



**Dinâmica temporal de armazenamento de carbono em áreas de matos
queimadas com fogo controlado, NE Portugal**

Diego Paulino da Silva

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Orientada por:

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Professor Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Professor Doutor Paulo Agenor Alves Bueno

Bragança

2019



**Dinâmica temporal do armazenamento de carbono em áreas de matos
queimadas com fogo controlado, NE Portugal**

Diego Paulino da Silva

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Orientado por:

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Professor Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Professor Doutor Paulo Agenor Alves Bueno

Bragança

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder tantas realizações positivas no decorrer de minha vida e principalmente em minha carreira acadêmica. Com a conclusão da graduação e do mestrado, foi possível obter grandes evoluções pessoais e profissionais. Neste contexto, jamais me esquecerei das pessoas que me apoiaram para isso, então quero agradecer imensamente também:

Aos meus orientadores Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca, Professor Doutor Tomás d’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo e ao meu co-orientador Professor Doutor Paulo Agenor Alves Bueno que contribuíram grandemente para a realização deste estudo de inúmeras formas. Em especial a Felícia, que desde o início foi uma grande profissional, uma das melhores que já conheci e tive a oportunidade de trabalhar. Além disso, foi também uma grande conselheira e amiga, que contribuiu para superar todos os momentos difíceis que surgiram no decorrer do mestrado e deste trabalho.

Aos meus pais Nilson Paulino e Ivanir Junior, que sempre me deram todo o apoio necessário, através de diferentes formas, consegui alcançar todos os objetivos estipulados no início de minha graduação e muitos extras. Com toda certeza, afirmo que os principais responsáveis por todas as minhas conquistas são meus pais, que sempre me orientaram de maneira eficiente, amorosa e carinhosa. Assim, agradeço extraordinariamente as pessoas que mais amo neste mundo: os meus pais.

As instituições que auxiliaram na realização da presente dissertação, em destaque a Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão no Brasil e o Instituto Politécnico de Bragança em Portugal, às quais sou profundamente grato pela oportunidade e investimento em mim.

A minha namorada, que mesmo de longe sempre me concedeu todo o apoio e carinho necessário. Reforço que durante o mestrado foi mesmo uma grande amiga, companheira e ótima namorada e assim, fez com que essa etapa se tornasse mais fácil e agradável.

Aos meus amigos, que no decorrer deste percurso foram muitos e não é possível registrar o nome de todos neste documento (precisaria de muitas páginas, porém não me

esquecerei de vocês). Então agradeço profundamente a todos vocês que moram dentro do meu coração e de alguma forma contribuíram para a conclusão desta etapa.

RESUMO

Os incêndios florestais causam imensos impactos sociais, econômicos e ambientais em Portugal, principalmente no nordeste do país. Uma das razões desta problemática é o abandono de propriedades em razão de suas características impróprias para mecanização e produção em massa. Deste modo, é de grande relevância o uso de práticas de gestão da vegetação para controle de material combustível em tais áreas, como o fogo controlado. Comumente utilizado na região mediterrânea, o fogo controlado constitui uma importante ferramenta de redução da quantidade de combustível disponível, sendo de baixo custo, rápido e contribui para a redução do risco de ocorrência de incêndios florestais. Esta técnica permuta as condições severas e intensas de um incêndio por condições mais amenas, de modo a impactar menos o ambiente. Porém, também realiza imensas modificações na paisagem e impacta diretamente a dinâmica do carbono na atmosfera. Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo avaliar a dinâmica temporal do armazenamento de carbono na sequência da aplicação de um fogo controlado numa área de matos do Parque Natural de Montesinho, nordeste de Portugal. Antes da aplicação do fogo, a área de estudo era constituída por vegetação arbustiva, essencialmente por urze (44%), esteva (26%) e carqueja (30%). A carqueja e a urze apresentaram um fator de combustão de 80%, enquanto a esteva revelou maior resistência ao fogo, com um fator de combustão de 50%. Então, em 11 locais distribuídos de forma aleatória, foi avaliado o carbono na biomassa aérea e radicular da vegetação arbustiva (urze, esteva e carqueja), no horizonte orgânico e no solo, através de colheitas de amostras nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, antes do fogo controlado, dois meses, seis meses e três anos após o fogo controlado. Os resultados mostram uma elevada redução do teor de carbono armazenado na biomassa da vegetação arbustiva e uma redução total do horizonte orgânico do solo após o fogo. Dois e seis meses após o fogo a área não apresentou horizonte orgânico. O carbono armazenado no solo mineral revelou um acréscimo de cerca de $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ no final do período considerado. Dentre as espécies arbustivas, a urze apresentou maior armazenamento de carbono, com cerca de 70% de carbono radicular. Dois meses após o fogo, a taxa anual de perda de carbono era de $43,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ($7,4 \text{ t ha}^{-1}$ em dois meses) contra $21,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ após seis meses ($10,8 \text{ t ha}^{-1}$ em seis meses), apresentando um ganho de $0,24 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ após três anos ($0,7 \text{ t ha}^{-1}$ em três anos) comparativamente à situação antes do fogo controlado. Assim, no final do período considerado a dinâmica de armazenamento de carbono no sistema foi recuperada, com maior influência do compartimento solo. Dentre os compartimentos analisados (biomassa aérea e radicular, horizonte O e solo), a maior quantidade de carbono está presente no solo.

Palavras-chave: Parque Natural de Montesinho, incêndios florestais, montanha, vegetação arbustiva, carbono no sistema.

ABSTRACT

The forest fires cause immense social, economic and environmental impacts in Portugal, mainly in the northeast of the country. One of the causes of this problem is the abandonment of properties because of their unfit characteristics for mechanization and mass production. Therefore, the use of vegetation management practices to control fuel material in such areas, such as controlled fire, is of great relevance. Commonly used in the Mediterranean region, controlled fire is an important tool for reducing the amount of fuel available and is of low cost, and contributes to reducing the risk of forest fires occurring. This technique interchanges the severe and intense conditions of a fire with cooler conditions, so as to have less impact on the environment. However, it also makes immense changes to the landscape and directly impacts the dynamics of carbon in the atmosphere. In this context, this work has as main objective to evaluate the temporal dynamics of carbon storage following the application of a controlled fire in an area of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. Before the application of the fire, the study area was covered by shrub vegetation, essentially by urze (44%), esteva (26%) and carqueja (30%). The carqueja and urze presented a combustion factor of 80%, while the esteva showed higher resistance to fire, with a combustion factor of 50%. Then, in 11 randomly distributed locations, carbon was evaluated in the aerial and root biomass of the shrub vegetation (urze, esteva and carqueja), in the organic horizon and in the soil, through sampling at depths 0-5, 5-10 and 10-20 cm, before the controlled fire, two months, six months and three years after the controlled fire. The results show a high reduction in the carbon content stored in the biomass of the shrub vegetation and a total reduction in the organic horizon of the soil after the fire. Two and six months after the fire the area showed no organic horizon. The carbon stored on the mineral soil showed an increase of about 6.4 t ha^{-1} at the end of the period considered. Among the shrub species, heather presented higher carbon storage, with about 70% root carbon. Two months after the fire, the annual carbon loss rate was $43.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (7.4 t ha^{-1} in two months) versus $21.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ after six months (10.8 t ha^{-1} in six months), with a gain of $0.24 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}$ after three years (0.7 t ha^{-1} in three years) compared to the situation before the controlled fire. Thus, at the end of the period considered the carbon storage dynamics in the system was recovered, with greater influence of the soil compartment. Among the compartments analyzed (aerial and root biomass, horizon O and soil), the greatest amount of carbon is present in the soil.

Key words: Montesinho Natural Park, forest fires, mountain, shrub vegetation, soil carbon.

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	Incêndios florestais.....	4
3.2	Fogo controlado	8
3.2.1	Impactos do fogo controlado.....	10
3.3	Efeitos dos fogos nas propriedades do solo	11
3.4	O carbono	12
3.4.1	Ciclo do carbono.....	13
3.4.2	Carbono no solo.....	15
3.4.2.1	Carbono orgânico e matéria orgânica do solo	16
3.4.3	Carbono na vegetação.....	17
3.4.4	Emissões de carbono.....	19
4.	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Caracterização geral da área de estudo.....	21
4.1.1	Localização geográfica	21
4.1.2	Caracterização climática	22
4.1.3	Caracterização da litologia, geologia e solos	25
4.1.4	Caracterização hidrográfica e hipsométrica	27
4.1.5	Caracterização Fitogeográfica.....	29
4.1.6	Caracterização da Vegetação	30
4.2	Amostragem e avaliações de campo	31
4.2.1	Vegetação.....	31
4.2.2	Horizonte orgânico	32
4.2.3	Solo.....	33
4.2.4	Severidade do fogo controlado.....	34
4.2.5	Biomassa consumida	34

5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	Biomassa aérea consumida e armazenamento de carbono imediatamente após o fogo controlado	36
5.2	Biomassa e armazenamento de carbono na vegetação antes e após o fogo	38
5.2.1	Antes do fogo controlado.....	38
5.2.2	Após o fogo controlado.....	40
5.3	Evolução do carbono armazenado no horizonte orgânico.....	44
5.4	Armazenamento de carbono no solo	46
5.5	Dinâmica do carbono no sistema	48
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
7.	REFERÊNCIAS.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Incêndios Florestais em Portugal Continental: ocorrências e área ardida	5
Figura 2 – Mapa de distribuição das áreas ardidas em Portugal de 1990 - 2018.	5
Figura 3 - Esquema representativo do ciclo do carbono.....	15
Figura 4 - Emissões de dióxido de carbono (CO ₂) por incêndios florestais em Portugal de 1990-2017.....	19
Figura 5 – Mapa de localização geográfica da área de estudo no Parque Natural de Montesinho.....	21
Figura 6 – Aplicação da técnica do fogo controlado no local de estudo.	22
Figura 7 - Valores mensais de temperatura média, média das máximas e valores máximos registrados na estação meteorológica de Bragança (1971 - 2000).	23
Figura 8 - Médias anuais de temperatura registradas em Bragança (2000 - 2018).....	24
Figura 9 – Médias mensais de temperatura e precipitação em Bragança.	25
Figura 10 – Mapa da Litologia do Parque Natural de Montesinho.	26
Figura 11 – Mapa de classificação de solos do Parque Natural de Montesinho.	27
Figura 12 - Mapa de classificação dos rios do distrito de Bragança e do PNM.....	28
Figura 13 – Modelo digital de terreno - Declive, do PNM..	29
Figura 14 – Mapa fitogeográfico do Parque Natural de Montesinho.	30
Figura 15 - Distribuição dos matos esteva, giesta e urze no PNM..	31
Figura 16 - Avaliação e registo de diversos parâmetros imediatamente após a passagem do fogo	34
Figura 17 – Balanço de biomassa consumida e que restou após o fogo controlado.....	36
Figura 18 – Balanço de carbono na biomassa aérea antes e imediatamente após o fogo controlado.....	37
Figura 19 – Biomassa aérea e das raízes das espécies estudadas antes do fogo controlado.....	38
Figura 20 – Carbono armazenado na biomassa aérea e radicular (t ha ⁻¹) antes da aplicação do fogo controlado.....	39
Figura 21 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e das raízes dois meses após o fogo controlado (DMAF)..	40
Figura 22 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e radicular seis meses após o fogo controlado (SMAP)..	41

Figura 23 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e radicular três anos após o fogo controlado (TAAF)..	42
Figura 24 - Evolução do armazenamento do carbono ($t\ ha^{-1}$) na biomassa aérea das espécies arbustivas urze, esteva e carqueja..	43
Figura 25 – Evolução do carbono na biomassa aérea e radicular por espécie arbustiva ($t\ ha^{-1}$).	43
Figura 26 - Evolução do carbono armazenado no horizonte O.	45
Figura 27 - Carbono armazenado no solo ($t\ ha^{-1}$) antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm.	47
Figura 28 - Carbono armazenado no solo ($t\ ha^{-1}$) por profundidade (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 cm) antes do fogo (AF), dois meses (DMAF); seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo..	48
Figura 29 - Ganhos (valores positivos) e perdas (valores negativos) de carbono dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo relativamente à situação original (AF).	49
Figura 30 – Quantidade de carbono armazenada nos compartimentos (solo, horizonte O e vegetação) e percentagem de cada um no sistema..	50
Figura 31 – Ganhos (valores positivos) e perdas (valores negativos) de carbono dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo, para todos os compartimentos, relativamente à situação original (AF).	51

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e de outros gases com efeito de estufa (GEE), desde a década de 80 tem despertado grande preocupação social. Neste período surgiram várias reuniões intergovernamentais sobre os GEE, em conjunto com o diálogo internacional sobre a definição de estratégias e mecanismos para minimização e adequação às alterações climáticas, resultando na criação do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) em 1988 (Silva et al., 2006).

Com a finalidade de alcançar maior controlo sobre as emissões de GEE, Portugal e outros países aderiram ao Protocolo de Quioto, apresentado na Conferência Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC), no qual foram introduzidos instrumentos de mercado, tais como o comércio das emissões, a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo.

Neste contexto, a elevada frequência de incêndios ocorridos em Portugal proporciona preocupações quanto às emissões e sequestro de carbono. Além disso, a degradação associada com uma gestão ineficiente do uso da terra levam à depleção e à redução da capacidade de armazenamento de carbono, constituindo o carbono orgânico do solo o maior reservatório de carbono na biosfera terrestre (Chhabra et al., 2003).

A região mediterrânea, onde Portugal está localizado, possui características favoráveis à ocorrência de incêndios, sendo estes parte integrante da evolução natural da paisagem mediterrânea (Rosa et al., 2009). Contudo, os incêndios florestais causam grandes impactos, onde existe a presença de biomassa seca associada a estações de baixas precipitações, resultando em grandes alterações na paisagem (Lourenço et al., 2011) e nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo a perda de matéria orgânica bruta, com alterações visíveis nos horizontes superficiais e, conseqüentemente alterando o ciclo do carbono (Santos et al., 1992; Certini, 2005; Fonseca et al., 2017).

Os incêndios florestais são considerados um problema de grande relevância em Portugal, em consequência da elevada área ardida nos últimos anos. Além das características ambientais, os incêndios florestais também têm origens socioeconómicas, em conjunto com as mudanças que a zona rural do país está sofrendo, como a redução da população residente, que proporciona o abandono das terras e acúmulo de biomassa,

aumentando o risco de ocorrência de incêndios (Nogueira et al., 2014; Lourenço et al., 2011).

De modo a evitar ou mitigar a ocorrência e impactos dos incêndios florestais, torna-se cada vez mais comum a aplicação da técnica de gestão de carga de combustível utilizando o fogo controlado, permutando assim as condições rigorosas de um incêndio por queimas estratégicas e menos intensas, já que a quantidade de biomassa disponível e a velocidade de propagação é diretamente proporcional à intensidade do incêndio (Fernandes et al, 2002).

O uso do fogo controlado também contribui para alterações nos elementos do ecossistema, na atmosfera terrestre e essencialmente no solo. Em situações em que a combustão é completa os elementos liberados pelo fogo são apenas água, dióxido de carbono e calor. Porém, na realidade, a combustão nunca é completa e com isto existe a liberação de combustível residual (partículas de carbono), monóxido de carbono e outros produtos considerados poluentes, como hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (Soares, 1995), gerando impactos na atmosfera devido as modificações na dinâmica de carbono e à liberação de gases de efeito estufa (Silva, 2007).

2. OBJETIVOS

Considerando a problemática dos incêndios florestais e o uso do fogo controlado para gestão do combustível, os impactos gerados no solo por estes, as emissões de carbono e outros fatores, a presente pesquisa tem como principal objetivo avaliar a dinâmica temporal do armazenamento de carbono na sequência da aplicação de um fogo controlado numa área de matos do Parque Natural de Montesinho, Nordeste de Portugal e contribuir com mais informação sobre os efeitos dos fogos nos ecossistemas terrestres.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Incêndios florestais

O Inventário Florestal Nacional (IFN) mostra que Portugal ainda possui grande parte do seu território ocupado por florestas e matos, aproximadamente 35% da área total. Isso faz com que Portugal também seja um dos países europeus que possui as maiores áreas ardidadas por ano. Entre 2003 e 2005, arderam mais de 300 000 ha, com destaque para o ano de 2003, constituindo mais de 50% das áreas totais queimadas nos países europeus mediterrâneos (Ferreira et al., 2010; Nogueira et al., 2015).

O fogo é um processo natural em que muitos ecossistemas evoluíram e pode constituir uma ocorrência rara ou não. Na bacia mediterrânica, a coincidência da estação quente e seca proporciona condições meteorológicas ideais para o início e propagação dos incêndios de verão, cujas proporções são inaceitáveis por conduzirem a perdas de vidas humanas, prejuízos económicos e sociais muito graves (Rego, 1990; Delgado, 2009).

Os incêndios em florestas constituem um problema para os ecossistemas, pois promovem a degradação do ambiente e o desequilíbrio das interações existentes no meio. O Portal do Estado do Ambiente de Portugal refere que entre 2007 e 2016, ocorreu uma média de 3662 incêndios florestais por ano, considerando apenas incêndios em áreas de 1 ha ou mais, resultando em 84 671 ha de área queimada, o que representa 38% de zonas florestais e 62% de áreas de matos e pastagens naturais.

Em 2017 foi contabilizado em Portugal continental 17 516 ocorrências, das quais 21% correspondem a incêndios florestais e 79% a fogachos (ocorrências com área ardida < 1 ha), resultando em cerca de 456209 ha de área ardida distribuídos no território de Portugal. Este valor representa um aumento para o quádruplo da média dos últimos dez anos (+437%) (Fernandes et al., 2017). Os números crescem fortemente, sendo o ano de 2017 o que apresenta maior área ardida desde 1995 (Figura 1). A distribuição das áreas ardidadas em todo país está representada na Figura 2.

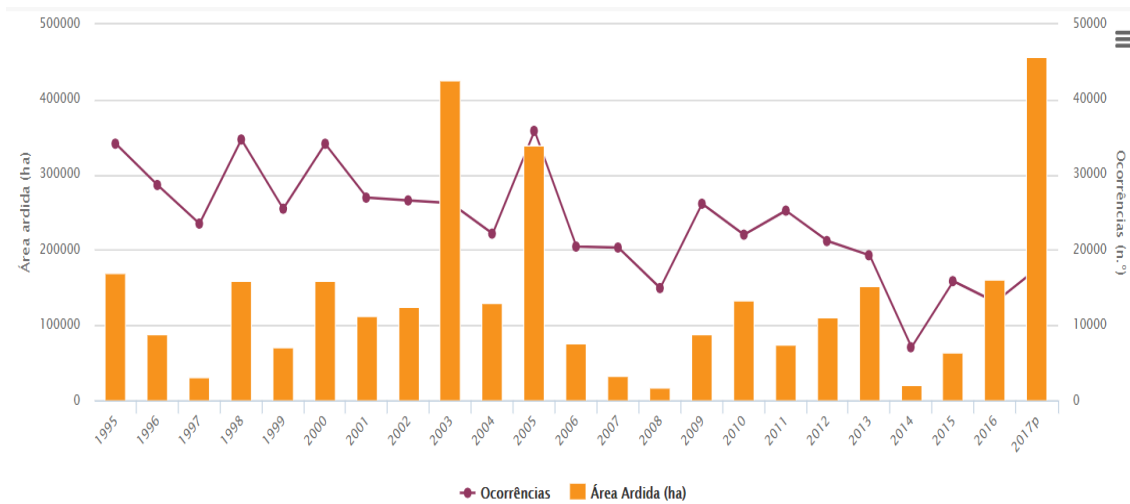


Figura 1 - Incêndios Florestais em Portugal Continental: ocorrências e área ardida. Adaptado de ICNF (2017).

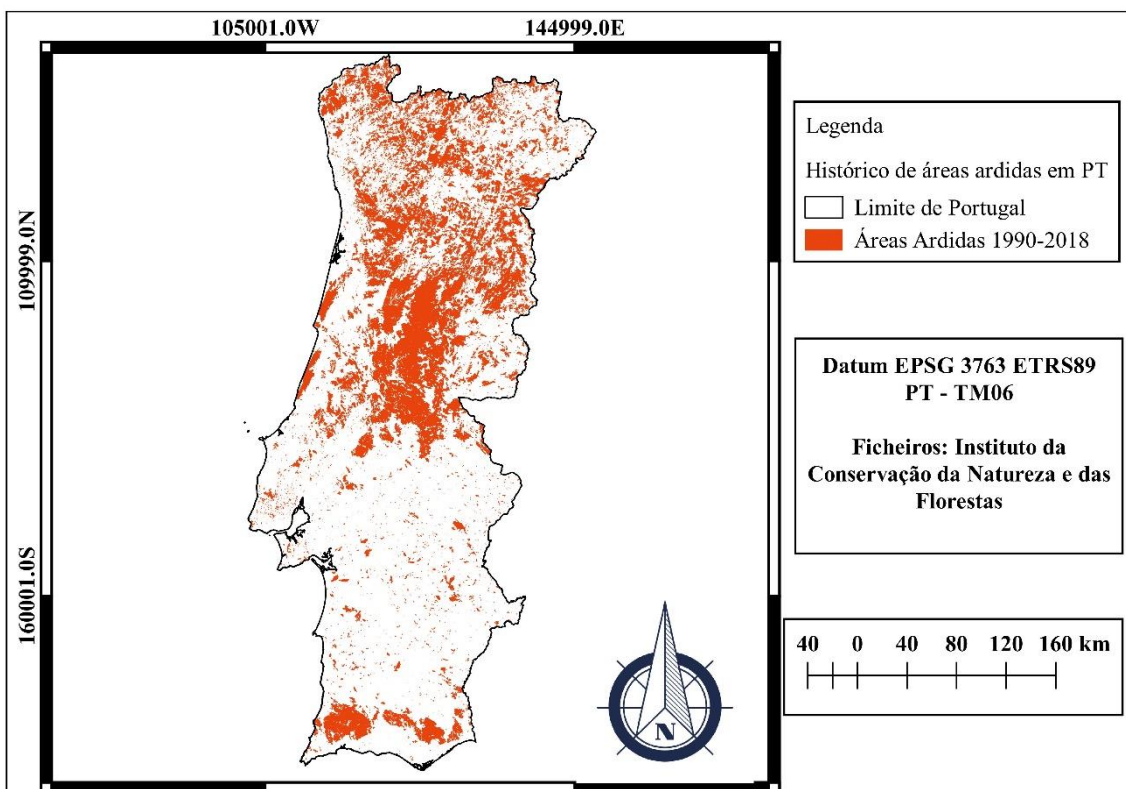


Figura 2 – Mapa de distribuição das áreas ardidas em Portugal de 1990 - 2018.

O território nacional possui grande frequência de incêndios florestais (Figura 1 e Figura 2) e além das grandes perdas económicas e sociais que os representam, ainda

trazem enormes perdas na biodiversidade e danos nos ecossistemas. Além disso, a intensidade do incêndio depende em grande parte das condições meteorológicas e da quantidade de combustível disponível. Tais condições são possíveis devido à situação geográfica do país, aos impactos sobre o solo e ao aumento de eventos climáticos extremos (Fernandes et al., 2018).

Outro impacto de grande relevância gerado pelos incêndios é o aumento da vulnerabilidade das florestas após a sua ocorrência. Durante um incêndio florestal grandes chamas são levantadas, atingindo árvores de maior porte. Com isso o sub-bosque fica mais exposto à radiação solar, fazendo com que naquele meio e em seu entorno a humidade seja menor, tornando o meio mais susceptível a novos incêndios no interior da floresta (Nepstad et al., 1998).

Os incêndios florestais proporcionam a exposição do solo por meio da remoção da cobertura vegetal e da matéria orgânica, promovendo uma aceleração dos processos erosivos. Como consequência o solo perde grande parte da sua fertilidade, em razão de haver grande decaimento de sua eficiência de acúmulo de água e nutrientes, danificando a resistência dos aglomerados do solo e favorecendo maiores condições de seca (Alexandre, 2015; Cavalli, 2017).

A complexidade dos efeitos gerados pelos incêndios florestais sobre o solo é elevada, afetando muitas variáveis dependentes umas das outras (Ferreira et al., 2010). Tais efeitos variam de acordo com as características do incêndio, como a intensidade e a severidade e também das condições do local como o tipo de vegetação, topografia, temperatura e precipitação (Fowler, 2003).

Além disso, os incêndios florestais ainda podem ser um meio de degradação dos corpos hídricos, visto que muitos elementos oriundos da combustão da biomassa podem ser arrastados para estes através da precipitação, associada com os processos erosivos, do vento e outras diversas fontes de propagação possíveis (Meneses, 2013). Ainda são de grande relevância quanto a liberação de compostos aromáticos que podem reagir durante a combustão e principalmente a formação de dióxido de carbono (CO_2), que é libertado para a atmosfera (Vergnoux, 2011). Dentre os ecossistemas terrestres, as florestas são os maiores sumidouros de carbono, a biomassa e o solo em maior percentual, são grandes sequestradores e armazenadores de carbono (Morais, 2012).

As propriedades físicas e químicas do solo são alteradas após os incêndios florestais. Fonseca et al. (2017) realizou estudos do efeito do fogo sobre as propriedades químicas do solo em áreas cobertas por matos e refere que o pH aumenta imediatamente após o fogo, o teor de matéria orgânica aumenta na camada superficial e tende a diminuir conforme aumenta a profundidade do solo e alguns nutrientes são alterados apenas em camadas específicas.

Meneses & Cortez (2013) efetuaram uma pesquisa a respeito dos efeitos de um incêndio florestal na qualidade da água de um rio e obtiveram resultados que lhes permitiram afirmar que os incêndios florestais causam mudanças nas propriedades físico-químicas da água, principalmente quando há arrastamento de partículas e elementos químicos resultantes da queima até aos cursos de água, gerando aumentos significativos na concentração de nutrientes presentes na água.

A redução de áreas de florestas tem aumentado drasticamente ao nível do globo, seja devido aos incêndios florestais ou por diversas outras causas de origem antrópica, criando, em conjunto, sérios danos ambientais, sociais e económicos. Principalmente por este motivo e pela grande redução de áreas florestais em todo o mundo é que os incêndios florestais têm conquistado tanta importância global (Soares, 2000).

Existem diversas técnicas para prevenção do risco e perigo de incêndio. Neste contexto, é de grande importância esclarecer a diferença entre “Risco” e “Perigo” de incêndio para assim obter uma compreensão apta para o tópico. O risco de incêndio está associado à probabilidade de um evento ocorrer, surgindo de modo favorável ou desfavorável. Já o perigo está associado à conversão de riscos acumulados, ou seja, são as condições para o incêndio ocorrer. Desse modo, um risco de incêndio florestal pode tornar-se um perigo, sendo necessário apenas a eclosão de material combustível (Lourenço, 1994; ICNF, 2017).

Então o manejo do material combustível é apenas uma das técnicas muito importantes utilizadas para prevenção de grandes incêndios, principalmente com o estabelecimento de uma legislação eficiente e a aplicação de penalidades severas para os que proporcionam condições favoráveis ou não tomam medidas de prevenção e precaução (Soares, 2000).

O Artigo 15.º do Decreto-Lei Nº 124/2006, de 28 de junho introduzido pelo Decreto-Lei Nº 17/2009, de 14 de janeiro, estabelece que é obrigatória a gestão de combustíveis à volta das edificações e aglomerados populacionais. Para isso, é comum o uso de faixas de descontinuidade, consistindo na limpeza de uma faixa de largura mínima de 50 m à volta de habitações, estaleiros, armazéns, oficinas ou outras edificações. Assim, o uso de faixas também é uma técnica de prevenção de incêndios florestais (Inês & Pereira, 2011; Figueiredo, 2017). Os autores ainda ressaltam que esta técnica é usada há muito tempo e com diferentes métodos de aplicação, tendo como base a criação de uma zona descontínua para deter o incêndio.

Como estratégia de redução progressiva dos incêndios florestais o ICNF desenvolveu o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra incêndios florestais (PNDFCI) que estabelece critérios, ações e metas em três domínios prioritários: prevenção estrutural, vigilância e combate, com cinco eixos estratégicos de atuação definidos, sendo estes:

- Aumento da resiliência do território aos incêndios florestais;
- Redução da incidência dos incêndios;
- Melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios;
- Recuperar e reabilitar os ecossistemas;
- Adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz.

Ainda com o mesmo objetivo existem muitos projetos e programas como os de campanha educativa, monitoramento meteorológico, classificação em níveis de zonas de risco, planos de manejo e de controle do fogo, sistemas de monitoramento por satélite, Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) aéreo e monitoramento de controle local (Ramos, 1995).

Os maiores componentes das técnicas citadas estão diretamente associados a legislação competente, sendo esta indispensável para obter resultados coerentes e eficientes e atingir os objetivos estabelecidos para a prevenção dos incêndios florestais.

3.2 Fogo controlado

O fogo controlado teve origem na Austrália e no SE dos EUA entre as décadas de 30 e 60 do século XX. Desde então passou a ser uma técnica utilizada por habitantes

rurais no contexto da sua economia, tendo sido institucionalizada e posta ao serviço de objetivos silvícolas e de proteção florestal, como já citado anteriormente (Fernandes, 2005).

A gravidade dos incêndios florestais está, em parte, relacionada com profundas alterações do uso da terra, nomeadamente o abandono da agricultura que proporciona o aumento de áreas cobertas por matos e redução de áreas de pastagens (espaços abertos de montanha), resultando numa acumulação de biomassa que funciona como material combustível e aumenta o risco de incêndio (Fernandes et al., 2002; Nogueira et al., 2015).

Com isso, torna-se necessário aplicar medidas para minimizar os potenciais riscos e perigos de incêndios florestais através de técnicas viáveis e eficientes. É comum que as entidades públicas e privadas recorram frequentemente à técnica de fogo controlado para redução da carga de combustível em florestas e áreas circundantes e também ao corte mecânico. Muitos estudos apontam que estas ações são vantajosas e demonstram uma relação direta entre a redução da carga combustível e a redução do número de incêndios (Castro et al., 2010).

O uso do fogo controlado para administração e manutenção dos recursos naturais é uma técnica eficaz e ecologicamente sustentável, de baixo custo, sendo benéfica nos programas de prevenção a incêndios (Castro et al., 2010; Pereira & Giglio, 2016).

Castro et al. (2010) refere que a técnica do fogo controlado é uma aplicação deliberada de fogo, que objetiva eliminar parte da carga combustível da floresta, principalmente a matéria mais facilmente inflamável, como as espécies herbáceas e arbustivas que queimam com maior facilidade. O Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) determina que o fogo controlado consiste na aplicação do fogo para gestão dos espaços florestais, com normas e procedimentos específicos, com objetivos específicos e que é efetuado sob a responsabilidade de um técnico credenciado. Wade & Lunsford (1989) afirmam que fogo controlado é o uso do fogo no espaço florestal, aplicado sob determinadas condições meteorológicas e de acordo com preceitos técnicos que satisfaçam objetivos de gestão predeterminados e bem formulados.

Deste modo, entende-se o fogo controlado como uma ferramenta de prevenção de incêndios florestais, com planejamento prévio, executado por profissionais habilitados, para atingir um objetivo específico, seja a redução da carga de combustível e/ou eliminar espécies que fornecem maior perigo (Wade & Lunsford, 1989; Castro et al., 2010; ICNF, 2017).

3.2.1 Impactos do fogo controlado

Embora o fogo controlado possa ser uma importante ferramenta de prevenção dos incêndios florestais, ainda constitui uma perturbação antrópica do meio ambiente e pode acarretar impactos significativos ao ecossistema. Com relação ao solo é possível descrever alguns impactos proporcionados pelo fogo controlado ou mesmo pelos incêndios florestais, dependendo das características do fogo *in loco*, como o seu tempo de duração, intensidade, severidade e magnitude (Fernandes et al., 2002; Castro et al., 2010; Fonseca et al., 2017).

Diferente do incêndio florestal, o fogo controlado tem movimento rápido e liberta uma enorme quantidade de calor e transfere baixa energia para o solo, submetendo-os a temperaturas mais restritas na camada superficial. Porém, é importante ressaltar que parte dos nutrientes e da atividade microbiana no solo está localizada nos primeiros 10 a 15 cm. Quando existe uma camada superficial orgânica (horizonte orgânico), mesmo um pequeno aquecimento desta camada, é responsável por garantir mudanças significativas nas propriedades do solo, refletindo-se diretamente na capacidade do solo para absorver e reter água, conseqüentemente, alterando o desenvolvimento de plantas e outras formas de vida (Castro et al., 2010).

O uso do fogo degrada o ambiente, causando perda da qualidade do solo, tornando improdutivas as áreas sob uso contínuo desta prática (Guimarães et al., 2014). Isso ocorre através de diferentes fatores que podem ser alterados. Um bom exemplo é a intensificação dos processos erosivos, pois a retirada da cobertura vegetal, redução da biomassa e da matéria orgânica faz com que o solo fique mais exposto. Além disso, a redução de matéria orgânica traz consigo uma série de outras alterações, visto que irá modificar o fluxo de água e ar, temperatura e disponibilidade de nutrientes no solo, resultando numa redução da produtividade (Fernandes et al., 2002; Castro et al., 2010; Guimarães et al., 2014; Nogueira et al., 2015).

Com a queima do material combustível o fogo ainda pode provocar a redução da acidez do solo pela deposição das cinzas. Quando a biomassa é queimada, as substâncias nela contidas são liberadas em forma de óxidos ou carbonatos, que normalmente apresentam reação alcalina. Assim, as cinzas depositadas na superfície, proporcionam uma tendência de redução da acidez no solo (Soares & Batista, 2007; Guimarães, 2014).

Tratando de impactos, também podem ser citados impactos positivos do fogo controlado, como a liberação de nutrientes presentes no solo para as plantas, redução de espécies invasoras de grande proporção, controle e limpeza de áreas com potencial risco ou perigo de incêndio, dentre outras já mencionadas no decorrer desta revisão bibliográfica. De um modo geral, os impactos provocados no solo pelo uso do fogo controlado são menos graves do que um solo submetido a um incêndio (Castro et al., 2010).

3.3 Efeitos dos fogos nas propriedades do solo

Sejam grandes ou pequenos incêndios florestais, queimas controladas para controle de plantas ou controle de material combustível em zonas de riscos, esses fogos possuem potencial para causar impactos no solo, exercendo diversos efeitos físicos químicos e biológicos, uns vantajosos e outros prejudiciais (Costa & Rodrigues, 2015).

O efeito do fogo nas propriedades físicas do solo está associado com a estabilidade inerente da propriedade do solo afetada e com a temperatura que o solo pode atingir durante um incêndio (Neary et al., 2005).

Após uma área ser ardida o solo tende a sofrer um aumento no número de macroporos e uma redução dos microporos. Essa redução pode provocar um aumento da permeabilidade apenas na camada superficial, porém nem sempre alteram significativamente a porosidade do solo. Os fogos ainda são capazes de promover alterações no movimento da água no solo, pois realizam a secagem do solo e, conseqüentemente, aumentam a macroporosidade e originam fissuras, gretas e granulação, facilitando a infiltração e a percolação da água (Macedo & Sardinha, 1993). Contudo, este efeito na permeabilidade do solo está também dependente das substâncias

hidrofóbicas produzidas e depositadas na superfície do solo, que tendem a causar repelência à água e aumentar o escoamento superficial (Fonseca et al., 2017)

Em áreas de matos, após a incidência de fogos ocorre a destruição da cobertura vegetal, deixando o solo mais exposto e susceptível a processos erosivos, acelerando o processo de intemperismo das rochas e aumentando a movimentação do solo. A ausência de vegetação permite que as gotas de chuva incidam diretamente sobre o solo, gerando assim a erosão por salpico e ainda reduz as taxas de infiltração e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial. (Lourenço, 1994b).

A alteração das propriedades físicas do solo está muito associada com as temperaturas que o solo atinge durante o fogo. Quanto mais elevada a temperatura e o tempo de exposição, maiores serão as alterações (Fernandes, 2009). A textura do solo é definida por três componentes (areia, silte e argila), que não são alteradas significativamente com fogo, mantendo sua composição e textura, salvo em situações que a superfície do solo mineral (horizonte A) é exposta a grandes temperaturas (Macedo & Sardinha, 1993; Neary et al., 2005). A textura mais sensível ao fogo é a argilosa, que sofre alterações na estrutura e hidratação do solo quando a temperatura é igual ou superior a 400 °C, enquanto para alterar a areia e o silte são necessárias temperaturas muito superiores (Neary et al., 2005).

3.4 O carbono

Elisa & Helene (1990) referem que o carbono é armazenado em três principais reservatórios capazes de fazer trocas entre si e que compõem o ciclo biogeoquímico do carbono, que são: atmosfera, oceanos e biosfera terrestre. Berner & Lasaga (1989) admitem que o carbono se distribui na natureza da seguinte forma: 0,06% na atmosfera, plantas e animais; 99,94% nas rochas e sedimentos oceânicos.

Merino (2008) declara que a maior reserva de carbono está nos oceanos, onde são acumulados 38 000 Pg de carbono (1×10^{15} Pg C = 1015 g C). O mesmo autor ainda afirma que as reservas geológicas constituem a segunda maior capacidade de armazenamento de carbono, com 5 000 Pg de carbono, onde 4 000 Pg estão acumulados na forma de carvão, o terceiro compartimento mais importante é o solo, com 2 300 Pg, no qual o carbono é encontrado em dois componentes, a matéria orgânica (67%) e os

compostos inorgânicos, como os carbonatos (33%). Ainda refere que na atmosfera existem 760 Pg de carbono acumulado e os organismos vivos contém um total de 560 Pg de carbono.

Os compartimentos estão interligados uns com os outros. As atividades humanas têm um efeito direto sobre estes compartimentos e sobre os fluxos de carbono, afetando assim a sua distribuição, bem como as emissões naturais que são regidas pela respiração dos organismos e decomposição dos resíduos orgânicos, fotossíntese e troca de gases nos oceanos. As emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis e da utilização dos solos também têm de ser considerados (Merino, 2008; Bompastor et al., 2009).

A quantidade de carbono armazenada nos sistemas florestais depende essencialmente das entradas, como a produção primária das plantas, e das saídas. De forma natural, as saídas ocorrem especialmente por respiração microbiana e erosão, sendo este balanço afetado pela mobilização do solo (Moorman et al., 2004; Bompastor et al., 2009).

3.4.1 Ciclo do carbono

As respostas do ciclo de carbono têm desempenhado um papel importante na mitigação do aumento do efeito estufa (Gupta & Neil, 2012). Porém, as mudanças e fenómenos climáticos tornam-se cada vez mais evidentes, demonstrando que tais respostas ainda não são suficientes (Xavier & Kerr, 2007).

O ciclo do carbono é considerado um dos ciclos biogeoquímicos mais importantes do planeta, já que este age diretamente sobre os demais ciclos (Stevenson & Cole, 1999) e o elemento carbono é um componente integrante da estrutura celular de todos os seres vivos (Waring & Corrida, 2007; Pereira, 2013).

No ciclo do carbono, as interações entre a pedosfera, biosfera e atmosfera são importantes, considerando que as principais reservas de carbono são os oceanos, a atmosfera e os ecossistemas terrestres, incluindo todas as componentes como o solo e a vegetação, que estão relacionados entre si e em equilíbrio constante (Waring & Corrida, 2007). As florestas tendem a estocar enormes quantidades de carbono, e por

consequência retiram grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera através dos processos de fotossíntese (Machado, 2005).

Os incêndios florestais constituem um grande problema para os estoques de carbono florestal, pois a sua ocorrência conduz a elevadas emissões de compostos de carbono e ainda podendo formar-se substâncias de maior perigosidade (Machado, 2005).

O ciclo do carbono inicia-se por meio dos ecossistemas florestais quando a vegetação assimila o CO_2 atmosférico através da fotossíntese (Waring & Corrida, 2007). Deste modo, o dióxido de carbono é fixado na biomassa vegetal, reagindo com a água com formação de hidratos de carbono e libertação de oxigénio para a atmosfera (Pereira, 2013; Silva, 2015). Em seguida, os hidratos são consumidos para fornecer energia para as plantas (o gás formado se agrega nas raízes) e animais que por meio da respiração liberam dióxido de carbono. Quando os animais e plantas morrem, entram em processo de decomposição e ocorre a reversão do processo com libertação de CO_2 para a atmosfera e, basicamente, as fases do ciclo se resumem em biota viva e matéria orgânica em decomposição e uma fração no subsolo sob a forma de carvão sólido, petróleo líquido e gás natural por processos biogeoquímicos (Schimel, 1995; Rosa et al., 2003; Pulselli & Marchi, 2015; Silva, 2015). Na Figura 3 está representado o ciclo do carbono.

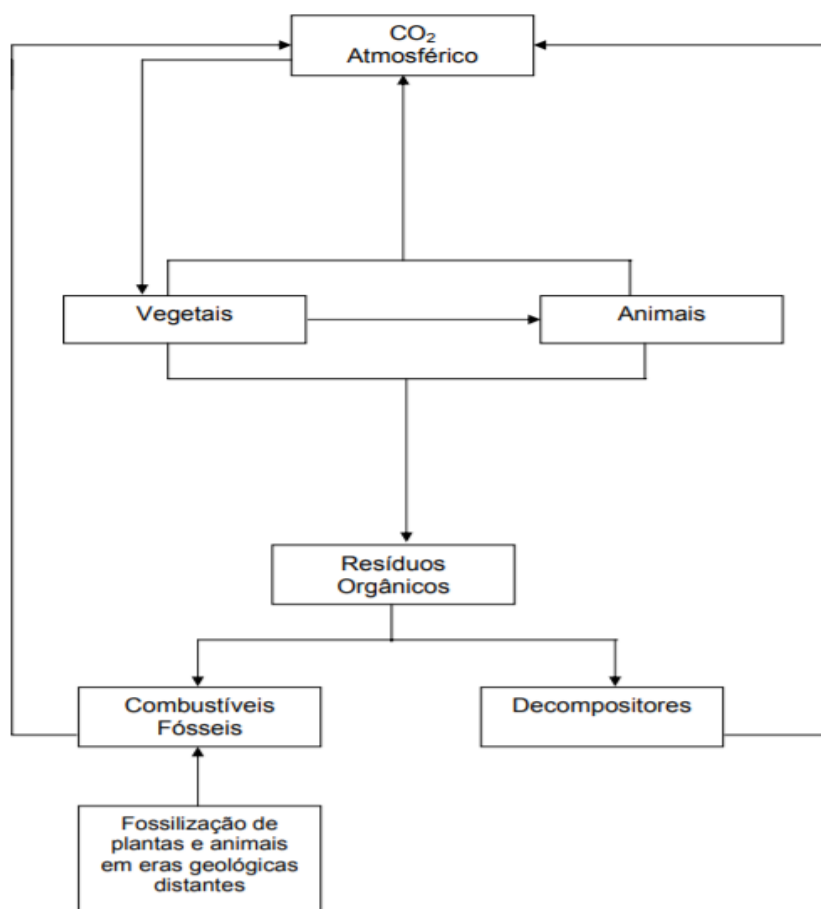


Figura 3 - Esquema representativo do ciclo do carbono. Adaptado de Rosa et al. (2003).

3.4.2 Carbono no solo

Em um contexto global, os solos armazenam cerca de duas vezes mais carbono que a atmosfera (Trumbore & Camargo, 2009).

Considerado um dos maiores sumidouros de carbono, o solo exerce inúmeras funções na dinâmica do carbono. O armazenamento de carbono no solo é resultado do equilíbrio entre a entrada de carbono, através da matéria orgânica, e a saída, por decomposição ou mineralização da mesma. Todas as características do local, como o tipo de clima, condições meteorológicas, topografia, drenagem, manejo, uso da terra, e propriedades do solo determinam o comportamento do armazenamento e os fluxos de carbono no solo (Fonseca & Figueiredo, 2010; Petrokofsky et al., 2012; Carvalho, 2018).

A Agência Europeia do Ambiente (2015) refere que o solo é o segundo maior reservatório de carbono, a seguir aos oceanos. Ainda afirma que conforme a região, as alterações climáticas podem levar a um maior armazenamento de carbono nas plantas e no solo devido ao crescimento da vegetação, ou a uma maior libertação de carbono para a atmosfera. A recuperação de ecossistemas terrestres essenciais e o uso sustentável do solo nas zonas urbanas e rurais pode ajudar a atenuar as alterações climáticas e a adaptação a elas.

Com relação à capacidade de armazenamento de carbono, nem todos os solos são iguais. Os solos com maiores quantidades de carbono são as turfeiras, a maioria das quais estão localizados no Norte da Europa, no Reino Unido e na Irlanda, mas o solo dos prados também é capaz de armazenar quantidades significativas de carbono por hectare. Já em regiões mais quentes e secas do sul da Europa, a concentração de carbono tende a ser inferior (Agência Europeia do Ambiente, 2015).

3.4.2.1 Carbono orgânico e matéria orgânica do solo

Os solos constituem um compartimento terrestre e atuam como um dos maiores reservatórios de carbono e, geralmente, muitos solos têm grande capacidade de sequestro de carbono (Porta et al., 2003). Além disso, o solo é importante no sequestro de CO₂ atmosférico e na emissão de gases como o CO₂, CH₄ e N₂O, que são radiativamente ativos e tendem a contribuir para o aumento do efeito estufa. O sequestro de CO₂ ocorre através da fotossíntese e incorporação no solo por meio do armazenamento na matéria orgânica (Gonçalves et al., 2013; Fonseca & Figueiredo; Carvalho; 2018).

No solo existe carbono sob duas formas distintas, sendo orgânica e inorgânica e na maior parte dos solos, à exceção de solos calcários, a maioria do carbono, cerca de 70%, é tida como carbono orgânico do solo (Pereira, 2013). As estimativas globais de carbono orgânico no solo estão entre 1 115 a 22 000 Pg (Batjes, 1992). O conhecimento a respeito do carbono orgânico é de grande importância, já que pode funcionar como um indicador global da qualidade do solo, tendo grande relevância essencialmente em funções ecológicas, físicas, químicas e biológicas (Stolbovoy et al., 2007).

O carbono orgânico do solo refere-se ao carbono presente na matéria orgânica e é uma medida da quantidade total de carbono orgânico no solo, independentemente da sua origem ou estado de decomposição. A quantidade e qualidade da matéria orgânica presente no solo determina a diversidade e atividade microbiana e a concentração de carbono. Além disso, a vegetação tem um grande peso sobre a atividade microbiana do solo, pois além de realizar a cobertura do solo e minimizar os processos erosivos, esta ainda pode proporcionar diferentes condições climáticas, geralmente favoráveis para a atividade microbiana (Pereira, 2013).

A matéria orgânica influencia de forma considerável as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e tem um papel importante no ciclo global do carbono. É heterogênea e apresenta grandes oscilações nas suas propriedades químicas, que por sua vez interferem com as taxas de decomposição e o grau em que pode ser estabilizada através de interações com a matéria mineral do solo (Trumbore & Camargo, 2009).

3.4.3 Carbono na vegetação

O carbono é formado na vegetação através da absorção e fixação de CO₂ da atmosfera pela biomassa. Em seguida, parte dessa biomassa é depositada na forma de matéria orgânica, através de galhos, folhas e raízes, na superfície e abaixo do solo (Costa, 2015b). A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) refere que a biomassa é a “matéria orgânica presente tanto acima quanto abaixo do solo, viva e morta, como por exemplo, árvores, culturas agrícolas, gramíneas, serrapilheira, raízes”. O Sistema Nacional de Informações Florestais Brasileiro (2016) apresenta a classificação do carbono estocado em diversos compartimentos da biomassa nas florestas, como:

- Carbono na biomassa viva acima do solo: inclui folhas, sementes, copa, galhos, tocos e troncos.
- Carbono na biomassa viva abaixo do solo: inclui raízes vivas, excluindo-se aquelas pequenas, onde seu diâmetro é menor que dois milímetros, pois essas não são distinguidas da matéria orgânica do solo ou serrapilheira.

- Carbono na biomassa morta: é toda a biomassa lenhosa morta, que não faz parte da serrapilheira, ou seja, é aquilo que já está caído no solo, como as raízes mortas e galhos com um diâmetro superior a 10 centímetros.
- Carbono na serrapilheira: é toda a biomassa morta com diâmetro inferior ao diâmetro mínimo exigido pelo Brasil para medir madeira morta, em vários estágios de decomposição por cima do solo mineral ou orgânico.

A vegetação classificada como matos representa grandes dimensões espaciais na região Nordeste de Portugal, cuja contribuição para o armazenamento de carbono não está devidamente esclarecida. No Parque Natural de Montesinho (PNM), os matos cobrem cerca de um terço dos 75 mil ha e são um elemento estável na paisagem. Ainda realizam funções de regulação no quadro dos serviços ecossistêmicos que prestam e a pertinência do seu contributo para os aspectos referidos (processos hidrológicos e armazenamento de carbono no sistema biomassa vegetal – horizonte orgânico – solo), acompanha as preocupações com a proteção do solo e com as alterações climáticas, muito presentes (Bompastor et al., 2009).

A vegetação exerce um papel de grande importância na purificação do ar e na redução das alterações climáticas. Neste contexto, o Centro de Investigação Florestal e Instituto Nacional de Investigação e Tecnologia Agrária e Alimentar (CIFOR-INIA) realizou um estudo que revela que, na atualidade, as florestas espanholas acumulam em cada ano, cerca de 87 milhões de toneladas de CO₂ devido ao seu crescimento. Isso representa que 24% das emissões anuais de CO₂ do país são fixadas pelas florestas (Filipa & Tina, 2013).

O crescimento das florestas é responsável pela maior percentagem de absorção de CO₂ atmosférico da área florestal espanhola, em que 65% correspondem às remoções efetuadas no ano de 2009, cerca de 23% são devidas a outras fixações de carbono no uso da terra que se tornam floresta e 11% resultam da gestão da terra agrícola (Filipa & Tina, 2013).

Viana et al. (2009) realizaram estudos sobre matos (urze, giestas e estevas) de Portugal e concluíram que as espécies estudadas fixam grandes quantidades de carbono, quer no sistema aéreo quer no radicular e são um importante recurso para fixação do carbono atmosférico. Estes resultados são corroborados por Fonseca et al. (2012), num estudo realizado no Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal.

Com isso, quantificar a fixação do carbono é de grande relevância, pois o seu armazenamento em florestas e produtos dela derivados tem sido proposto como uma estratégia adequada para reduzir os efeitos das alterações climáticas, com o intuito de arranjar alternativas para diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis (Filipa & Tina, 2013).

3.4.4 Emissões de carbono por incêndios florestais

De acordo com os dados reportados no inventário nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC), as emissões de carbono a partir dos incêndios em Portugal foram em média de 1,92 Mt CO₂ eq., tendo variado entre um mínimo de 0,18 Mt CO₂ eq (2014) e um máximo de 9,34 Mt CO₂ eq (2017) (Figura 4), sendo as emissões do ano de 2017 superiores a todos os anos registrados (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017).

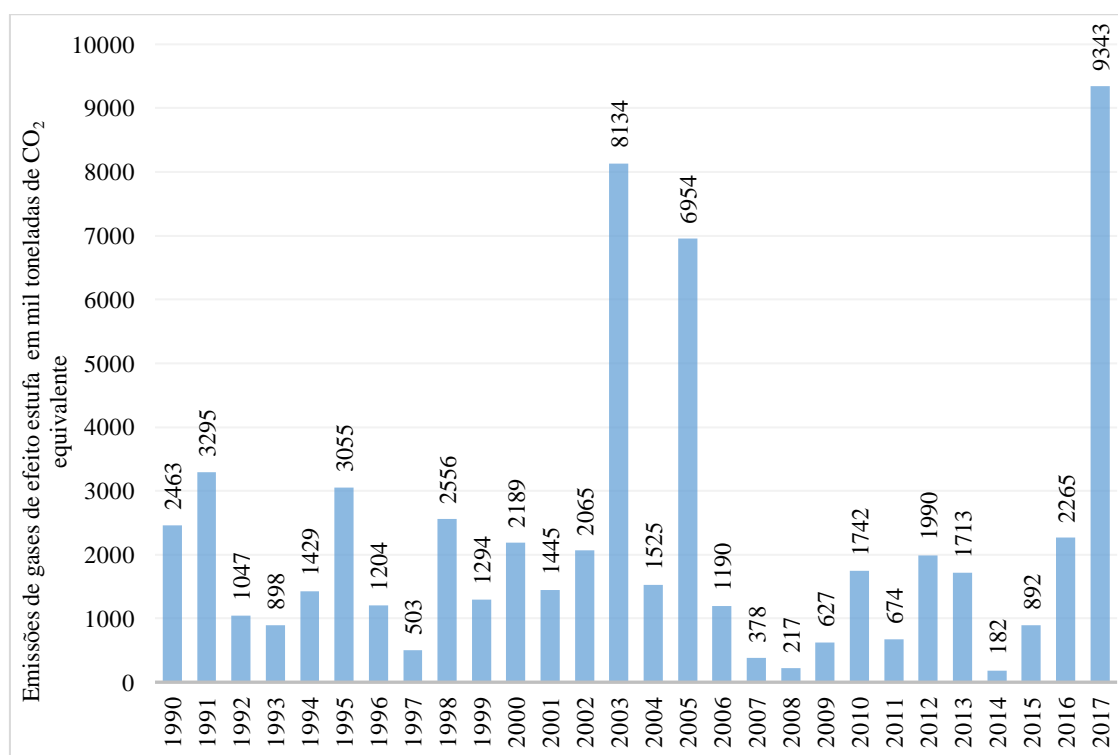


Figura 4 - Emissões de dióxido de carbono (CO₂) por incêndios florestais em Portugal de 1990-2017. Dados provisórios para o ano de 2016 e 2017. Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente (2017).

A Agência Portuguesa do Ambiente (2017) ainda ressalta que o superior aumento nas emissões observado no ano de 2017 deve-se ao fato dos grandes e

desastrosos incêndios ocorridos de 31 de agosto a 16 de outubro. Estes incidiram em maior parte sobre áreas florestais. A área ardida no período referido proporcionou um aumento de aproximadamente 204 mil ha, sendo 95% maior que o ano anterior e, conseqüentemente a estimativa de emissões aumentou 4,9 Mt CO₂ eq, representando um acréscimo de 111%.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização geral da área de estudo

4.1.1 Localização geográfica

A área de estudo localiza-se no Parque Natural de Montesinho (PNM), situado no alto Nordeste transmontano que abrange a parte setentrional dos concelhos de Bragança e Vinhais e faz fronteira a nascente, Norte e poente com Espanha, englobando as áreas das serras de Montesinho e Coroa. Na Figura 5 está representada a localização com as coordenadas geográficas da área de estudo a partir do continente Europeu.

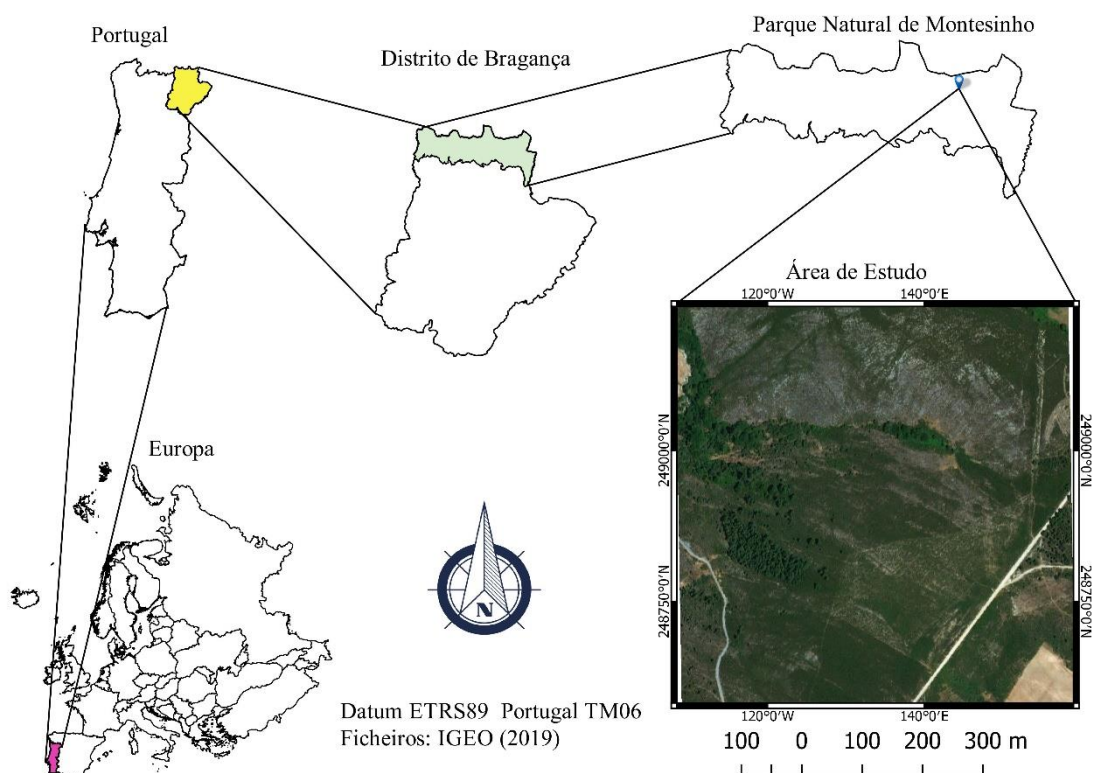


Figura 5 – Mapa de localização geográfica da área de estudo no Parque Natural de Montesinho.

A técnica do fogo controlado aplicada teve como objetivo reduzir a carga de material combustível da área, como proposto no plano de gestão de ordenamento do PNM (Figura 6).



Figura 6 – Aplicação da técnica do fogo controlado no local de estudo.

4.1.2 Caracterização climática

A classificação climática de Köppen-Geiger aponta que o Nordeste de Portugal é predominado pelo clima Csb e alguns resquícios de clima Cfs no Alto Portugal (Azevedo et al., 1995). A área do PNM está associada ao clima Csb, que é um clima temperado com invernos suaves, temperaturas entre -3 e 18 °C no mês mais frio, verão seco, mês de verão mais seco com precipitação abaixo de 40 mm (Subclasse Cs), verão longo e fresco, com médias de temperatura abaixo de 22 °C (Subclasse Cb) (IPB/ICN, 2007).

De acordo com o ICNF (2017) as temperaturas médias anuais do PNM estão entre os 8,5 °C na Serra de Montesinho e os 12,8 °C na Baixa Lombada. Nas áreas homogêneas a média das temperaturas máxima e mínima variam entre os 5 e 7 °C e os 14 e 17 °C. As zonas de vales podem atingir temperaturas mais baixas devido ao fenómeno de inversão térmica que ocorre principalmente nos meses de inverno e primavera. Os vales mais encaixados e profundos registam também os maiores valores das temperaturas máximas sendo assim os locais com maiores amplitudes térmicas diurnas e anuais.

Verifica-se através da Figura 7 que as médias de temperatura mais elevadas registam-se nos meses de julho e agosto, enquanto as mínimas estão entre dezembro a fevereiro. Nos meses mais quentes registam-se as menores precipitações (Figura 9), enquanto nos meses mais frios ocorrem as maiores precipitações.

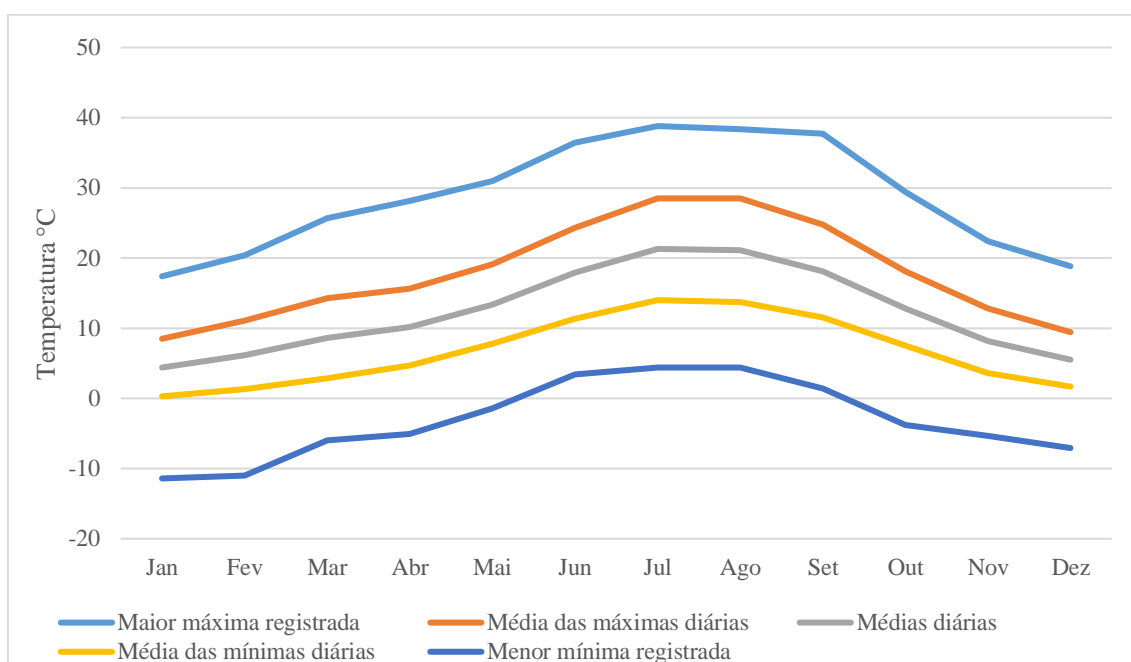


Figura 7 - Valores mensais de temperatura média, média das máximas e valores máximos registrados na estação meteorológica de Bragança (1971 - 2000). Adaptado de IPMA (2019).

Referente às médias anuais históricas de temperatura registradas na estação de Bragança, onde está inserido o local de estudo, verifica-se uma tendência crescente, com destaque para o ano de 2017, que apresentou o maior valor de temperatura média de toda a série apresentada (Figura 8).

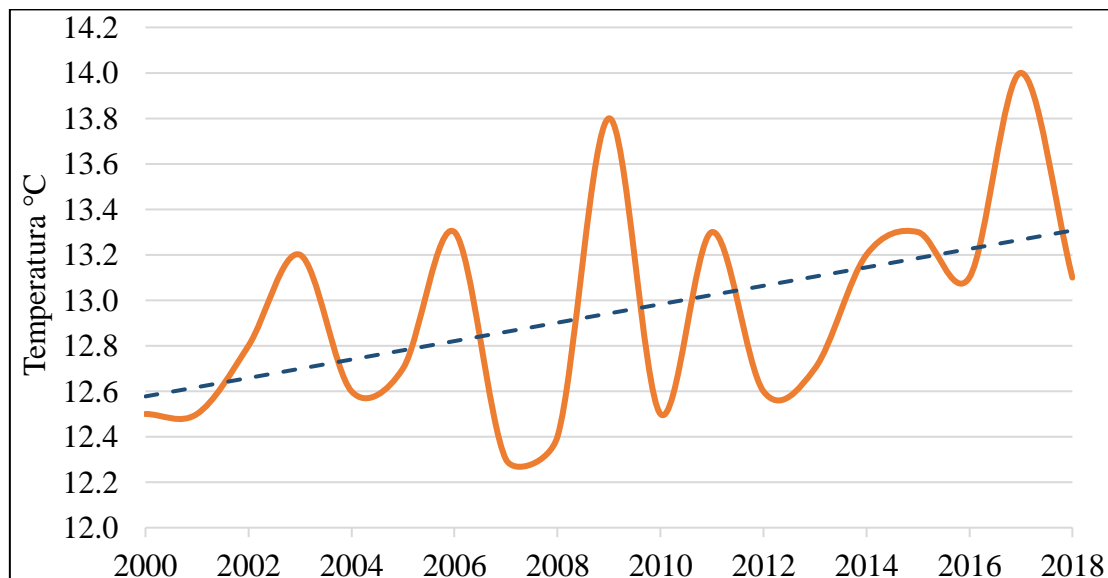


Figura 8 - Médias anuais de temperatura registradas em Bragança (2000 - 2018). Adaptado de IPMA (2019).

A precipitação anual no interior do PNM é característica do clima mediterrânico, com valores maiores no período frio e extremamente baixa no período mais quente (Figura 9). A precipitação no período húmido (outubro a março) representa cerca de 72% da precipitação total anual. A distribuição é superior nas zonas com maiores altitudes e na parte ocidental, reduzindo a Este, devido ao efeito de Fohen que ocorre quando as massas de ar passam por relevos mais acentuados e progressivamente vão perdendo a humidade (IPB/ICN, 2007).

Os meses mais chuvosos estão centrados na estação de inverno, janeiro e dezembro, com cerca de 100 mm mensais, enquanto os menos chuvosos estão centrados no verão, com médias de precipitação mensal inferior a 20 mm (Figura 9).

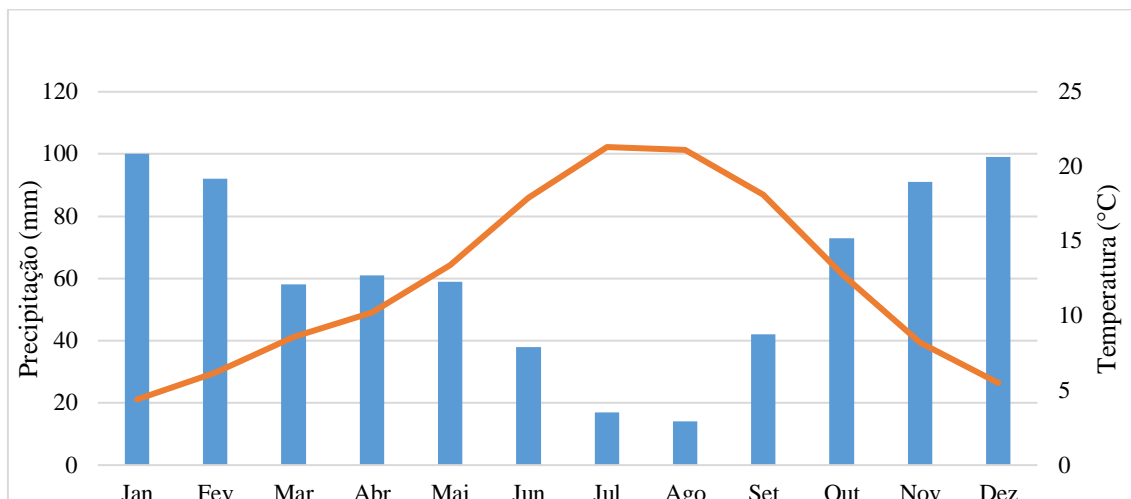


Figura 9 – Médias mensais de temperatura e precipitação em Bragança (1971 - 2000). Adaptado de Climate-data.org (2019).

4.1.3 Caracterização da litologia, geologia e solos

A região Nordeste de Portugal em termos de geologia, foi formada uma colisão conhecida como varisca. Então, ocorreu um empilhamento das placas tectonoestratigráficas, onde foram levadas sobre a margem continental Ibérica de mais de 200 km, até o leste da Galiza e noroeste de Trás-os-Montes (Câmara Municipal de Mirandela, 2018; Pereira, n. d.). A litologia da área de estudo é apresentada como xistos ou grauvaques de período geológico Ordoviciano-siluriano (Figura 10).

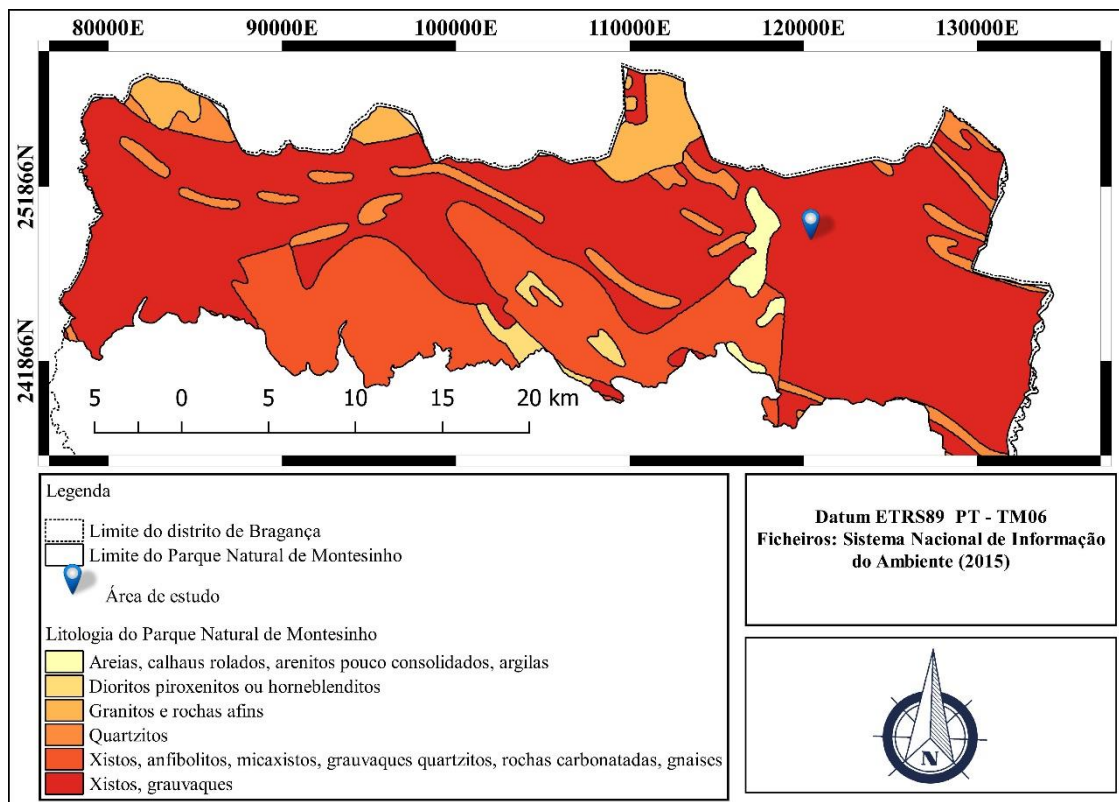


Figura 10 – Mapa da Litologia do Parque Natural de Montesinho.

Os solos existentes na área estudada pertencem à unidade Leptossolos úmbricos de xistos (Figura 11). Os Leptossolos são caracterizados como sendo solos rasos, pouco desenvolvidos e não tendo em sua maior parte horizontes claramente definidos, com profundidade por volta dos 30 cm de material desagregado sobre rocha consolidada, oriundos de materiais compactos, possuem um teor de matéria orgânica médio a elevado e também chamados de solos incipientes, por serem reduzidos praticamente ao material de origem (Pissarra, 1981; IPB/ICN, 2007).

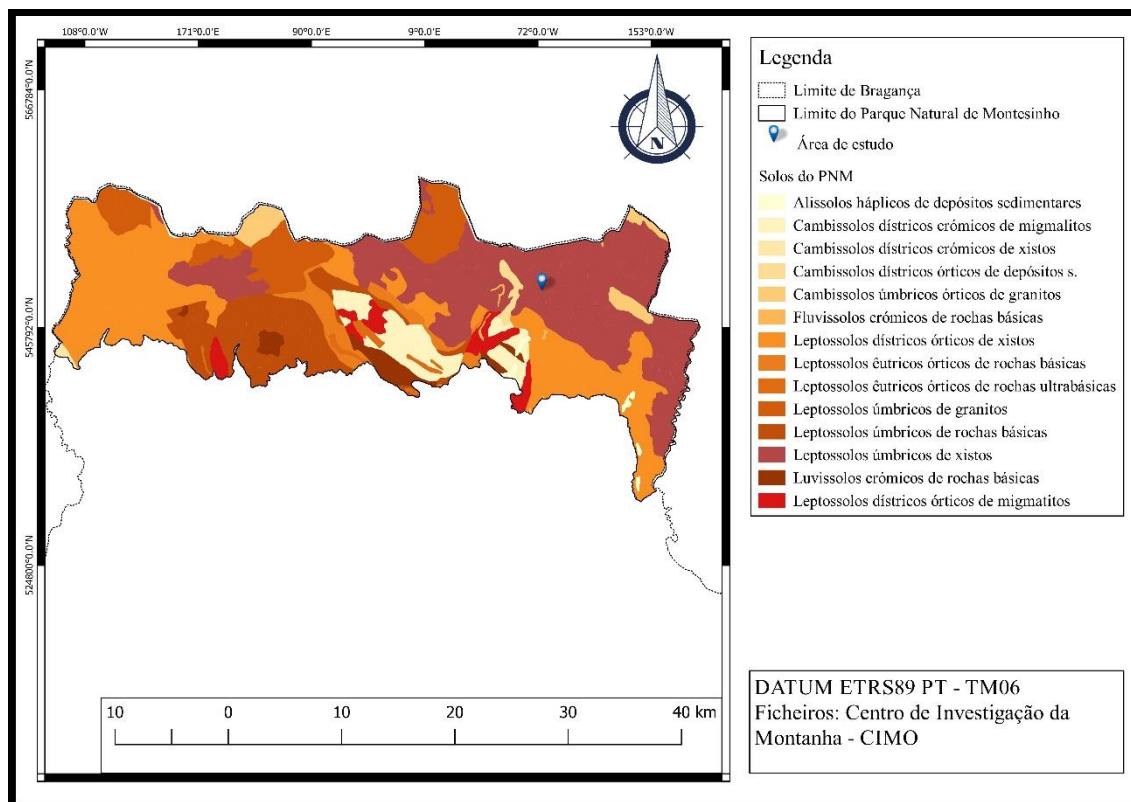


Figura 11 – Mapa de classificação de solos do Parque Natural de Montesinho.

4.1.4 Caracterização hidrográfica e hipsométrica

A rede hidrográfica do PNM é considerada densa e bem distribuída por toda a área do parque, com sistema fluvial inserido globalmente na rede hidrográfica do rio Douro, nas bacias de dois dos principais afluentes (rio Tua e Sabor). Dentre os rios mais importantes que percorrem o parque, de Ocidente para Oriente, os rios Mente, Rabaçal, Tuela e Baceiro, incluídos na bacia do Tua e rios Sabor, Igrejas, Onor e Maçãs da bacia do rio do Sabor (IPB/ICN, 2007).

As características dos perfis longitudinais estão diretamente ligadas a aspectos gerais do relevo. A região Nordeste de Portugal é caracterizada por possuir uma rede hidrográfica mais densa, com maior declive ao longo dos percursos e vales mais profundos (Figura 12).

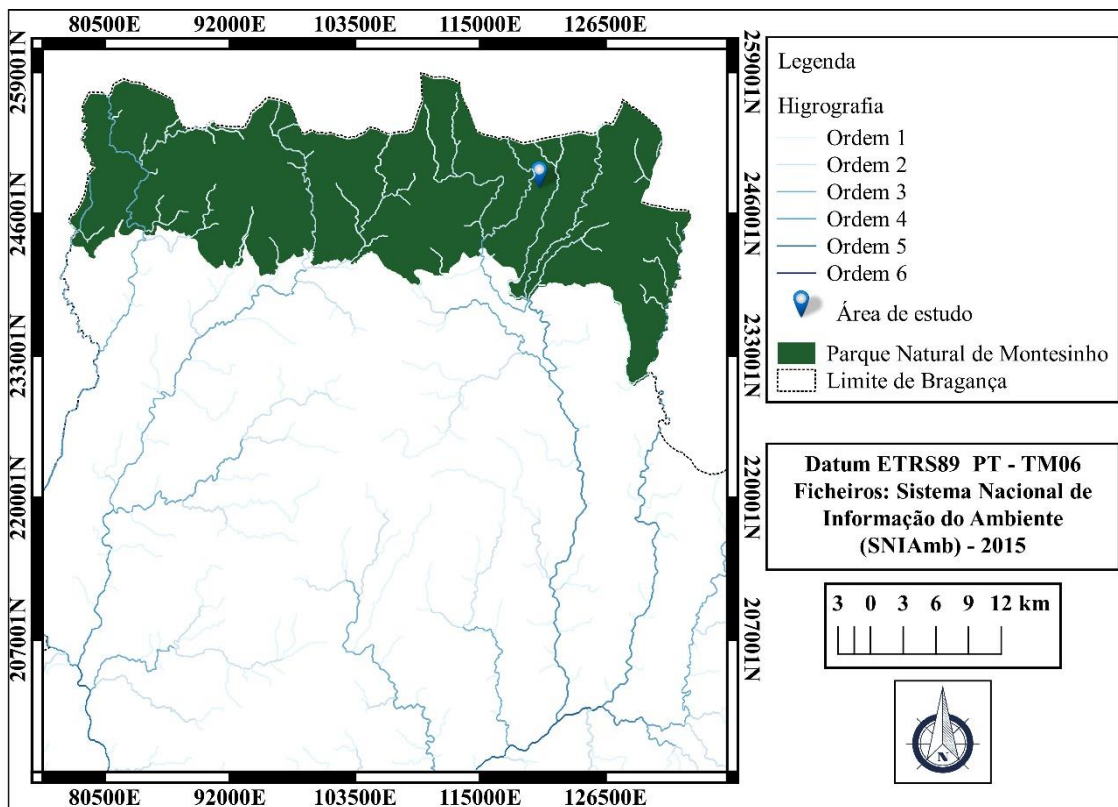


Figura 12 - Mapa de classificação dos rios do distrito de Bragança e do PNM.

A área de estudo possui relevo ondulado, com cumeadas aplanadas e arredondadas, a cotas superiores a 800 metros, que fazem a divisão de pequenas bacias com linhas de água encaixadas e declivosas (Figura 13) (Figueiredo et al., 2012).

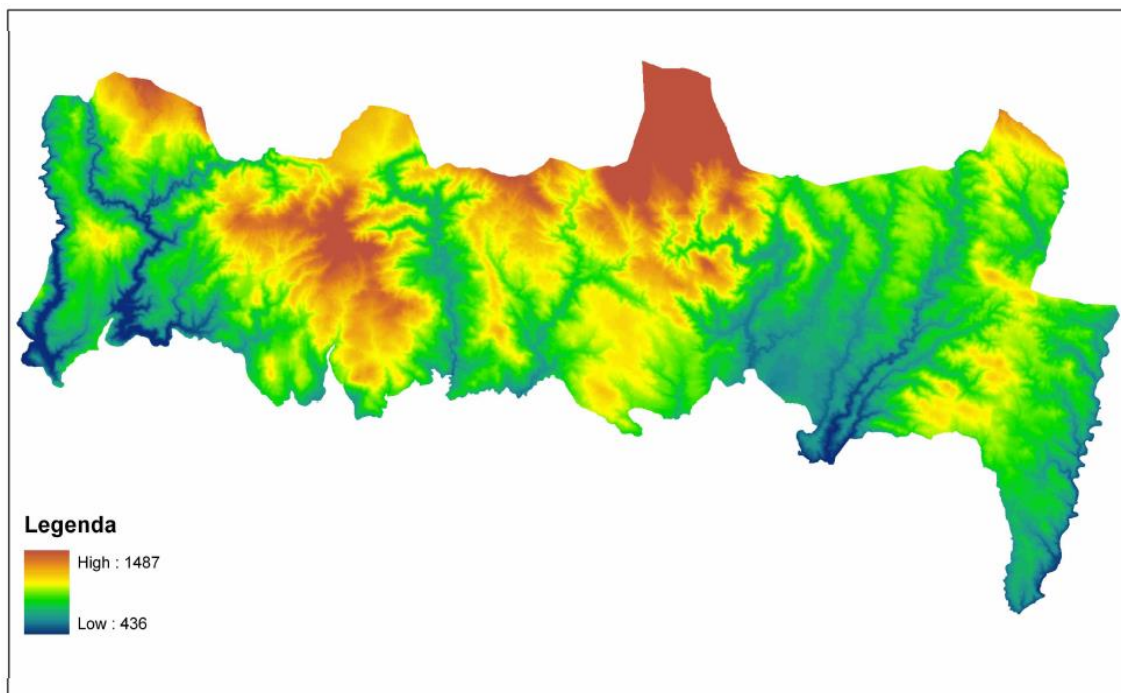


Figura 13 – Modelo digital de terreno - Declive, do PNM. Mapa produzido pelo Ligeo, ESA/IPB, no âmbito do projecto Edunather, adaptado de Bompastor et al., 2009.

4.1.5 Caracterização Fitogeográfica

Franco (1996) elaborou a carta das zonas fitogeográficas da região Norte de Portugal, baseada não só na distribuição das espécies de *Quercus* mas também num grande conjunto de outras plantas, bem como na pluviosidade e formações geológicas. Desse modo, o Norte foi subdividido em *Noroeste ocidental*, *Noroeste montanhoso*, *Nordeste Leonês*, *Nordeste ultrabásico*, *Terra Quente* e *Terra Fria*. As classes fitogeográficas do PNM estão representadas na Figura 14. A área de estudo está situada sobre a classe Nordeste León.

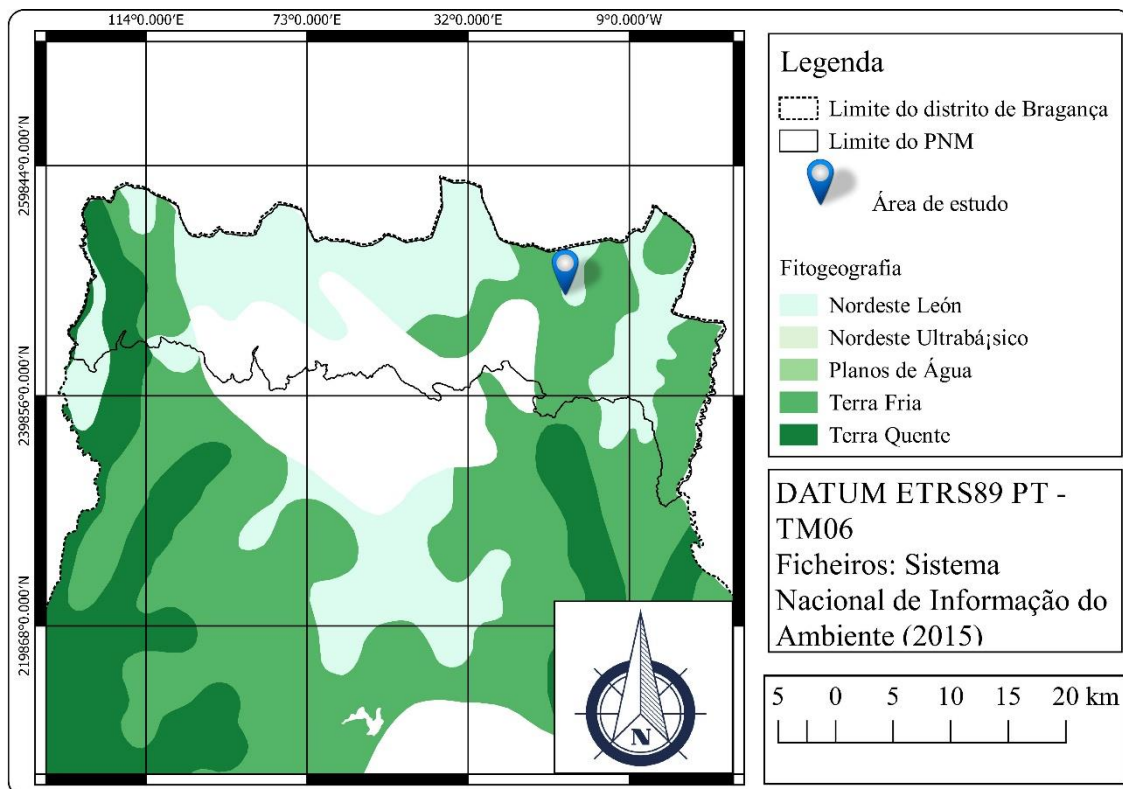


Figura 14 – Mapa fitogeográfico do Parque Natural de Montesinho.

4.1.6 Caracterização da Vegetação

Grande parte da área do PNM é composto por espécies arbustivas espontâneas, os matos, formados em grande maioria por áreas abandonadas. Os matos (esteva, giesta e urze) representam 34% de Unidades de Paisagem do PNM, que corresponde a cerca de 30% da área total (Figura 15).

Figueiredo et al. (2013) agrupou os matos do PNM em urzes, giestas e estevas. Com isso, o autor refere que as urzes são os matos mais representativos e ocupam as zonas de maior altitude, mais frias e húmidas, identificados pela espécie *Erica australis*; as giestas possuem a maior representação e localização altimétrica intermédias e são representadas pela espécie *Cystisus multiflorus*; as estevas ocupam a menor área, são característicos das zonas mais quentes e secas, a cotas inferiores e na fração Leste do PNM, identificados pela espécie *Cystus ladanifer*.

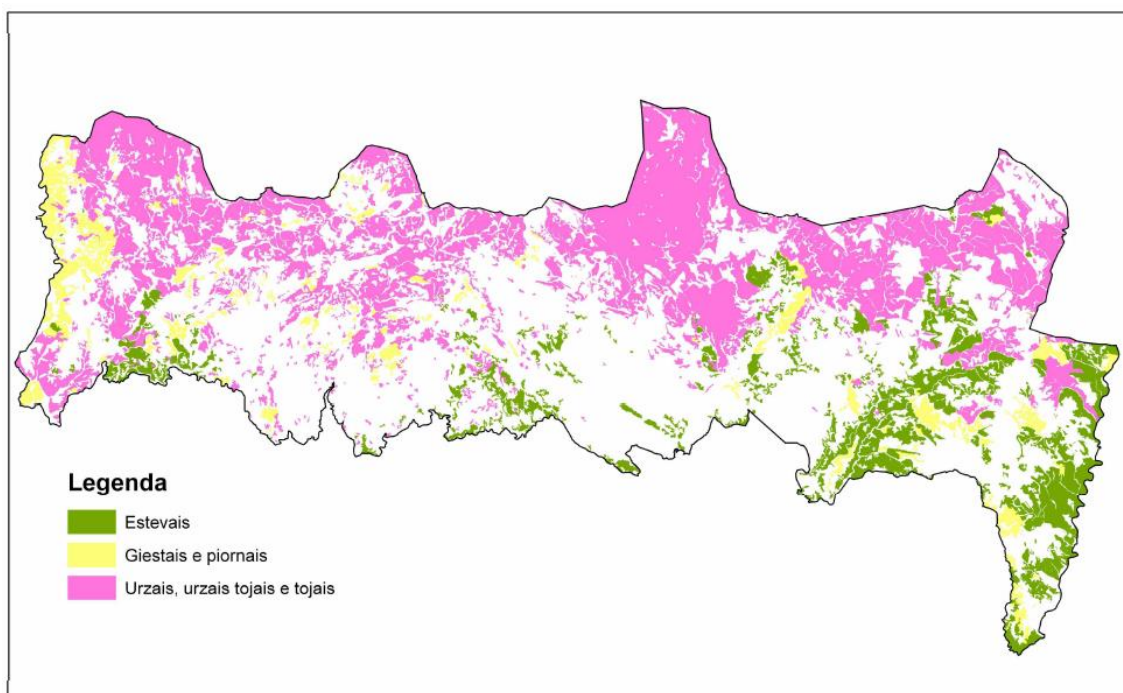


Figura 15 - Distribuição dos matos esteva, giesta e urze no PNM. Mapa produzido pelo Ligeo, ESA/IPB, adaptado de Bompastor et al. (2009).

4.2 Amostragem e avaliações de campo

4.2.1 Vegetação

Antes do fogo controlado, foi avaliada a abundância relativa da vegetação arbustiva na área de amostragem, delimitando 11 locais aleatórios com dimensões de 1 m x 1 m. Desse modo, verificou-se que 44% da superfície era ocupada por urze (*Erica australis*), 30% por carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) e 26% por esteva (*Cystus ladanifer*), obtendo-se uma dominância das espécies representativas dos principais grupos de matos do PNM (exceto a carqueja), representados na Figura 15 (IPB/ICN, 2007; Figueiredo et al., 2013). Para a avaliação da biomassa da parte aérea das espécies arbustivas (urze, carqueja e esteva), procedeu-se ao corte da vegetação em cada um dos 11 locais anteriormente referidos. As amostras devidamente identificadas foram levadas para laboratório, secas a 65 °C até peso constante e avaliada a quantidade de matéria seca aérea (MSA) de cada uma das espécies.

A biomassa aérea foi mensurada nos 11 locais de amostragem antes da aplicação da técnica do fogo controlado. Dois meses após o fogo controlado (DMAF), seis meses

(SMAF) e três anos após o fogo (TAAF). Antes do fogo (AF) a biomassa aérea (MSA, t ha⁻¹) foi avaliada com base em amostras colhidas no campo e nos períodos seguintes (DMAF, SMAF e TAAF) foi estimada com base na Equação 1 apresentada por Rambal (2001), onde t é o tempo de formação da nova biomassa após o fogo. Em seguida foi determinado o carbono na parte aérea das plantas (MCA, t ha⁻¹) através da multiplicação MSA, t ha⁻¹ pelo carbono na biomassa aérea (CMS, %), como representado na Equação 2.

$$MSA = 2880 (1 - e^{-0,0896t}) \quad (1)$$

$$MCA = MSA * \%CMS \quad (2)$$

A percentagem média de CMS foi considerada 55,8%, valor obtido por Fonseca et al. (2012), que realizou estudos em comunidades de matos localizadas na mesma área geográfica onde decorreu este estudo. Desse modo, foram obtidos 11 valores de massa de carbono da biomassa aérea, um valor para cada ponto e em seguida calculada a média global, para cada um dos períodos considerados (AF, DMAF, SMAF, TAAF).

Para mensurar o carbono nas raízes (MCR, t ha⁻¹), foi estimada a biomassa das mesmas recorrendo à razão *root/shoot* (RS) (Equação 3) de cada espécie obtida por Fonseca et al. (2012) na mesma área geográfica onde decorreu este estudo. A razão *root/shoot* para cada espécie foi de 2,48 para a urze, 0,60 para a esteva e 0,60 para a carqueja.

$$MCR = MSA * RS * \%CR \quad (3)$$

Foi assumido que a percentagem média de carbono na biomassa das raízes (%CR) é de 53,6%, valor obtido por Fonseca et al. (2012). Além disso, também foi assumido que a biomassa das raízes não sofreu alterações significativas com a aplicação do fogo, visto que o mesmo foi de baixa severidade.

4.2.2 Horizonte orgânico

Com auxílio de uma fita métrica foi medida a espessura do horizonte orgânico ou horizonte O (EHO, cm), através da realização de cinco medições no centro e nos quatro cantos da parcela de 1 x 1 m dos 11 locais de amostragem. O procedimento foi

realizado AF, DMAF, SMAF e TAAF, com objetivo de determinar a massa de carbono presente no mesmo. A quantidade de carbono no horizonte O (CHO, t ha⁻¹) foi determinada através da Equação 4.

$$CHO = 0,1229 \times EHO + 0,0437 \quad (4)$$

A Equação 4, utilizada para quantificação do carbono no horizonte O, foi obtida por Fonseca et al. (2012), num trabalho desenvolvido a cerca de 8 km da área geográfica deste estudo. Desse modo, foram obtidos 11 valores de massa de carbono no horizonte O, um valor para cada ponto e em seguida calculada a média global, para cada um dos períodos considerados (AF, DMAF, SMAF, TAAF).

4.2.3 Solo

Nos mesmos 11 locais de amostragem, onde se procedeu à caracterização da vegetação e do horizonte orgânico, foram colhidas amostras de solo. A colheita de amostras foi realizada em trincheiras, nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. Posteriormente, as amostras foram secas a 45°C e crivadas com um crivo de malha de 2 mm. Os períodos de colheitas foram AF, DMAF, SMAF e TAAF.

Para determinação da densidade aparente, procedeu-se à colheita de amostras não perturbadas nas mesmas profundidades citadas anteriormente (0-5, 5-10 e 10-20 cm), com auxílio de um cilindro de 100 cm³ de volume (V_c , cm³), nos onze locais de amostragem. Posteriormente, as amostras foram secas a 105°C, pesadas (PA, g) e determinada a densidade aparente (g cm⁻³) através da Equação 5.

$$Dap = PA / Vc \quad (5)$$

Determinada a densidade aparente e a percentagem de elementos grosseiros (partículas com dimensões > 2 mm), foi possível determinar o carbono orgânico no solo dos onze locais de amostragem. O carbono orgânico (COS, t ha⁻¹) foi calculado usando a Equação 6 (Tate et al. 1997; Percival et al. 2000; Fonseca et al., 2017).

$$COS = z * Cc * (Dap - 2.65 * EG/100) \quad (6)$$

Em que Cc é concentração de carbono (g kg⁻¹), z é a espessura da camada de solo mineral (cm) e EG é a correção para o conteúdo dos elementos grosseiros (v v⁻¹).

4.2.4 Severidade do fogo controlado

Foram avaliados parâmetros definidos por Hungeford (1996) durante a queima controlada e medidas as temperaturas na superfície e a 5 cm de profundidade imediatamente a seguir à passagem do fogo. Além disso, foi observada a profundidade de combustão do horizonte orgânico, e dos restos de vegetação que não arderam completamente (Figura 16). A carqueja e a urze arderam quase por completo, mas uma parte significativa das manchas de esteva resistiu à passagem do fogo. Desse modo, a análise dos vários parâmetros permitiu concluir que o fogo foi de baixa severidade (Figueiredo et al., 2012, Figueiredo et al., 2013).



Figura 16 - Avaliação e registo de diversos parâmetros imediatamente após a passagem do fogo

4.2.5 Biomassa consumida

Após a aplicação do fogo controlado, foi determinada a biomassa consumida, utilizando fatores de combustão determinados *in loco* e já determinados por estudos anteriores (Silva et al., 2006).

O fator de combustão das espécies urze e carqueja (0,8) foi retirado de Silva et al. (2006), enquanto que o fator de combustão da espécie esteva (0,5) foi estimado com base na percentagem de biomassa ardida visualizada e com medições no campo.

A biomassa consumida foi obtida multiplicando a biomassa aérea pelo fator de combustão de cada espécie, considerando que não ocorreu queima das raízes, nos onze locais de amostragem, uma vez que o fogo foi de baixa severidade. Na sequência foi subtraído a biomassa consumida da existente e obtido a biomassa que sobrou e mensurado o carbono, seguindo a metodologia já descrita no tópico 4.2.1.

4.2.6 Análise estatística

A análise estatística compreendeu ANOVA a um fator e comparações múltiplas de médias (Tukey, 5%) para avaliar os efeitos do fogo nos diversos reservatórios de carbono.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Biomassa aérea consumida e armazenamento de carbono imediatamente após o fogo controlado

A biomassa aérea consumida durante a aplicação do fogo controlado foi de 80% para a urze e a carqueja e 50% para a esteva. Na Figura 17 é visível o balanço da biomassa aérea imediatamente após o fogo.

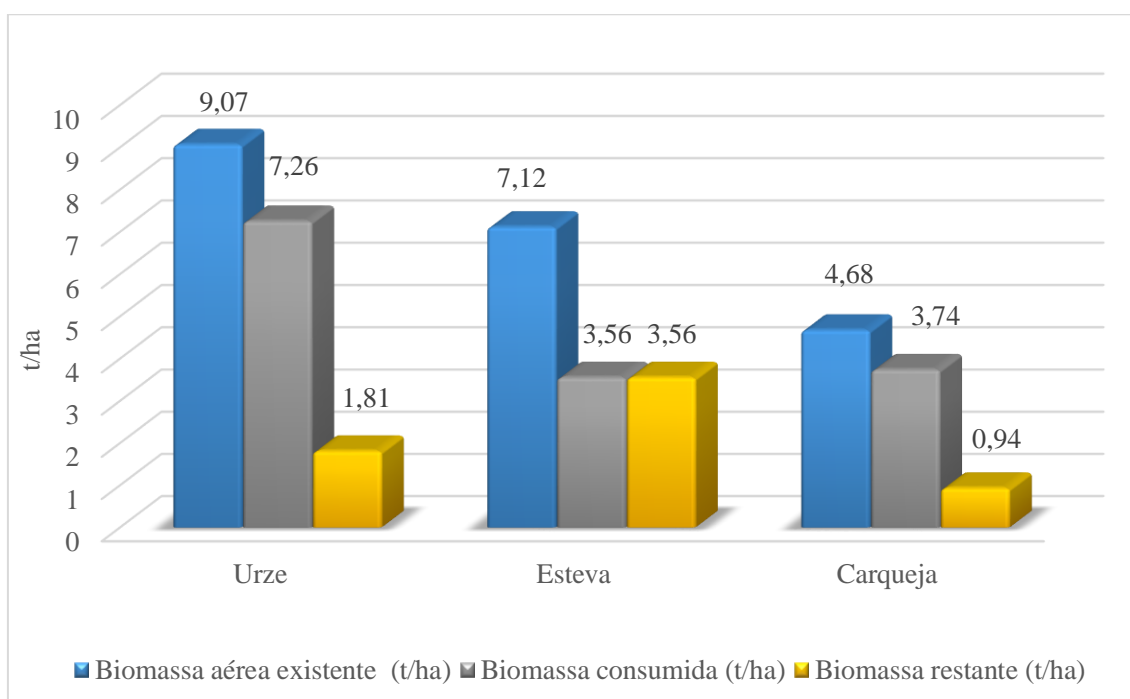


Figura 17 – Balanço de biomassa consumida e que restou após o fogo controlado.

A resistência das plantas ao fogo depende em grande parte da presença de características adaptativas que lhes permitem tolerar melhor o calor, da percentagem de tecidos mortos e localização desses tecidos, dos mecanismos reprodutivos e da capacidade para recuperar dos danos sofridos. A resistência da vegetação ao fogo pode ocorrer de duas formas, por um lado, é importante que as células que formam os tecidos vitais da planta consigam suportar elevadas temperaturas e por outro, é necessário que esses tecidos estejam protegidos de modo a não atingirem temperaturas letais (Whelan, 1995; Moreira et al., 2010).

A capacidade de as células suportar altas temperaturas é pouco variável entre as espécies e tecidos de uma mesma planta. A temperatura letal de uma planta pode ser influenciada por diversos fatores, sendo os principais a severidade e intensidade do fogo, como já referido anteriormente. Além disso, fatores da composição da planta também são importantes, como o estado de hidratação da planta. Para menor condução de calor e maior resistência a fogos, é necessário que as plantas estejam hidratadas (Whelan et al., 1995).

A queima da biomassa em grande parte é incompleta por não possuir condições ideais, proporcionando liberação de monóxido e dióxido de carbono em conjunto com outros GEE (Martins, 2007). A quantidade de carbono armazenada na biomassa aérea que não foi consumida pelo fogo está apresentada na Figura 18.

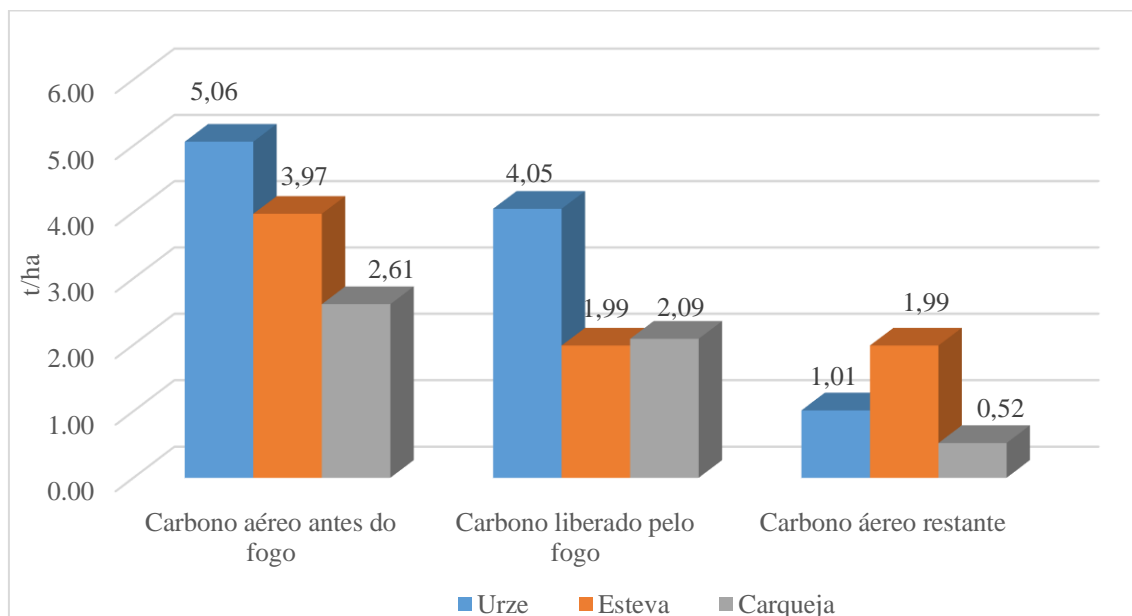


Figura 18 – Balanço de carbono na biomassa aérea antes e imediatamente após o fogo controlado.

Dentre os grupos de vegetação, a esteva foi a espécie mais resistente ao fogo, reduzindo cerca de 50% da biomassa, enquanto os urzais e estevais arderam valores mais elevados (80%).

5.2 Biomassa e armazenamento de carbono na vegetação antes e após o fogo

5.2.1 Antes do fogo controlado

Após as determinações de biomassa aérea e radicular para as espécies em estudo, verificou-se que a urze apresentou as maiores quantidades de biomassa (Figura 19).

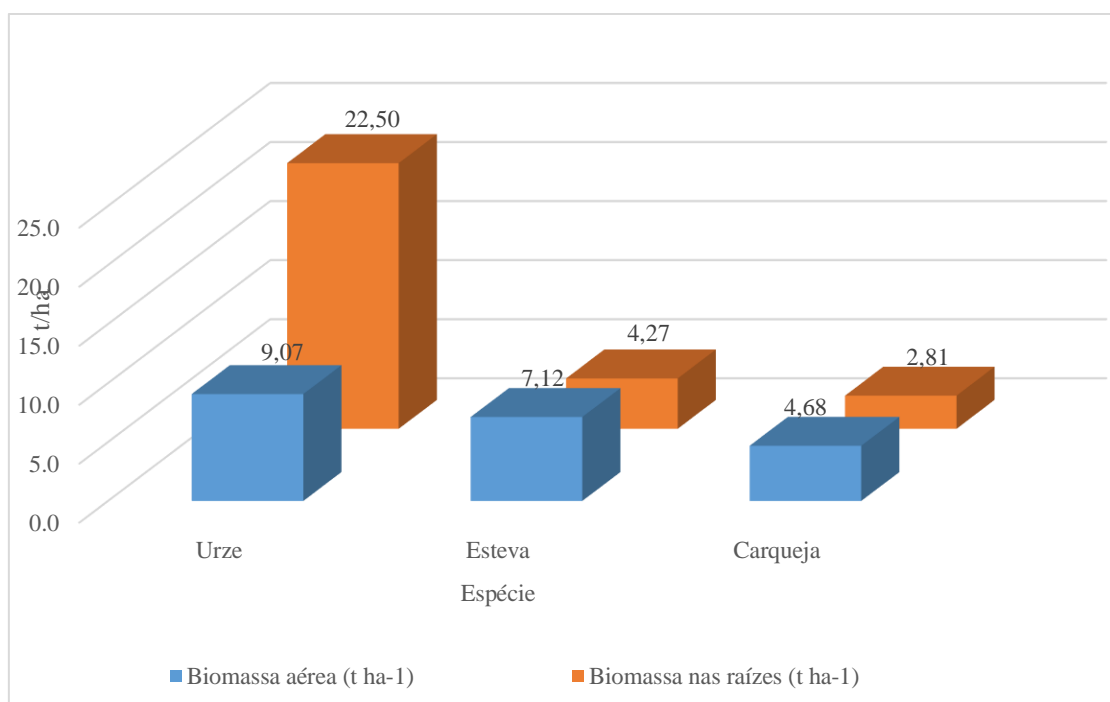


Figura 19 – Biomassa aérea e das raízes das espécies estudadas antes do fogo controlado.

Logicamente o armazenamento de carbono será superior também para as espécies que apresentarem maiores quantidades de biomassa, já que a quantidade de carbono é função da biomassa. O carbono armazenado na biomassa aérea e radicular das espécies urze, esteva e carqueja antes da aplicação do fogo controlado está representado na Figura 20.

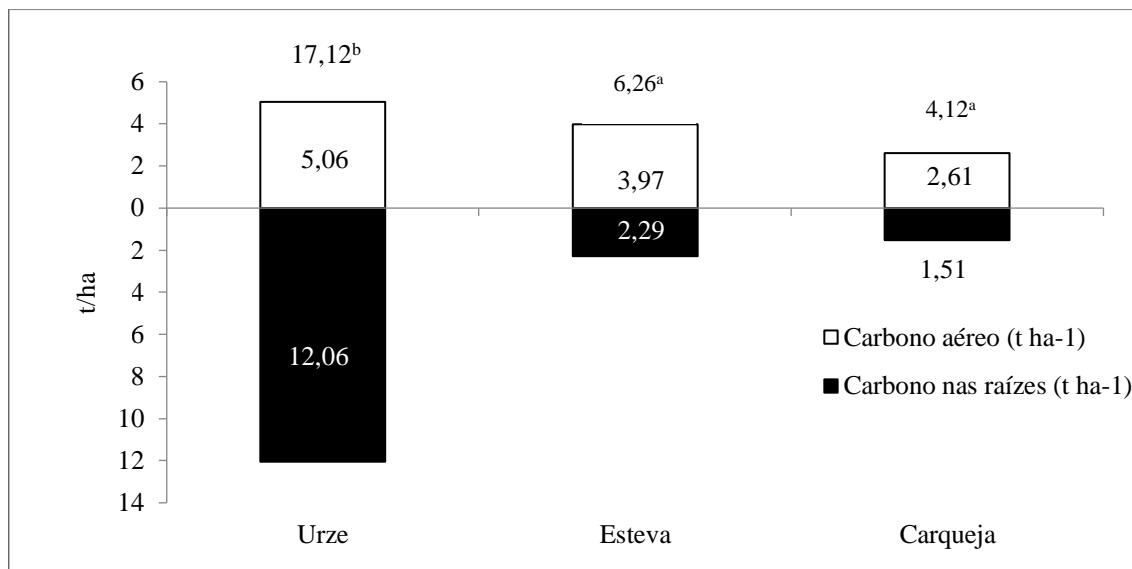


Figura 20 – Carbono armazenado na biomassa aérea e radicular (t ha⁻¹) antes da aplicação do fogo controlado. Para o carbono total, letras diferentes indicam diferenças significativas em relação ao armazenamento de carbono entre espécies ($p \leq 0,05$).

As quantidades de carbono obtidas para cada uma das espécies revelam que a urze armazena quantidades de carbono significativamente superiores às das restantes espécies, com um total de 17,12 t ha⁻¹ (Figura 20). Comparando-a com as demais espécies apresentadas, a urze armazena 5,06 t ha⁻¹ de carbono na parte aérea e 12,06 t ha⁻¹ nas raízes, enquanto a esteva armazena 3,9 e 2,3 t ha⁻¹ e a carqueja 2,61 e 1,51 t ha⁻¹, respectivamente.

Viana et al. (2009) mensurou o armazenamento de carbono aéreo e radicular em áreas de matos em Portugal, ardidadas em diferentes períodos. As espécies analisadas foram as com maior representatividade lenhosa, sendo giestas (*Cytisus sp.*), tojo (*Ulex sp.*) e urze (*Erica sp.*). O estudo mostra resultados semelhantes aos aqui apresentados, sendo que a urze armazena maiores quantidades de carbono na parte aérea e radicular em relações às demais espécies. Bompastor et al. (2009) também realizou estudos sobre o armazenamento de carbono na biomassa aérea das espécies de matos no PNM e concluiu que a sequência de estocagem de carbono é urze, esteva e por último giesta. O mesmo autor afirma que os raminhos do ano dão um contributo importante no caso da urze e da giesta, enquanto na esteva são os componentes caule e folhas que mais contribuem para o armazenamento daquele elemento.

As diferenças observadas na Figura 20, referem-se essencialmente a diferenças de biomassa (Figura 19), relacionadas com a morfologia de cada espécie.

5.2.2 Após o fogo controlado

Após o fogo controlado, apenas foram consideradas variações na biomassa aérea e conseqüentemente no armazenamento de carbono, pois assumiu-se que a biomassa das raízes se manteve inalterada ao longo do período analisado, uma vez que o fogo controlado foi de baixa severidade.

Dois meses após o fogo controlado (DMAF) a biomassa aérea registou um acréscimo de 9,59% para a urze, 3,05% para a esteva e 12,95% para a carqueja, comparativamente à situação imediatamente após o fogo. Tais acréscimos resultam também em maiores estoques de carbono, bem como no processo de recuperação da área. A Figura 21 apresenta a quantidade de carbono armazenado na vegetação dois meses após o fogo, e como seria de esperar a esteva foi a espécie menos afetada (menor quantidade de biomassa aérea consumida pelo fogo).

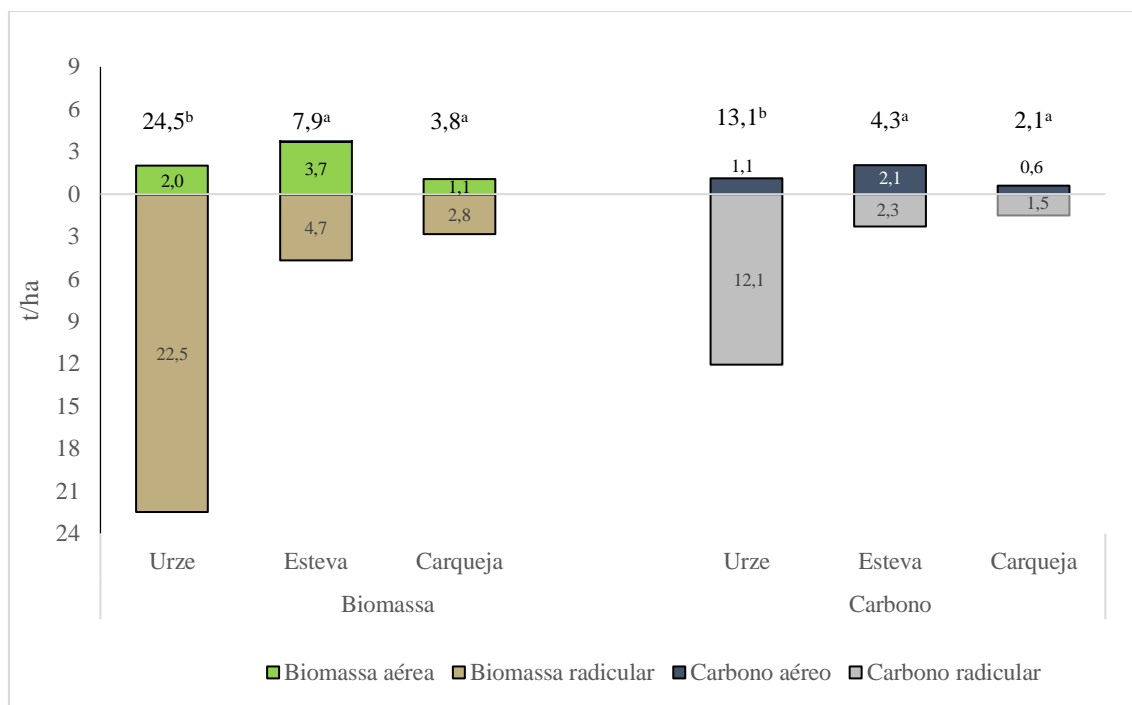


Figura 21 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e das raízes dois meses após o fogo controlado (DMAF). Para cada variável (biomassa e carbono), letras diferentes indicam diferenças significativas entre espécies ($p \leq 0,05$).

Seis meses após o fogo controlado (SMAF), o armazenamento de carbono na biomassa aérea mostra pequenos acréscimos em relação aos valores registados DMAF, para as três espécies analisadas (Figura 22).

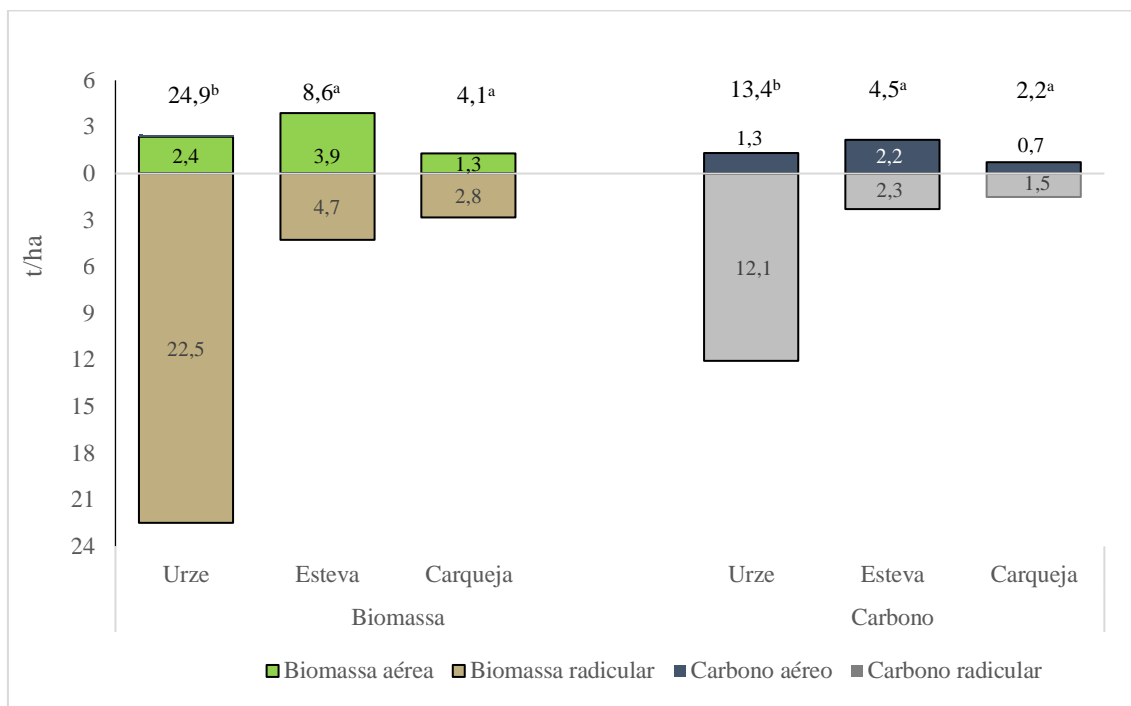


Figura 22 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e radicular seis meses após o fogo controlado (SMAF). Para cada variável (biomassa e carbono), letras diferentes indicam diferenças significativas entre espécies ($p \leq 0,05$).

De imediato após o fogo, a esteva armazena maior quantidade de carbono na biomassa aérea devido a suportar melhor as condições da queima, com $1,99 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono restante (Figura 18) e ao fim de 36 meses apresenta cerca de 3 t ha^{-1} , estocados na biomassa aérea (Figura 23).

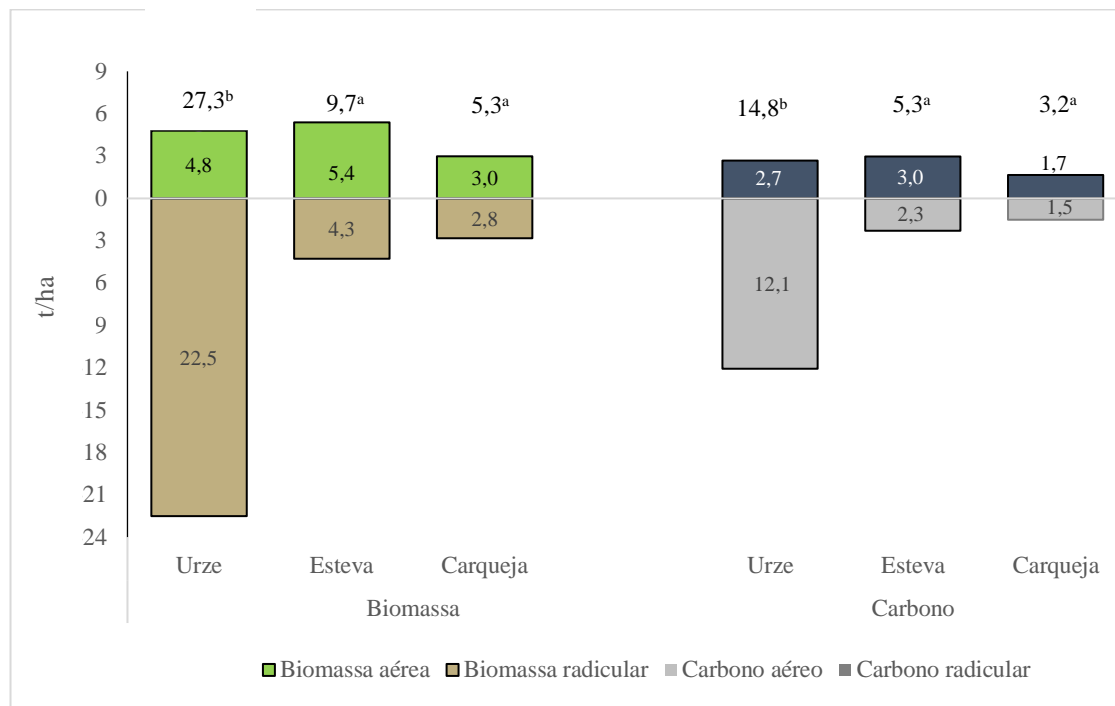


Figura 23 – Biomassa e carbono armazenado na biomassa aérea e radicular três anos após o fogo controlado (TAAF). Para cada variável (biomassa e carbono), letras diferentes indicam diferenças significativas entre espécies ($p \leq 0,05$).

Três anos após o fogo (TAAF) a vegetação ainda não retornou ao estágio inicial em termos de armazenamento de carbono na biomassa. Desse modo, é perceptível que as ações antrópicas causam impactos significativos no ecossistema e que, mesmo para a vegetação arbustiva, a recuperação é lenta em ambientes com condições climáticas desfavoráveis e solos jovens de baixa fertilidade. Neste contexto, o uso do fogo controlado na gestão de combustível para prevenção de incêndios florestais é de grande importância, visto que o fogo é realizado em intensidade e severidade inferiores a um incêndio, reduzindo as emissões de carbono e os impactos na vegetação e no solo. Porém, mesmo em condições controladas, os impactos nos reservatórios de carbono na biomassa são evidentes, não sendo possível a recuperação do estado anterior à aplicação do fogo em apenas três anos na área estudada (Figura 24 e Figura 25).

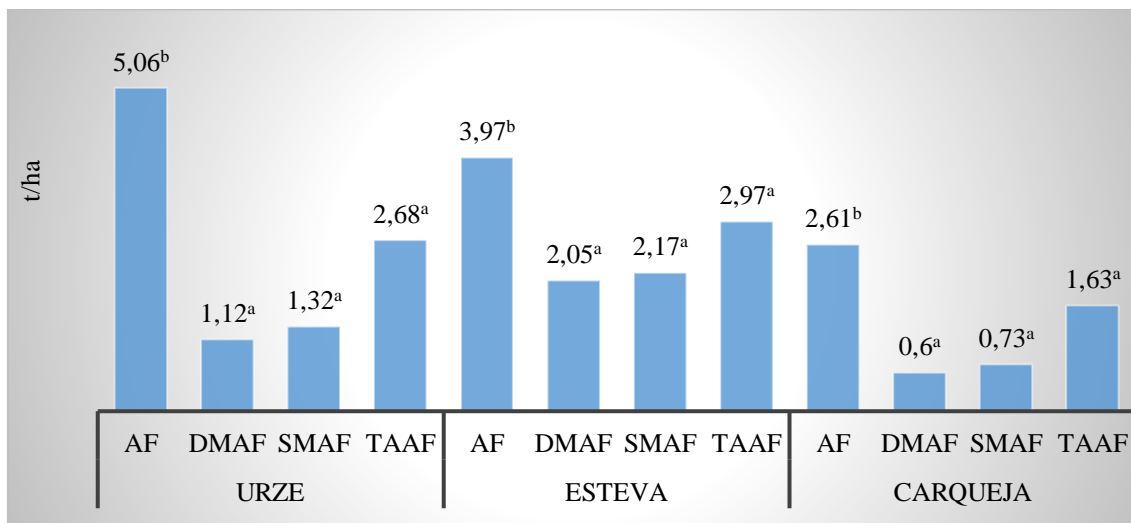


Figura 24 - Evolução do armazenamento do carbono ($t\ ha^{-1}$) na biomassa aérea das espécies arbustivas urze, esteva e carqueja. Para a mesma espécie, letras diferentes indicam diferenças significativas em relação ao armazenamento de carbono ($p \leq 0,05$).

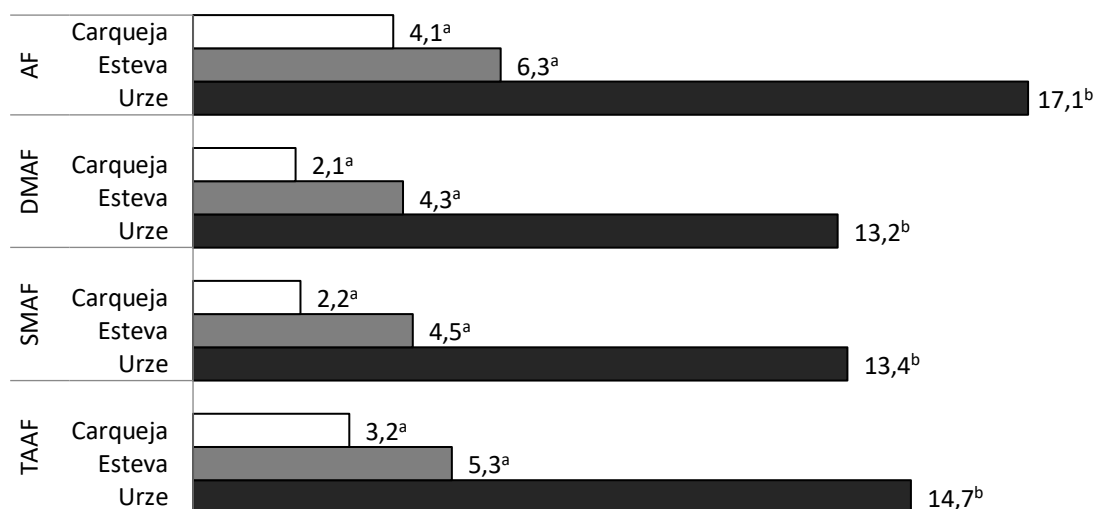


Figura 25 – Evolução do carbono na biomassa aérea e radicular por espécie arbustiva ($t\ ha^{-1}$). Para o mesmo período, letras diferentes indicam diferenças significativas em relação ao armazenamento de carbono ($p \leq 0,05$).

A quantidade de carbono armazenada na biomassa das espécies arbustivas (biomassa aérea e subterrânea) é superior em todas as situações para a urze (Figura 24 e Figura 25). Antes do fogo controlado, a urze apresentava cerca de 70% do carbono armazenado nas raízes, enquanto a esteva e a carqueja apresentavam 36%. Bompastor et

al. (2009) obteve resultados semelhantes de carbono radicular em matos do PNM, com 70% para urzais e não ultrapassando os 40% para estevas e giestas.

A grande quantidade de carbono armazenado nas raízes da urze faz com que esta espécie seja de grande relevância na proteção e recuperação da área, em razão da maior parte da biomassa sofrer menos danos por queimas controladas ou incêndios, possibilitando a regeneração da vegetação inicial a partir da brota. Além disso, as raízes também possuem a capacidade de armazenar o carbono no solo por um período de tempo superior à biomassa aérea, devido a serem degradadas de modo mais lento (Viana et al., 2009).

As espécies arbustivas estudadas apresentam sistemas radicais com características específicas do mediterrâneo e da região. As raízes da urze são mais superficiais e grossas, enquanto os sistemas radicais da esteva e da carqueja são mais profundos. Tais características morfológicas interferem na quantidade de carbono fixado a partir da atmosfera na biomassa vegetal e resultam em valores superiores de armazenamento de carbono para a urze em relação às outras espécies analisadas neste estudo.

5.3 Evolução do carbono armazenado no horizonte orgânico

O horizonte orgânico (horizonte O) é formado principalmente por restos vegetais que se depositam ao longo do tempo sobre a camada superficial do solo, podendo ter diferentes origens. Com isso, o horizonte O é claramente dependente das características da vegetação, que influenciará no tempo de formação, composição e espessura do mesmo. Em situações em que o horizonte O é muito jovem e com espessura pequena em razão da vegetação arbustiva depositar pouca biomassa, associado a baixa humidade, como ocorre na área em estudo (Figura 26 e Tabela 1). A passagem de um fogo pode consumir todo o material combustível presente, já que o mesmo é formado por restos vegetais e está localizado na camada superficial (Ferreira et al., 2005; Pereira, 2013).

Como esperado, a área de estudo não apresentou formação de horizonte orgânico dois (DMAF) e seis meses (SMAF) após o fogo. Isso se justifica pelo fato de não ter ocorrido ciclos da vegetação suficientes para deposição de material orgânico e,

consequentemente, haver a formação de um horizonte O. Três anos após o fogo (TAAF), foi verificada a formação de um horizonte O, porém ainda pouco espesso, com $1,38 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono armazenado, aproximando-se da metade existente na situação de referência (Figura 26).

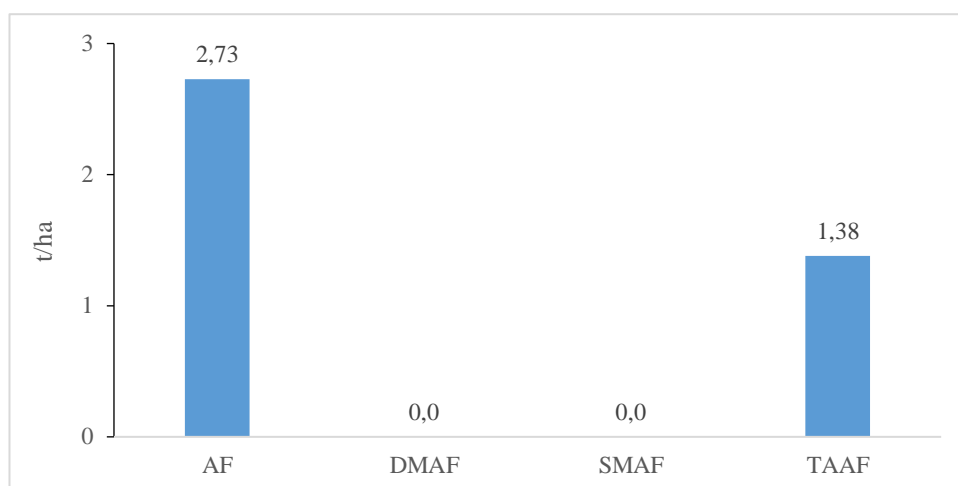


Figura 26 - Evolução do carbono armazenado no horizonte O.

Tabela 1 - Espessura e carbono armazenado no horizonte O dos 11 locais de amostragem.

Antes do Fogo		Três anos após o fogo		
Espessura HO (cm)	Carbono (t/ha)	Espessura do HO (cm)	Carbono (t/ha)	
1,23	1,95	0,51	1,06	
2,14	3,07	0,67	1,26	
1,68	2,50	0,48	1,03	
1,43	2,19	0,92	1,57	
1,94	2,82	0,95	1,60	
2,23	3,18	0,81	1,43	
1,95	2,83	0,68	1,27	
1,75	2,59	0,59	1,16	
2,30	3,26	0,78	1,40	
1,78	2,62	0,96	1,62	
2,10	3,02	1,10	1,79	
Médias	1,87	2,73	0,77	1,38

Os valores de carbono apresentados na Tabela 1 para a quantidade de carbono armazenado no horizonte O podem ser considerados baixos comparados a valores

encontrados por outros autores. Carvalho (2018) também realizou estudos sobre armazenamento de carbono em camadas orgânicas do solo de florestas da região Norte e obteve valores mínimos e máximos, respectivamente, 3,8 e 15,1 t ha⁻¹ para armazenamento de carbono nas camadas L, F e H. Bompastor et al. (2009) teve como resultado para o armazenamento de carbono no horizonte O de 2,83 t ha⁻¹ para esteva, 1,2 t ha⁻¹ para giesta e 0,65 t ha⁻¹ para urze.

No entanto, como já referido, os solos da área de estudo e a vegetação arbustiva existente possui características específicas, resultando em valores não comparáveis com estudos globais ou regionais apresentados anteriormente. Isso fica evidente através do estudo de Bompastor et al. (2009) realizado no PNM sobre matos.

5.4 Armazenamento de carbono no solo

Quanto à quantidade de carbono armazenado no solo, analisando as três profundidades amostradas, verifica-se que existe uma redução do teor de carbono da camada 0-5 cm para a camada 5-10 cm, voltando a aumentar na camada 10-20 cm (Figura 28). Resultados semelhantes aos obtidos para este perfil, foram encontrados por Bompastor et al. (2009), num trabalho desenvolvido no PNM e Parrales et al. (2008). Patrício (2018) mapeou a quantidade de carbono na bacia hidrográfica do rio Sabor, Norte de Portugal (parte da área da bacia está inserida no Parque Natural de Montesinho) e também encontrou padrões de variação semelhantes em relação à quantidade de carbono nas diferentes profundidades do solo. O mesmo autor ainda refere que esta variação pode estar relacionada com processos de translocação de matéria orgânica no solo e que a camada superficial 0-10 cm armazena maiores quantidades de carbono comparado às camadas mais profundas (10-30 cm). Desse modo, tais variações na quantidade de carbono em função da profundidade, encontradas por diferentes estudos, permite-nos afirmar que estas não resultam da aplicação do fogo, podendo estar associadas às características dos solos e do clima da região ou mesmo com o referido por Patrício (2018).

Dois meses após o fogo (DMAF), em todas as profundidades verificou-se um ligeiro aumento de carbono no solo, porém não significativo do ponto de vista estatístico. Este aumento pode ser em razão da deposição de cinzas e da decomposição do material orgânico que não sofreu combustão completa, como restos de galhos e

caules (Ojima et al., 1994; Pereira, 2013). Já seis meses após o fogo (SMAF), a quantidade de carbono sofre uma redução, também pouco perceptível, em todas as profundidades, voltando a aumentar novamente três anos após o fogo (TAAF). Globalmente, registam-se variações não significativas no teor de carbono do solo ao longo do tempo, resultando num balanço positivo ao fim de três anos (Figura 27). Uma vez que a matéria orgânica do solo é a componente chave para manter a sustentabilidade dos ecossistemas, esta tendência de aumento do carbono (cerca de 58% da matéria orgânica é carbono), pode dar indicação que o solo teve a capacidade de manter as suas funções ambientais e produtivas no período de tempo considerado (Fonseca et al., 2019). Pereira (2013) realizou estudos sobre a variação temporal da concentração de carbono no solo de áreas perturbadas com fogos e concluiu que a concentração de carbono no solo é sempre maior no primeiro mês após o incêndio e a maior variação ocorre nos primeiros seis meses.

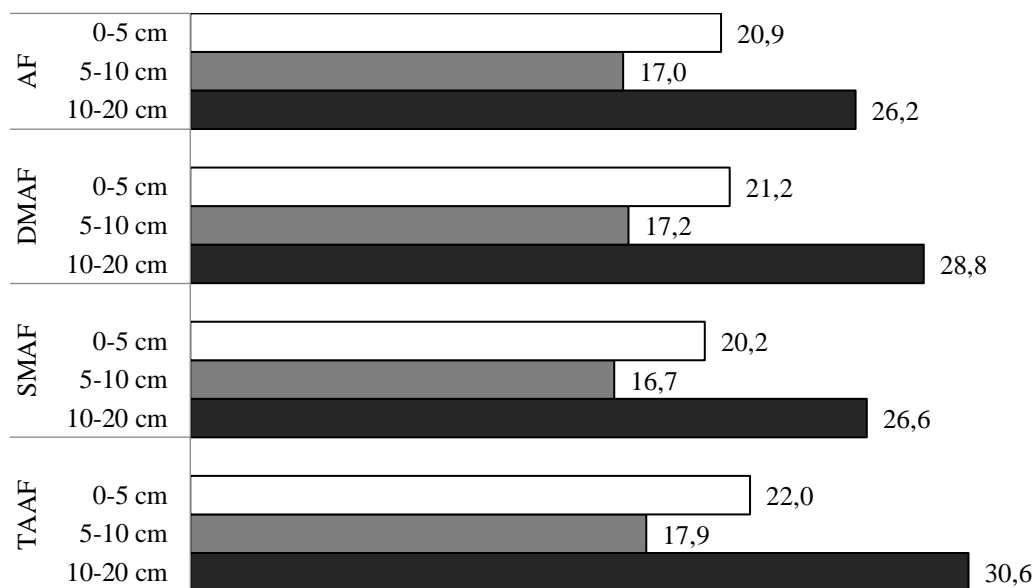


Figura 27 - Carbono armazenado no solo (t ha⁻¹) antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Ao analisar separadamente a profundidade 10-20 cm (Figura 28), é visível um aumento na quantidade de carbono, superior às demais profundidades, com uma diferença de 4,44 t ha⁻¹ em relação à situação original (AF). Este aumento pode estar

relacionado com a translocação de material de natureza orgânica no solo, observado em determinadas condições de solo e clima (Patrício, 2018).

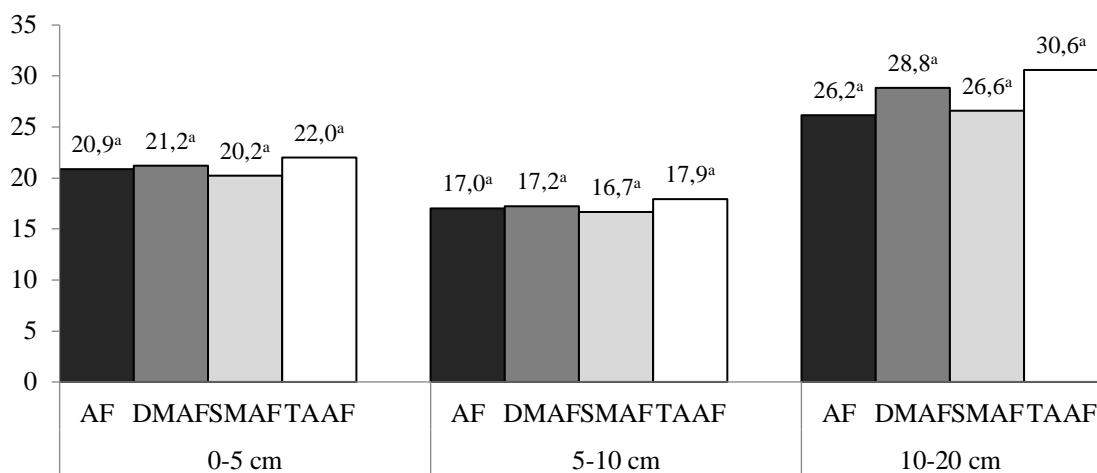


Figura 28 - Carbono armazenado no solo ($t\ ha^{-1}$) por profundidade (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 cm) antes do fogo (AF), dois meses (DMAF); seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo. Para a mesma profundidade, letras diferentes indicam diferenças significativas em relação ao armazenamento de carbono ($p \leq 0,05$).

5.5 Dinâmica do carbono no sistema

Apesar das perdas de carbono verificadas na biomassa da vegetação arbustiva e no horizonte orgânico (Figura 29), ao fim de três anos, os aumentos registados no solo foram suficientes para compensar aquelas perdas (Figura 29), mostrando o sistema um valor total de carbono armazenado ligeiramente superior ao registado na situação original ($94,3\ t\ ha^{-1}$ AF e $95,1\ TAAF$) (Figura 30).

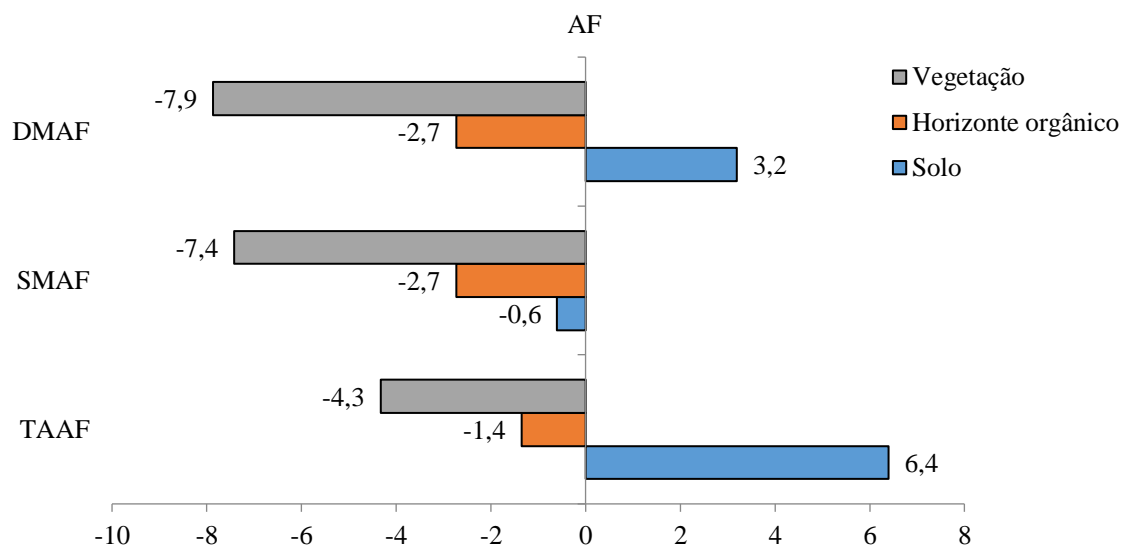


Figura 29 - Ganhos (valores positivos) e perdas (valores negativos) de carbono dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo relativamente à situação original (AF).

A quantidade total de carbono armazenada no sistema (biomassa aérea e radicular + horizonte O + solo) foi obtida a partir da soma do carbono armazenado naqueles compartimentos. Também foi determinada a percentagem de carbono que cada compartimento representa no sistema. A Figura 30 mostra o total de carbono armazenado ($t\ ha^{-1}$) nos diferentes compartimentos do sistema e também a percentagem de cada um em relação a esse total para cada data de amostragem (AF, DMAF, SMAF e TAAF).

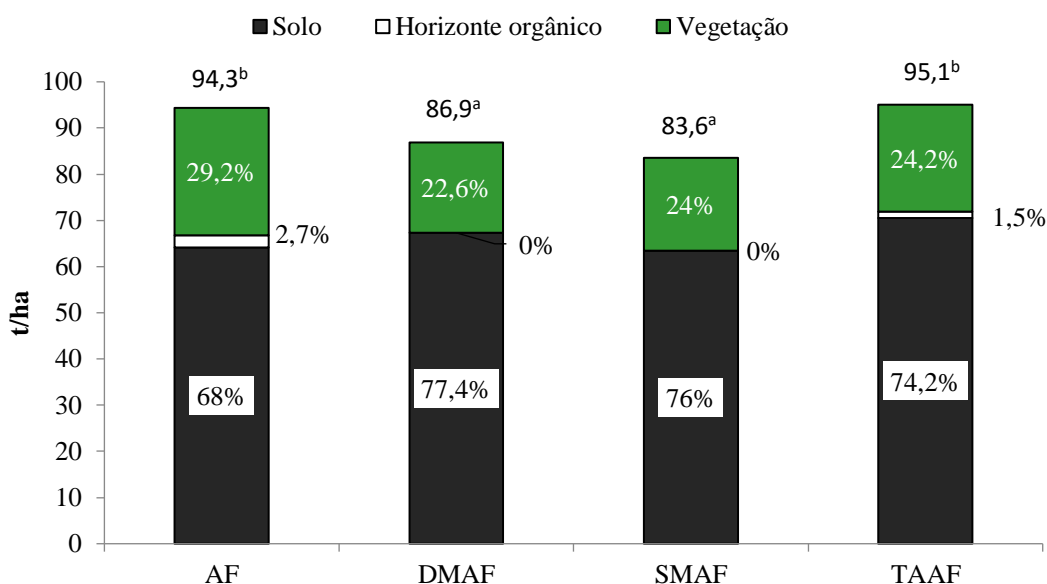


Figura 30 – Quantidade de carbono armazenada nos compartimentos (solo, horizonte O e vegetação) e percentagem de cada um no sistema. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as datas de amostragem (antes do fogo, AF; dois meses, DMAF; seis meses, SMAF e três anos, TAAF após o fogo).

Além disso, as maiores quantidades de carbono estão armazenadas no compartimento solo, representando mais de 68% do total de carbono armazenado no sistema, o que é frequentemente observado em sistemas das zonas temperadas (Fonseca et al., 2019). Fonseca (2005), Bompastor et al. (2009) e Carvalho (2018) também concluíram que os solos armazenam maior percentagem de carbono. A vegetação representa 22% (DMAF) a 30% (AF) do carbono armazenado, mostrando uma evolução progressiva ao longo do período de amostragem (DMAF, SMAF e TAAF). A contribuição do horizonte O é muito pouco expressiva, representando menos de 3% do total de carbono armazenado. Contudo, o horizonte orgânico é um componente importante nas relações solo-vegetação, constituindo um recurso essencial para a ciclagem de nutrientes e uma parte fundamental do ciclo biogeoquímico do carbono (Zhang et al., 2016).

A Figura 31 traduz as variações globais do carbono no sistema ao longo do período de amostragem, mostrando perdas de 7,4 e 10,8 t ha⁻¹ de carbono DMAF e SMAF, respectivamente e ganhos de 0,7 t ha⁻¹ ao fim de três anos (TAAF). Estes aumentos de carbono no solo, embora não significativos, são extremamente importantes

para a conservação do recurso solo e das suas funções ambientais e produtivas (Fonseca et al., 2019).

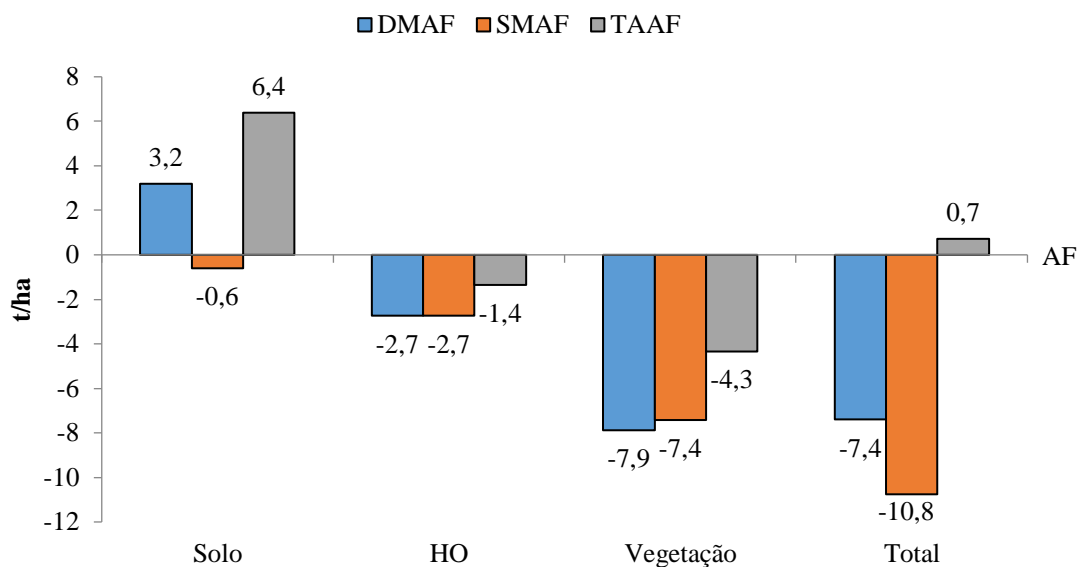


Figura 31 – Ganhos (valores positivos) e perdas (valores negativos) de carbono dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo, para todos os compartimentos, relativamente à situação original (AF).

A partir dos resultados demonstrados foi possível quantificar as taxas anuais de perda de carbono, utilizando os períodos mencionados. Ao fim de DMAF a taxa anual de perda de carbono total foi de $43,5 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto SMAF foi de $21,5 \text{ t ha}^{-1}$ e por último em TAAF com um ganho anual de $0,24 \text{ t ha}^{-1}$. Como já era esperado, a perda de carbono foi diminuindo ao longo do período em análise.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo pretendeu-se compreender a dinâmica temporal do armazenamento de carbono numa área de matos sujeita a fogo controlado, mais especificamente nos compartimentos vegetação aérea e radicular, horizonte orgânico e solo. É de grande relevância o conhecimento sobre este tema em razão da região em estudo sofrer fortemente com fogos, conseqüentemente, as emissões de carbono equivalente e GEE, despertam para outras problemáticas, como as alterações climáticas e eventos extremos.

Relativamente ao compartimento vegetação (biomassa aérea e radicular), a espécie urze além de ocupar grande parte da área do PNM, também é a que armazena mais carbono, seguida da esteva e finalmente a carqueja. Corroborando com outros estudos realizados na região Mediterrânea, o solo é o compartimento que possui as maiores quantidades de carbono no sistema. Já o carbono armazenado no horizonte O mostrou-se pouco expressivo quando comparado com os compartimentos solo e vegetação.

O carbono existente em todo o sistema antes do fogo, foi recuperado ao fim de três anos (TAAF), tendo sido o compartimento solo que contribuiu para esta recuperação, pois a vegetação arbustiva e o horizonte O não recuperam dos efeitos produzidos pelo fogo durante este período. No entanto, a fixação de carbono no solo também está dependente dos ciclos de vegetação. Assim, em ambientes que tais ciclos sejam mais rápidos, a recuperação do armazenamento de carbono também vai ser mais rápida, com formação de biomassa vegetal e horizontes orgânicos.

O fogo controlado, assim como outras ações antrópicas, também gera impactos no ambiente, porém muito menos relevantes que um incêndio florestal, que consome o material combustível de forma descontrolada. Na prevenção de incêndios, o fogo controlado é aplicado de forma estratégica e cuidadosa, queimando apenas as áreas necessárias e com baixos impactos ambientais. Porém, esta prática também é utilizada com outros objetivos, o que pode não considerar critérios para proteção do ecossistema. Portanto, para este estudo, a dinâmica do armazenamento de carbono após a aplicação de um fogo controlado foi recuperada em três anos considerando o sistema como um todo. Neste sentido, o fogo controlado pode ser utilizado no manejo das áreas de matos

como uma prática sustentável, já que as alterações na dinâmica do carbono e na matéria orgânica do solo são recuperadas num tempo considerado pequeno.

O tempo de recuperação do carbono na biomassa pode ser menor em melhores condições para desenvolvimento do bioma, como clima, solo, declive, entre outras. No entanto, é importante lembrar que o solo manteve as suas funções ambientais e produtivas ao incrementar o teor de matéria orgânica que é a chave da sustentabilidade dos ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS

- Agência Europeia do Ambiente (2015). O solo e as alterações climáticas. *Sinais – Viver num clima em mudança*.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2017). NOTA: Emissões de CO₂ decorrentes dos incêndios em Portugal.
- Alexandre, C. (2015). Funções, usos e degradação do solo. In: Figueiredo, T., Fonseca, F. & Nunes, L. (Eds.) Proteção do solo e combate à desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. *Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior Agrária*. Bragança. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/17231>.
- Azevedo, A. L.; Gonçalves, D. A.; Machado, R. M. A. (1995). Enclaves de clima no Alto Portugal. A difusa transição entre a Ibéria Húmida e a Ibéria Seca. Série de Estudos. *Instituto Politécnico de Bragança*, 39.
- Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 1-163.
- Batjes, N. H. (1992). Matéria orgânica e dióxido de carbono. In: Uma revisão dos fatores e processos do solo que controlam os fluxos de calor, umidade e gases de efeito estufa (eds NH Batjes & EM Bridges=), pp. 97-148. Documento técnico 23, *International Soil Reference and Information Centre*, Wageningen.
- Bompastor, A., Figueiredo, T., Fonseca, F. (2009). Matos do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal – produção de serviços ecossistémicos. *Proceedings 15º Congresso da APDR*, Cabo Verde, 339-364.
- Câmara Municipal de Bragança; Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano; & Metacortex, S. A. (2015). *Plano municipal de defesa da floresta contra incêndios de bragança, 2013 – 2017*.
- Castro, A. C. M.; Meixedo, J. P., Vivas, A. (2010). Avaliação do impacto do fogo controlado na vulnerabilidade dos solos florestais – uma contribuição. *Centro de Investigação Em Geo-Ambiente e Recursos*, CIGAR FEUP, Faculdade de Engenharia Da Universidade Do Porto, 26–28.
- Carvalho, A. L. de. (2018). Efeito da substituição de espécies florestais no armazenamento de carbono em áreas de montanha da Região Mediterrânea. Dissertação de mestrado, *Instituto Politécnico de Bragança*.
- Cavalli, A.; Neta, M. C.; Figueiredo, T.; Fonseca, F.; Hernández, Z. (2017). Solos e Risco de Erosão nas áreas ardidas no último quarto de século no Distrito de Bragança, NE de Portugal: abordagem cartográfica. In *Livro de Atas do III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia* (CIEEMAT 2017). Bragança; Instituto Politécnico. p. 315-320. ISBN 978-972-745-230-9. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/15814>.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- Cerqueira, D. B. de, & Franca-Rocha, W. (2007). Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - Ba.

- Programa de Mestrado Em Modelagem Em Ciências Da Terra e Do Ambiente - Universidade Estadual de Feirs de Santana. *Anais Do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Brasil, INPE., XIII, 2413–2419.
- Comissão de Defesa da Floresta de Mirandela. (2016). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI). *Município de Mirandela*, caderno I.
- Costa, Y. T., & Rodrigues, S. C. (2015). Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de Cerrado, *30*, 149–165.
- Costa, K. M. (2015b). O estoque de carbono na vegetação e no solo de fragmentos florestais em paisagens tropicais Vegetation. *Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências*.
- Climate-data.org (2019). Médias mensais de temperatura e precipitação de Bragança.
- Delgado, A. (2009). Efeito do fogo controlado nas populações de aves. *In Centro de Ecologia Aplicada*, Naturlink.
- Elisa, M., & Helene, M. (1990). Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. *Estudos Avançados*, Vol 4 (9) Pp: 204-220.
- Fernandes, R. C. L. (2009). Recurso a resíduos orgânicos e sua influência na matéria orgânica do solo. *Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa*, 1.
- Fernandes, A. C', Ribeiro, R., Rodrigues, S., & Fernandes, A. C. (2018). Relatório do Estado do Ambiente Portugal. *Agência Portuguesa Do Ambiente*.
- Fernandes, A. C., Guerra, M. D., Ribeiro, R., & Rodrigues, S. (2017). Relatório do Estado do Ambiente 2017. *Agência Portuguesa Do Ambiente*.
- Fernandes, P., Loureiro, C., Botelho, H. (2002). Manual de formação para a técnica do fogo controlado. *Departamento Florestal Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro Vila Real*.
- Figueiredo, J. P. (2017). Prevenção fogos florestais. *Associação Nacional dos Alistados das Formações Sanitárias*, Vol. 1.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. & Queirós, A. (2012). Degradação física do solo em áreas queimadas de matos no nordeste transmontano. *Livro de Atas do Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento 2012*.
- Figueiredo, T.; Fonseca, F.; Queirós, A. (2013). Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: resultados de um ano de ensaio no Parque Natural de Montesinho. In António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds.) *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos*. Braga: *Universidade do Minho*. p. 267-277. ISBN 978-989-97214-2-5
- Filipa, A., & Tina, M. (2013). Impacto da gestão no carbono armazenado na biomassa de *Pinus pinaster* nas províncias de Cuenca (Espanha). Dissertação de mestrado, *Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária de Bragança*.
- Fonseca, F. (2005). Técnicas de preparação do terreno em sistemas florestais: implicações no solo e no comportamento das plantas. Dissertação de doutorado, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real*.

- Fonseca, F., de Figueiredo, T., & Bompastor Ramos, M. A. (2012). Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agroforestry Systems*, 86(3), 463–475. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9509-5>
- Fonseca, F., Figueiredo, T., Nogueira, C., Queirós, A. (2017). Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain area. *Geoderma* 307, 172-180.
- Fonseca, F., & Figueiredo, T. (2018). Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under four forest species in the Mediterranean region. *Spanish Journal of Soil Science* 8 (1), 42-56.
- Fonseca, F., Figueiredo, F., Vilela, A., Santos, R., Carvalho, A.L., Eliane, A., Nunes, L. (2019). Impact of tree species replacement on carbon stocks in a Mediterranean mountain area, NE Portugal. *Forest Ecology and Management* 439, 181-188.
- Fowler, C. T. (2003). Human Health Impacts of Forest Fires in the Southern United States: A Literature Review. *Journal of Ecological Anthropology*, 7, 39-63.
- Gonçalves, I., Figueiredo, T., & Fonseca, F. (2013). Evolução Temporal do Carbono Armazenado em Povoamentos Florestais Jovens: Efeito da Intensidade de Preparação do Terreno. *Silva Lusitana*, N° Especial: 111 - 125 © UEISSAFSV, INIAV, Oeiras, Portugal.
- Guimarães, P. P., Souza, S. M. de, Fiedler, N. C., Silva, A. G. (2014). Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 1, n. 01, 38–60.
- Gupta, A. S.; Neil, B. M. (2012). Variabilidade e Mudança no Oceano. *O futuro do clima do mundo* (segunda edição), 2012.
- Hungerford, R.D. (1996). Soils. Fire in Ecosystem Management Notes: Unit II-I. USDA Forest Service, *National Advanced Resource Technology Center*, Marana, Arizona.
- IPB/ICN (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho – Caracterização. Bragança.
- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2013). IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. Lisboa.
- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2017). Relatório de Incêndios Florestais. *Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal*.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2019). Normais climatológicas de 1971 -2000.
- LeeHannah, L. (2015). Sumidouros e Fontes de Carbono. *Biologia das Alterações Climáticas* (Segunda Edição), p 403-422.
- Lourenço, L. (1994). Risco de Incêndio. *Encontro Pedagógico Sobre Fogos Florestais*, ASEPIF., 56–61.

- Lourenço, L., (1994b). Risco de incêndio florestal em Portugal Continental. *Informação Florestal*, 4. Lisboa: 22-32.
- Lourenço, L., Fernandes, S., Bento-Gonçalves, A., Castro, A., Nunes, A., Vieira, A. (2011). Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010). *Cadernos de Geografia*, Universidade de Coimbra, 30/31, 61–80.
- Machado, P. (2005). Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28, 239-334.
- Macedo, F. W. & Sardinha, A. M. (1993). Fogos Florestais. 1º volume, 2ª edição *Publicações Ciência e Vida*, Lisboa.
- Martins, V. M. da Silva. (2007). Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar. *Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento*.
- Mirandela, C. M. de. (2018). Estudo de Impacte Ambiental da Expansão da Zona Industrial de Mirandela. *Instituto Do Ambiente e Desenvolvimento, Volume II – Relatório de Síntese*.
- Meneses, B. M. (2013). Influência de um fogo florestal na qualidade da água da Ribeira de São Domingos localizada na Região Oeste de Portugal. 103p., Dissertação de Mestrado, *Universidade de Lisboa (ISA)*, Lisboa, Portugal.
- Merino, A., 2008 - The role of forests in mitigating climate change. *SPinSmEDE - Soil Protection in Sloping Mediterranean Agri-environments*, Bragança.
- Moorman, T. B., Cambardella, C. A., James, D. E., Karlen, D. L. & Kramer, L. A., (2004) - Quantification of tillage and landscape effects on soil carbon in small Iowa watersheds. *Soil & Till, Res.*, 78.
- Morais, V. A. (2012). Modelagem e espacialização do estoque de carbono de Cerrado Sensu Stricto em Minas Gerais – Lavras, MG, *UFLA*.
- Moreira, F., Catry, F. X., Silva, J. S., & Rego, F. (2010). Ecologia do Fogo e Gestão de áreas ardidadas. *Repository.Utl.Pt*.
- Naturaleza., D. G. (s.d.). Regiones españolas de las especies forestales., pp. 51-53. In D. d. CIFOR-INA.
- Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., (2005). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.
- Nepstad, D. C.; Moreira, A.; Veríssimo, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. (1998). Forest fires prediction and prevention in the brazilian amazon. *Conservation Biology*, v. 12, n. 5, p. 951-953.
- Nogueira, C.; Fonseca, F.; Figueiredo, T. (2015). Efeito do fogo controlado nas propriedades químicas do solo em áreas de montanha sob coberto de matos. In Martins, Anabela (Coord.) *II Encontro de Investigadores do Instituto Politécnico de Bragança: livro de resumos*. Bragança: Instituto Politécnico. ISBN 978-972-745-179-1. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/17094>.

- Nogueira, C.; Fonseca, F.; Figueiredo, T. (2001). Propriedades químicas do solo em áreas de montanha cobertas por matos: efeito do fogo controlado. *In Livro de Atas do VI Congresso Ibérico da Ciência do Solo*. p. 449-452. ISBN 978-84-8408-769-4.
- Noronha, F.; Aires, S., Carvalho, C., & Ramos, J. M. (2011). Os xistos como recurso : o caso de Trás-os-Montes e Alto Douro. *Centro de Geologia Da Universidade Do Porto*, Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Parrales, I. A.; Carrilo, M.; Belinfante, N. (2008) Influencia del grupo de suelo y el uso sobre la reserva de carbono orgánico en clima Mediterráneo. *Livro de resumos do III Congresso Ibérico da Ciência do Solo*, 106, Évora, Portugal.
- Patrício, M. B. (2018). Mapeamento do carbono armazenado nos solos da bacia hidrográfica do rio Sabor , NE Portugal. Dissertação de mestrado, *Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária*.
- Percival, H. J.; Parfitt, R. L.; Scott, N. A. (2000). Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: is clay content important? *Soil Sci Soc Am J* 64:1623–1630.
- Pereira, R. M. F. D. O., & Giglio, D. (2016). Uso do fogo controlado em vegetação e combate aos incêndios florestais: panorama do código florestal de 2012. *XXV Congresso do CONPEDI - Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação Em Direito*, Ed. 25, (978-85-5505-299-6).
- Pereira, A. I. H. (2013). Impacto do fogo no carbono orgânico em solos do Centro de Portugal. *Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento*.
- Pereira, E. (n.d.). Singularidade Geológica do Maciço de Morais. *Laboratório Nacional de Energia e Geologia*.
- Petrokofsky, G., Kanamaru, H., Achard, F., Goetz, S. J., Joosten, H., Holmgren, P., Wattenbach, M. (2012). Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 1(1), 1.
- Pissarra, J. B. (1981). O papel da litologia na cartografia dos solos de Portugal. *Boletim Da Sociedade Geológica de Portugal*, Vol. XXII.
- PORDATA, (2019). Base de Dados Portugal Contemporâneo. *Fundação Francisco Manuel dos Santos*.
- Porta, Vergnoux, A., DI Rocco, R., Domeizel, M., Guiliano, M., Doumenq, P. & Théraulaz, F. (2011). Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV–vis and fluorescence spectroscopy approaches. *Geoderma*, 160, 434-443.
- Porta, J.; Acevedo, M. L.; Roqueiro, C. (2003). Edafología para la agricultura y el médio ambiente. *Mundi-Imprensa*, ed. 3.
- Pulselli, F. M.; Marchi, M. (2015). Potencial de Aquecimento Global e Balanço Líquido de Carbono. *Módulo de Referência em Sistemas Terrestres e Ciências Ambientais*.

- Ojima, D., Schimel, D. S., Parton, W. J., Owensby, C. E. (1994). Efeitos a curto e longo prazo do fogo no ciclo de nitrogênio em pradarias de capim-alto. *Biogeochem* 24: 67–84.
- Rambal, S., (2001). Hierarchy and productivity of mediterranean-type ecosystems. In *Terrestrial Global Productivity*, Academic Press, pp. 315-344.
- Ramos, P. C. M. (1995). Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais. *Anais Do I Forum Nacional Sobre Incêndios Florestais, Vol. I*, 29–38.
- Rebello, F. (1991). Considerações gerais sobre relevo granítico em Portugal. *Cadernos de Geografia - Universidade de Coimbra*, Vol. 10.
- Rego, F. (1986). Effects of prescribed fire on vegetation and soil properties in Pinus pinaster forests of Northern Portugal. Tese de Doutorado, *Universidade de Idaho*.
- Rosa, R. da S., Ambrozini, R. A., & Beatriz, M. (2003). Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. *Instituto de Química de São Carlos*, Universidade de São Paulo, 381–388. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.878.48>
- Rosa, I. M. D., Pereira, J. M. O. C., Silva, T. L. B. P. (2009). Estimativa das emissões de gases com efeito de estufa resultantes de fogos de vegetação em Portugal (1990 - 2008), incluindo análise de incerteza e sensibilidade. *Instituto Superior de Agronomia*, Universidade Técnica de Lisboa.
- Santos, D.; Bahia, V. G., Teixeira, W. G. (1992). Queimadas e erosão do solo. Informe Agropecuário, *Inf. Agropecuária*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 62-68.
- Silva, L. S. (2015). Levantamento de estoque de carbono de um fragmento florestal em Corumbataí do Sul - Pr. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, ed. 1.
- Silva, T. P., Pereira, J. M. C., Paúl, J. C. P., Santos, M. N. T., & Vasconcelos, M. P. J. (2006). Estimativa de Emissões Atmosféricas Originadas por Fogos Rurais em Portugal. *EFN, Lisboa. Portugal*, 14(2), 239–263.
- Soares, R. V.; Batista, A. C. Incêndios florestais – Controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, Paraná, 2007.
- Soares, R. V. (2000). Novas tendências no controle de incêndios florestais. *Revista Floresta*, Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Florestal Centro de Ciências Florestais e Da Madeira Setor de Ciências Agrárias., 30(1), 11–21. <https://doi.org/10.5380/rf.v30i12.2363>
- Soareas, R. V. (1995). Queimas Controladas: Prós e Contras. *Anais Do I Forum Nacional Sobre Incêndios Florestais*, I, 6–10.
- Schimel, D. S., (1995). Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. *Global Biology*, n 1, p. 77-91.
- Stolbovoy, V., Montanarella, L., Filippi, N., Jones, A., Gallego, J., e Grassi, G. (2007) Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in

- mineral soil of the European Union. Version 2. EUR 21576 EN/2, 56. *Office for Official Publications of the European Communities*, Luxembourg.
- Stevenson, F. J.; Cole, M. A. (1999). Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York, *John Wiley & Sons*, 427.
- Silva, V. M. da. (2007). Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar. *Universidade de Aveiro*, Departamento de Ambiente e Ordenamento.
- SNIF - Sistema Nacional de Informação. (2016). *Recursos Florestais. Serviço Florestal Brasileiro, Boletim SNIF 2016* (Vol. 1, ed. 2).
- Trumbore, S.; Camargo, P. B. (2009). Dinâmica do Carbono do Solo. *Amazonia and Global Change*, 451–462.
- Vasco, I., Pereira, R. (2011). Gestão de combustíveis para protecção de edificações — Manual. *Autoridade Florestal Nacional, 2.ª Edição*.
- Viana, H., Fernandes, P. M., Rocha, R., Lopes, D., & Aranha, J. (2009). Alometria, Dinâmicas da Biomassa e do Carbono Fixado em Algumas Espécies Arbustivas de Portugal. *6º Congresso Florestal Nacional*, 244–252.
- Xavier, M. E. R., & Kerr, A. A. F. S. (2007). O efeito estufa e as mudanças climáticas
- Zhang, M., Yang, H., Xie, B., Sun, P., Li, J., Zou, J., Wang, Y. (2016). Changes of C and N stocks in the subtropical Dianchi lake watershed in southwest China due to LUCC. *Eurasian Journal of Soil Science* 5 (1), 17-23.
- globais. *Instituto de Física Da Universidade de São Paulo – IFUSP*.
<https://doi.org/10.5007/2175-8077.2017>
- Waring, R. H., & Corrida, S. W. (2007). Cycle Carbon. *Ecosystemas Florestais*, Ed. 3.
- Whelan, R. J. (1995). The ecology of fire. *Cambridge University Press*, Cambridge.