.