

Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal no Parque Natural do Alvão

Wellington Borba Ferron

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

Orientado por

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)

Professora Doutora Fabiani das Dores Abati Miranda (UTFPR-DV)

**Bragança
2023**

Dedico este trabalho a minha mãe, Neuseli Borba e a meu pai, Claudino Jubelli (*In Memoriam*), os quais ensinaram todos os valores que carrego comigo.

Seus exemplos de ética, lealdade, caridade, honestidade e hombridade serão sempre lembrados por mim e passados adiante para quem quer que esteja disposto a aprendê-los.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que nunca mediram esforços para que eu pudesse hoje estar concluindo a graduação, de forma que sempre me deram o apoio e incentivo necessário para trilhar este caminho

Agradeço, também, ao Instituto Politécnico de Bragança e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, pela manutenção do programa de Dupla Diplomação entre as mesmas, sem esta relação entre as instituições este trabalho nunca teria sido possível.

A todos os professores com os quais pude aprender sobre os mais diversos temas durante os anos passados na graduação.

Em especial, às minhas orientadoras, Professora Doutora Felícia Fonseca e Professora Doutora Fabiani Miranda, sem as quais este trabalho, muito provavelmente, não teria existido. Sua atenção, inspiração, orientação e, principalmente, compreensão foram determinantes para a conclusão desta etapa da graduação.

A todas as pessoas que durante este período passaram por minha vida, contribuindo de forma direta e indireta para a construção de quem eu sou hoje em dia, sendo esta contribuição dada das mais diversas formas, desde exemplos, conselhos, conversas, paixões e até mesmo desavenças.

Aos amigos que passaram junto a mim tantos momentos, independente se foram momentos de alegria e entusiasmo ou momentos de luta, superação e tristeza, sem estas amizades tudo teria sido muito mais difícil.

Em especial aos meus amigos, grandes camaradas, Guilherme Dadalt, Luan Luchese e Vitor Mistro, os quais estiveram comigo desde o princípio desta jornada que foi o programa de Dupla Diplomação, vivendo juntos todas as emoções citadas anteriormente, porém de forma muito mais intensa. Vocês se tornaram minha família e nunca esquecerei os momentos juntos vividos.

“Ao brilhar de um relâmpago nascemos e ainda dura seu fulgor no momento em que morremos: tão breve é o viver!”

(Gustavo Adolfo Bécquer)

RESUMO

Os incêndios florestais estão se tornando um evento cada vez mais comum e intenso em várias localidades do globo. Por ser um evento aleatório a sua prevenção e combate é uma tarefa árdua, principalmente em países com elevada ocorrência de incêndios, como é o caso de Portugal. Algumas técnicas podem ser utilizadas para direcionar as práticas preventivas e de mitigação dos danos, entre as quais pode-se citar o Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal (MRIF), que constitui uma ferramenta bastante útil para orientação da prevenção e combate de incêndios florestais. O MRIF consiste numa metodologia de integração, através da álgebra de mapas, que relaciona uma fonte variável de ameaça, neste caso a presença humana, com variáveis de susceptibilidade natural, como cobertura vegetal, quantidade de material combustível presente na área, declive, orientação das encostas e características dos ventos incidentes no local. Com base nestas variáveis é possível elaborar mapas com identificação de áreas de maior risco de ocorrência de incêndios numa determinada região. Neste estudo foram analisadas as variáveis, anteriormente citadas, para a elaboração de um MRIF na área do Parque Natural do Alvão (PNAL) e seu entorno (área de influência do PNAL), distrito de Vila Real, com o intuito de caracterizar os fatores de risco presentes no local, bem como as áreas mais suscetíveis à ocorrência de incêndios, desta forma fornecendo aos gestores da área uma ferramenta que pode ser usada na prevenção e combate a incêndios. Apoiado em informações obtidas a partir de produtos de sensoriamento remoto da superfície terrestre, foi utilizado um modelo de ponderação para a classificação da área do PNAL em classes de risco nulo, baixo, moderado, alto e muito alto. O estudo demonstrou que, para o período analisado, cerca de 80% da área de interesse está classificada com risco moderado, alto e muito alto, sendo ainda que 7% da área total apresenta níveis extremos de risco de incêndio florestal.

Palavras-chave: Incêndio Florestal; Mapeamento de Risco de Incêndio; Geoprocessamento; Parque Natural do Alvão.

ABSTRACT

Forest fires are becoming an increasingly common and intense event in various locations around the globe. As it is a random event and its prevention and combat are an arduous task, especially in countries with high levels of fire incidence, such as Portugal. Some techniques can be used to guide the preventive and mitigative practices of the damage, among such practices we can mention the Forest Fire Risk Mapping as a very useful tool to guide teams that work directly with forest fires. The Forest Fire Risk Mapping consists of an integration methodology, through map algebra, which concatenates risk variables, in this case human presence, with natural susceptibility variables, such as vegetation cover, amount of combustible material present in the area, slope and slope orientation such as characteristics of the incident winds on the site, to enable the elaboration of risk maps, where the regions of a certain area that are more susceptible to the occurrence of some type of fire are indicated. In this study, the variables mentioned above were analyzed for the development of a Forest Fire Risk Mapping at the Alvão Natural Park and its surroundings, in the district of Vila Real, in order to identify the risk factors, present at the site, as well as the region's most susceptible to the occurrence of fires, thus providing area managers with a tool that can be used to prevent and fight future fires. Based on information obtained from Earth's surface products of remote sensing, a weighting model was used to classify park areas into zero, low, moderate, high and very high-risk classes. The study demonstrated that, for the analyzed period, around 80% of the area of interest is at moderate, high and very high risk, with 7% of the total area presenting extreme levels of forest fire risk.

Keywords: Forest Wildfire; Fire Risk Mapping; Geoprocessing; Alvão Natural Park.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. A importância das florestas e dos ambientes naturais	13
3.2. Incêndios Florestais	14
3.3. Histórico do fogo em Portugal	16
3.4. Fatores de risco de incêndio	19
3.5. Iniciativas e esforços para a conservação das florestas	20
3.6. Parque Natural do Alvão	22
3.7. Gestão territorial e Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios	23
3.8. Definição de zonas de risco	25
3.9. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal	27
3.10. Sistemas de Informação Geográfica	28
3.11. Sensoriamento Remoto	28
3.12. Álgebra de Mapas	29
4. METODOLOGIA	31
4.1. Caracterização da área de estudo	31
4.2. Área de influência do Parque Natural do Alvão	32
4.3. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal	33
4.3.1. <i>Presença humana</i>	34
4.3.2. <i>Cobertura vegetal</i>	36
4.3.3. <i>Material Combustível</i>	38
4.3.4. <i>Relevo</i>	39
4.3.5. <i>Ventos predominantes</i>	41
4.3.6. <i>Álgebra de mapas</i>	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. Uso e ocupação do solo	43
5.2. Presença Humana	45
5.3. Cobertura Vegetal	47
5.4. Material combustível	50
5.5. Declive	Erro! Marcador não definido.
5.6. Orientação das encostas	55
5.7. Ventos predominantes	57
5.8. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal	62
6. CONCLUSÕES	66
7. REFERÊNCIAS	68

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Distribuição de áreas ardidadas na Península Ibérica no período de 2000 a 2022.</i>	19
<i>Figura 2 - Modelo recomendado para definição de risco de incêndio.</i>	26
<i>Figura 3 - Localização da área de estudo.</i>	31
<i>Figura 4 - Delimitação da área do Parque Natural do Alvão (PNAL) e da área de influência marcada a partir dos limites do PNAL</i>	33
<i>Figura 5 - Fluxograma dos dados de entrada e saída do Sistema de Informações.</i>	34
<i>Figura 6 - Espetro eletromagnético com desaque para a região do visível ao infravermelho.</i>	36
<i>Figura 7 - Mapa obtido através da composição das bandas na faixa do infravermelho próximo para imagem do dia 19/05/2023 do satélite Sentinel-2A.</i>	37
<i>Figura 8 - Ocupação do solo obtida através de classificação supervisionada.</i>	43
<i>Figura 9 - Distribuição do uso e ocupação do solo na área do PNAL.</i>	44
<i>Figura 10 - Distribuição do uso e ocupação do solo na área de influência do PNAL</i>	45
<i>Figura 11 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido à presença humana na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	46
<i>Figura 12 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido à cobertura vegetal na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	49
<i>Figura 13 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido ao material combustível na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	52
<i>Figura 14 - Distribuição espacial do declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL</i>	53
<i>Figura 15 - Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido à declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	54
<i>Figura 16 - Distribuição espacial da orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	55
<i>Figura 17: Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido à orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	57
<i>Figura 18 - Frequência média mensal observada para a série de 2016 a 2022 de direção dos ventos.</i>	59
<i>Figura 19 - Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido aos ventos predominantes na área do PNAL e na área de influência do PNAL</i>	61
<i>Figura 20 - Comparação do resultado sem análise de vizinhança (A) e com análise de vizinhança (B).</i>	62
<i>Figura 21 - Mapeamento de risco de incêndio florestal na área do PNAL e na área de influência do PNAL</i>	64

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Raio de influência calculado a partir das atividades e presença humana.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 2 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a presença humana.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 3 – Coeficiente de inflamabilidade de formações vegetais encontradas em Portugal.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a cobertura vegetal.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 5 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a carga de material combustível.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 6 - Classificação do risco de acordo com o declive do terreno.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 7 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a orientação das encostas.</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 8 - Série de observações registradas para a direção dos ventos entre 2016 a 2022 na Estação Meteorológica de Lamas de Olo, Vila Real.</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 9 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a direção dos ventos.</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 10 - Classificação de risco de incêndio florestal de acordo com a presença humana na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 11 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o tipo de coberto vegetal.</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 12 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o material combustível presente na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 13 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 14 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 15 - Frequência mensal (%) observada para a série de 2016 a 2022 de direção dos ventos.</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 16 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com os ventos predominantes na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 17 - Classificação do risco de incêndio florestal na área do PNAL e na área de influência do PNAL.</i>	<i>63</i>

1. INTRODUÇÃO

Desde há milhares de anos que os seres humanos vêm aplicando técnicas de utilização do fogo, inicialmente utilizando-o para cozer alimentos, como fonte de calor e para espantar animais selvagens (Comerlato, 2011). Conforme se deu o progresso da espécie humana, foram surgindo novos usos para o fogo, podendo citar-se a produção de energia e a gestão da vegetação como técnica de prevenção de incêndios florestais.

Conforme exposto por Filha et al. (2023), a utilização do fogo foi, talvez, o fator de maior importância para que a espécie humana tomasse lugar de destaque entre todas as outras espécies com as quais coexiste. No entanto, a capacidade do ser humano negligenciar situações de risco parece ser ainda maior do que a engenhosidade que desencadeou milênios de evolução da sociedade, não sendo raros os casos em que acidentalmente, ou até mesmo intencionalmente, as atividades antrópicas acabam por incendiar milhares de hectares de florestas ao redor do mundo.

Mesmo que a presença do fogo seja natural, e em alguns casos até mesmo essencial para o bom funcionamento de alguns ecossistemas, como é o caso da região mediterrânea onde o fogo tem um papel fundamental na renovação da vegetação e induz a germinação das sementes de determinadas espécies (Santana et al., 2019). Contudo, os incêndios florestais causam prejuízos à biodiversidade, ao ciclo hidrológico e ao ciclo do carbono e acarretam perdas económicas significativas, custos e externalidades negativas para a sociedade (Costa et al, 2017).

Os efeitos das libertações em massa de carbono para a atmosfera resultam num agravamento do efeito estufa e das anomalias climáticas, que por sua vez, como que num ciclo vicioso, favorecem ainda mais a ocorrência de novos incêndios. Em 2021, pode observar-se a ocorrência de incêndios em locais que nunca havia sido registado tais eventos, como é o caso de algumas províncias da Rússia e do Canadá (Kottasová, 2021).

Silva et al. (2019), sugerem que os principais fatores que favorecem a ocorrência dos incêndios florestais identificados até ao momento são: as estradas, a exploração madeireira, presença de pastagens, desmatamento de florestas primárias e secundárias, a fragmentação e as secas extremas.

O combate aos incêndios florestais de grandes proporções constitui uma tarefa extremamente árdua e perigosa para os bombeiros que muitas vezes põem suas vidas em risco para salvar a biodiversidade e as infraestruturas presentes num determinado local. Portanto, as técnicas de

prevenção e planejamento tornam-se cada vez mais importantes para a proteção não só do ambiente, mas também de infraestruturas humanas e recursos económicos.

Para auxiliar nesta questão, o presente estudo utiliza a técnica de Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal (MRIF) aplicada à área do Parque Natural do Alvão. Esta ferramenta, quando usada de forma eficaz, é uma aliada poderosa para as equipas de planeamento pois, permite a identificação de áreas sensíveis, possibilitando que os responsáveis exerçam nestes locais atividades direcionadas de prevenção corroborando para melhoria no monitoramento de focos de calor. Assim, o MRIF consiste em uma análise detalhada das características de uma determinada região, como o tipo de vegetação, quantidade de material combustível presente e atividades antrópicas, por exemplo. Para tal, são utilizadas informações georreferenciadas, que com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem criar mapas com identificação das zonas que apresentam maior e menor suscetibilidade à ocorrência de incêndio (Batista, 2000).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar as características naturais e antrópicas existentes no Parque Natural do Alvão (PNAL), para posteriormente classificar e cruzar tais informações através de um modelo de ponderação que visa o mapeamento de risco de incêndio florestal no PNAL. O modelo de ponderação foi obtido para condições do Sul do Brasil (Estado de Santa Catarina) e para além de considerar a área de estudo (área do PNAL), inclui também a área envolvente (área de influência do PNAL), permitindo uma melhor gestão de medidas preventivas e maior proteção da área do PNAL contra incêndios. Trata-se de um modelo de maior simplificação comparativamente ao recomendado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

2.2. Objetivos específicos

- Recolher e organizar dados referentes às características do terreno, uso do solo e atividades antrópicas na área do PNAL e na área de influência do PNAL;
- Gerar elementos cartográficos individualizados para as características: presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declive, orientação das encostas e ventos predominantes;

- Cruzar os resultados da informação obtida a partir das variáveis citadas anteriormente através de um modelo de ponderação com o intuito de fazer o mapeamento de risco de incêndio florestal (MRIF);
- Analisar os resultados de forma a definir se a metodologia aplicada é eficaz para a área de estudo (área do PNAL e área de influência do PNAL) e em quais cenários pode servir de base para a ação de gestores florestais visando a prevenção e combate a incêndios florestais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A importância das florestas e dos ambientes naturais

Nunes et al. (2019), destaca que ao longo do caminho que o ser humano percorreu até consolidar a sociedade tal como a conhecemos atualmente, principalmente nos países desenvolvidos, o uso dos recursos provenientes do ambiente constituiu um fator determinante para o sucesso das comunidades. Conforme descrito por Barbier (2010), as florestas foram um dos ecossistemas que mais material forneceram para o progresso de tais comunidades, de forma que as tecnologias foram amplamente baseadas em madeira e carvão, que por sua vez, serviram tanto de matéria prima para construção de benfeitorias, quanto para utilização como combustível.

Tamanho é a importância da madeira para a civilização, que Leão (2000) refere “Que seria do mundo sem a madeira?”, e em seguida realiza uma reflexão sobre todo o suporte que tal material proporcionou para que a espécie humana pudesse perpetuar mesmo em épocas adversas, concluindo com a afirmação de que as florestas acompanharam a humanidade desde seus primórdios nas atividades de caça e coleta, passando pelo fim da vida nómada e estabelecimento da agricultura e urbanização, até a fase da industrialização moderna.

Nunes et al. (2019) aponta ainda que as florestas portuguesas sempre tiveram um papel essencial no desenvolvimento socioeconómico das áreas rurais, bem como em vários setores industriais baseados na floresta, como a cortiça, papel, painéis de madeira e como matéria prima para a produção de móveis e para o crescente mercado de pallets de biomassa.

A plataforma Florestas.pt destaca o setor florestal como um importante segmento para as contas nacionais, sendo que no ano de 2019 empresas ligadas às florestas tiveram um volume de negócios próximo de 10 mil milhões de euros, o equivalente a 5% do PIB português, sendo ainda responsável diretamente por cerca de 75 mil postos de trabalho. Leão (2000) afirma que “em todas as épocas as matas foram amplamente exploradas e destruídas em nome do progresso”.

Como resultado da recente mudança de valores e prioridades relacionadas com o ambiente, tem vindo a registar-se um aumento do reconhecimento da importância ambiental, conservacionista e de proteção desenvolvida pelas florestas, tais como a regulação climática, proteção de recursos hídricos, manutenção da fertilidade do solo, turismo e recreio de natureza e conservação da biodiversidade (Jusoff & Taha, 2008; Bento-Golçalves, 2011; Ashraf et al., 2015).

Atualmente, as florestas estabelecidas compensam cerca de 30% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), existindo ainda a possibilidade de aumentarem a absorção bruta terrestre de carbono em 55%, passando de 4 mil milhões de toneladas para 6,2 mil milhões de toneladas de carbono retido anualmente, podendo assim serem consideradas um significativo componente na mitigação das alterações climáticas (Birsey & Pan, 2015). Carvalho-Ribeiro et al. (2010) referem que pelo facto destes benefícios serem de natureza indireta, dificilmente são percebidos pelo público em geral. Mas justamente por conta de prover múltiplos benefícios económicos, ambientais, sociais e culturais, as florestas são essenciais para o bem-estar da população e para o desenvolvimento sustentável (Keenan et al., 2015).

De acordo com Costa et al. (2017), as florestas com um alto grau de resiliência podem garantir a competitividade de um importante setor para a economia portuguesa (setor florestal) e ainda todos os benefícios ambientais de uma floresta saudável. A crescente importância dada ao ambiente nos últimos anos, tem contribuído para que autoridades nacionais e europeias se tenham envolvido em redes de pesquisa, criação de legislação efetiva e regulamentação de áreas protegidas (Dudley, 2008). Por exemplo, a União Europeia recomenda através da “*Biodiversity Strategy*” o desenvolvimento de uma silvicultura próxima da natureza juntamente com práticas amigas da biodiversidade, conforme destacado por Mason et al. (2022).

3.2. Incêndios Florestais

O fogo, de origem natural ou antrópica, é um dos principais agentes causadores de degradação florestal, sendo responsável por alterações na estrutura, na composição florística e na biomassa das florestas (Lima, 2005). Ferreira-Leite et al. (2016) defendem que os fogos são uma reconhecida ferramenta de uso da terra na região do mediterrâneo, tendo grande importância em diversos processos ecológicos. Gomes (2016) alega que no caso específico de Portugal, ocorre a presença de espécies que são tolerantes ao fogo, como resultado de anos de coevolução em um clima sazonal seco e quente, com regulares ondas de calor, concluindo que os fogos constituem um aspeto ambiental da floresta mediterrânea. Ainda de acordo com Ferreira-Leite (2016), à medida que o fogo se torna recorrente, a intensidade e severidade aumentam e passam a tomar proporções catastróficas, perdendo o seu papel de catalisador da renovação dos ecossistemas, passando a ser um dos principais causadores de degradação das áreas florestais do mediterrâneo.

Silva (1998) define incêndio florestal como o fogo que ocorre de forma descontrolada em qualquer tipologia vegetal, independentemente se foi provocado por ações antrópicas ou causas naturais. Dentre os fenômenos naturais, os raios constituem a principal causa, enquanto as principais ações humanas incendiárias são queimadas para limpeza, fumadores, fogueiras ou mesmo por balões de ar quente (Codevasf, 2010). Robinne et al. (2018), afirmam que evidências científicas apontam que 90% dos incêndios florestais estão, direta ou indiretamente, ligados a atividades humanas. Segundo Costa et al. (2009), o facto dos incêndios possuírem esta estreita ligação com a atividade humana, dificulta as ações de prevenção e combate dos focos de ignição, o que acarreta em muitos casos, prejuízos económicos, humanos e ecológicos.

Chuvieco et al. (2008) afirmam que os impactos do fogo em determinada região dependem do regime do fogo, que afeta a gravidade e intervalo de retorno. Lavorel (2004) alega que o intervalo dos incêndios florestais pode variar entre 20 anos para florestas secas a 100 anos para florestas úmidas. Porém, os focos de incêndio estão a tornar-se cada vez mais frequentes em todos os continentes, o que comprova seu potencial para a destruição global de ecossistemas (Soshenskyi et al., 2021; Abram et al., 2021).

Do ponto de vista ambiental, os danos referem-se à destruição de extensos ecossistemas, causando a perda de biodiversidade, erosão e empobrecimento dos solos e dos recursos hídricos, além da emissão de gases para a atmosfera, contribuindo para a intensificação do efeito estufa e perda da qualidade do ar atmosférico (Volpato, 2002). Esta visão é reforçada por Fischer (2021) ao alegar que os incêndios florestais contribuem com aproximadamente 5 a 10% das emissões totais de gases do efeito estufa. Ferreira-Leite et al. (2016) também referem que o aumento na frequência e intensidade dos incêndios altera a composição das espécies e estrutura vegetal, incrementando a vulnerabilidade do ambiente às espécies invasoras, resultando assim num declínio da biodiversidade das áreas afetadas. Por outro lado, a extensão que os incêndios atingem pode diminuir a conectividade com as populações de origem, limitando a recuperação de comunidades de sucessão tardia (Cramer, Hobbs & Standish, 2008; Guiomar et al., 2015). Ainda segundo Guiomar et al. (2015) a pressão constante ao longo do tempo está relacionada com a falha no recrutamento e envelhecimento da estrutura sucessional, impedindo que a ocupação de determinado local seja substituída gradualmente por espécies arbóreas com maior resistência aos fogos, resultando em um aumento da vulnerabilidade a novos distúrbios, uma vez que a paisagem tende a ser dominada por espécies arbustivas altamente inflamáveis.

Os prejuízos de ordem humana, apesar de não serem muito frequentes, são extremamente nocivos e estão essencialmente associados a incêndios de grandes proporções, causando grande comoção social quando ocorrem. Já os prejuízos económicos, além dos provenientes dos danos diretos causados no ambiente, podem afetar toda a cadeia económica de uma determinada região. Barbati et al. (2010) apontam que as perdas económicas resultantes de um incêndio também provêm da enorme quantidade de recursos utilizados na supressão e prevenção de incêndios e dos custos associados às perdas de serviços públicos não mercantis, além da perda de valor comercial dos produtos madeireiros.

De acordo com Santos (2004), considera-se que a ocorrência desses eventos varia em função da época do ano, causa, local, tipo de vegetação e área atingida. Desta forma, as ações para prevenção e combate de incêndios fica muito dificultada. Assim, são necessárias políticas protecionistas adequadas às características de cada região, para além de outras informações como a época do ano em que ocorrem e o porquê da sua ocorrência, ou seja, traçar o perfil dos incêndios florestais de cada região é de extrema importância para o estabelecimento das políticas que têm por objetivo o controle e a prevenção dos mesmos (Santos et al., 2006). Vázquez et al. (2015) alegam que a caracterização do impacto dos incêndios florestais resulta em informações que ajudam a fornecer aos tomadores de decisão um ponto de partida para a gestão dos recursos.

3.3. Histórico do fogo em Portugal

Ferreira-Leite et al. (2012) referem que apesar de não existirem muitos documentos relativos a incêndios florestais em Portugal anteriores ao século XIX, é possível encontrar na literatura alguns relatos de incêndios de grandes dimensões, superando os 5 000 ha em área ardida, ocorridos em localidades como a Mata Nacional de Leira, referido por António Arala Pinto em sua obra “O Pinhal do Rei” que relata eventos ocorridos por volta de 1824, também existe relato sobre um grande incêndio na Mata do Bussaco entre os anos de 1882 e 1883, o qual é referido por Emídio Navarro em seu livro “Quatro dias na serra da estrela”.

Marey-Pérez & Rodriguez-Vicente (2009), indicam que um fator determinante para a vulgarização dos incêndios se deu como consequência do desenvolvimento urbano e industrial na segunda metade do século XIX, a agricultura tradicional e a atividade florestal deixaram de ser economicamente viáveis para muitas comunidades rurais, quando a população passou a migrar para os espaços urbanos. O agravamento do problema dos fogos tem como ponto de partida este êxodo

rural, iniciado por volta da década de 1950 e a sua intensificação na década de 1960, porém não foi um problema crucial até à década de 1970, quando passou a existir um acúmulo de material combustível nas florestas devido à redução do pastoreio e falta de limpeza dos terrenos (Mendes, 2007; Ferreira-Leite et al., 2012). Segundo o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (APIF, 2005), ocorreram incêndios de grandes proporções em Viana do Castelo no ano de 1962, Boticas em 1964 e em Sintra no ano de 1966, sendo este último responsável pela morte de 25 militares que auxiliavam no combate ao fogo.

Mendes (2007) afirma que o fogo é a maior ameaça para as florestas Portuguesas, referindo que entre os anos de 1982 e 1995 as áreas ocupadas por florestas de *Pinus* foram reduzidas em 41% na região noroeste e em 21% na região centro oeste. Historicamente, Portugal é um dos estados membros da União Europeia que mais sofre impactos com incêndios florestais, tendo ardido mais de 3 milhões de hectares desde 1980 (San-Miguel-Ayanz et al., 2017).

Ferreira-Leite et al. (2016) informam que os dados relativos aos incêndios passaram a ser disponibilizados pelo ICNF na década de 1980, estes dados revelam que a primeira vez que um incêndio atingiu uma área de 10 000 ha em uma única ocorrência foi em 1986 no concelho de Vila de Rei, posteriormente o concelho de Ferreira do Zêzere também foi afetado por um evento de dimensão semelhante. Os mesmos autores ainda referem que em 1987 os concelhos de Arganil, Oliveira do Hospital e Pampilhosa da Serra, foram atingidos por incêndios de grandes proporções, afirmando também que no ano de 1987 iniciou-se uma nova era de incêndios florestais em Portugal.

Entre os anos 1990 e 2000, o número de ocorrências registradas pelo ICNF ultrapassou os 245 mil casos os quais foram responsáveis pela degradação de uma área superior a um milhão de hectares. Deste total, pouco mais de 1 600 ocorrências foram responsáveis por quase 70% da área total ardida na década, sendo estas ocorrências reconhecidas como Grandes Incêndios Florestais (GIF) (Leite et al., 2013).

Tonini et al. (2017) afirma que os anos de 2003, 2004 e 2005 apresentaram uma grande incidência de eventos extremos, onde, respetivamente 6, 2 e 5 incêndios queimaram individualmente uma área superior a 10 000 ha. Os mesmos autores ainda apontam que nos anos de 2000, 2001 e 2002 foram registrados anualmente mais de 1 750 ocorrências. O ano de 2003 apresentou vários eventos de grande dimensão, entre eles um incêndio no distrito de Santarém, o qual se manteve ativo por 6 dias e queimou uma área com cerca de 22 000 ha (Ferreira-Leite et al., 2012). De acordo com dados levantados por Oliveira (2022), entre os anos de 2010 e 2020 foi registrada uma média superior a 19

000 ocorrências anuais, que por sua vez foram responsáveis por queimar uma área média anual de 138 000 ha.

San-Miguel-Ayanz et al. (2020) indicam que o ano de 2017 apresentou condições extremas de perigosidade, com uma severa onda de calor e uma extrema instabilidade atmosférica em junho e outubro. A influência do furacão Ophelia aliada a uma seca recorde criou o ambiente propício para a ocorrência de incêndios, sendo reportados cerca de 21 000 ocorrências, as quais consumiram uma área próxima de 540 000 ha de florestas e causaram a morte de 117 pessoas.

Mira & Lourenço (2019) referem que no dia 17 de junho de 2017 deflagrou um incêndio no município de Pedrogão Grande o qual provocou a morte de 66 pessoas, deixando outras 253 feridas, além de destruir mais de 500 habitações e arder uma área superior a 27 000 ha. Os mesmos autores ainda indicam a ocorrência de outro incêndio no mesmo dia, no concelho de Góis, o qual consumiu uma área superior a 17 000 ha, posteriormente vindo a coalescer com o incêndio de Pedrogão Grande, e que juntos queimaram uma área com cerca de 46 000 ha. Quando se pensava que estava encerrada a temporada de incêndios no ano de 2017, ocorreu ainda o evento que ficou conhecido como o “pior dia do ano”, tendo sido registrado pela Proteção Civil 443 ocorrências apenas no dia 15 de outubro. Tal evento culminou na morte de 48 pessoas, afetando 30 concelhos de seis distritos no centro de Portugal, onde o fogo tomou proporções apocalípticas, consumindo cerca de 241 000 ha e destruindo aproximadamente 2000 habitações (Garcia, 2018). Para Mira & Lourenço (2019), os eventos citados contribuíram significativamente para que o ano de 2017 fosse o ano não só com o maior número de vítimas, mas também com maiores danos e maior área queimada na história de incêndios florestais em Portugal, causando prejuízos na ordem de 1,5 mil milhões de Euros e liberando na atmosfera mais de 4,5 milhões de toneladas de CO₂ (San-Miguel-Ayanz et al., 2020).

De acordo com os dados divulgados pela Divisão de Gestão do Programa de Fogos Rurais, através do 8º Relatório Provisório de Incêndios Rurais de 2022, entre os anos de 2017 e 2021 registou-se uma redução no número de ocorrências e de área ardida. Porém, o ano de 2022 voltou a causar preocupação, uma vez que foram registadas 10 449 ocorrências, que resultaram em mais de 110 000 ha de área ardida. Neste ano foram registrados 101 incêndios que atingiram áreas superiores a 100 ha, sendo que destes, 17 consumiram áreas superiores a 10 000 ha.

Na Figura 1 é possível observar a distribuição espacial de áreas ardidas na Península Ibérica entre os anos de 2000 e 2022, Portugal concentra a maioria absoluta das ocorrências, que por sua vez, se concentram nas regiões centro e norte do país.

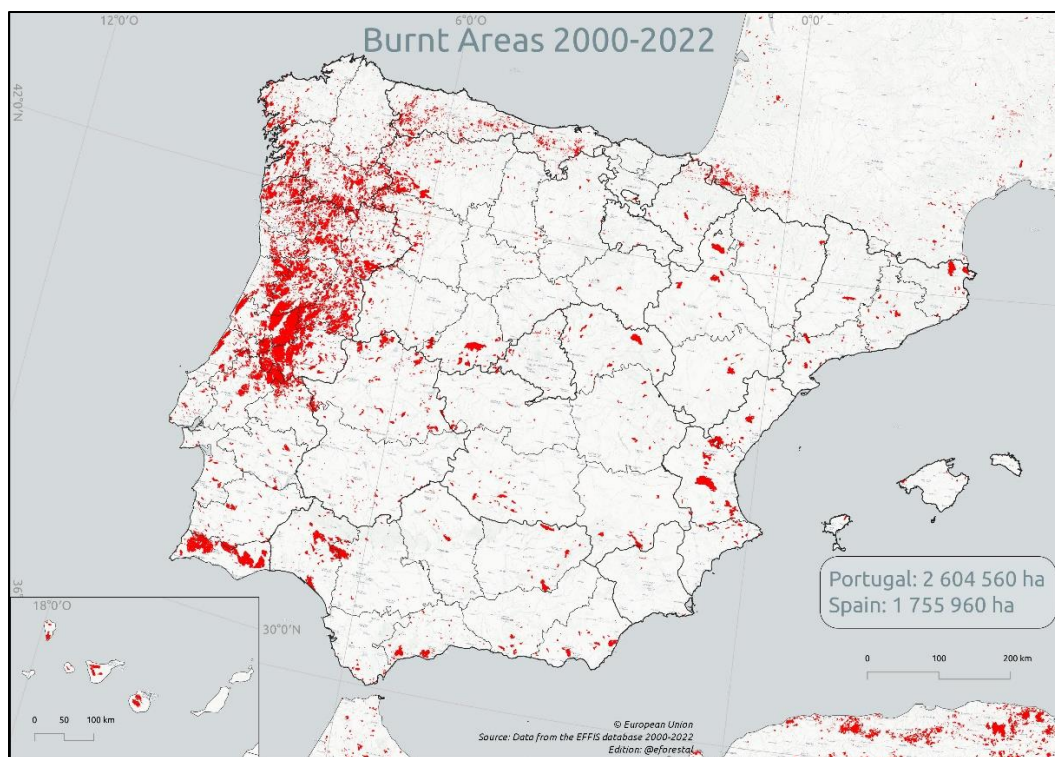


Figura 1 - Distribuição de áreas ardidas na Península Ibérica no período de 2000 a 2022.

Fonte: The European Forest Fire Information System (EFFIS) (2022).

3.4. Fatores de risco de incêndio

A identificação dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de incêndios permite o reconhecimento de regiões mais ou menos propensas a tal evento.

De acordo com Oliveira (2002), a maioria dos incêndios em áreas florestais resultam de ações humanas associadas ao uso e ocupação da terra, reforçando ainda que as principais causas de incêndios são de natureza humana. Fernandes et al. (2014) alega que o ser humano afeta diretamente o regime do fogo ao iniciar ou suprimir o fogo, e indiretamente através do condicionamento da vegetação por conta do tipo e da intensidade de utilização da terra. No entanto, Flannigan et al. (2000) afirmam que de uma perspectiva de supressão, os incêndios florestais iniciados por raios representam a ameaça mais séria uma vez que os tempos de detecção e resposta podem ser mais significativos, já que estes incêndios geralmente começam em áreas remotas que oferecem dificuldades de acesso. Os fatores ambientais também influenciam o início e a propagação de incêndios, sendo que, os fatores

mais relacionados com os incêndios são o material combustível, condições climáticas, topografia e as características da cobertura vegetal (Brown, 1973; Flannigan, et al., 2000).

Oliveira (2002) refere que a cobertura vegetal é a responsável direta pelo fornecimento de material combustível para a queima, sendo que a sua composição química pode influenciar a velocidade de propagação e a quantidade de calor liberado. Desta forma, é possível assumir que variações na cobertura vegetal interferem diretamente no comportamento do fogo, uma vez que este encontrará ambiente completamente diferente numa floresta densa ou numa floresta de cobertura mais dispersa, por exemplo.

Conforme descrito por Brown (1973), a topografia do terreno é um elemento que tem implicações significativas no risco de incêndio, sendo que determinadas faces do terreno estão mais expostas à radiação solar e aos ventos provenientes da direção em que é orientada a encosta. A topografia ainda pode influenciar a propagação do incêndio através de aceiros naturais, como lagos, rios e encostas, além disso o declive e orientação das encostas influenciam a propagação do fogo (Flannigan et al., 2000).

Por fim, Oliveira (2002) afirma que a velocidade e a direção dos ventos são fatores muito importantes na propagação dos incêndios, sendo que, a velocidade implica variações na taxa de propagação enquanto a direção dos ventos influencia diretamente a direção de propagação do incêndio em questão. Além disso, a incidência direta de ventos na área é responsável direta pela taxa de secagem do combustível e pelo aumento do suprimento de oxigênio, além de poder transportar faíscas para áreas que ainda não foram afetadas pelo incêndio, fazendo com que o mesmo se propague mais rapidamente (Oliveira, 2002).

3.5. Iniciativas e esforços para a conservação das florestas

Birsey & Pan (2015) descrevem que a gestão florestal está diretamente relacionada com objetivos definidos pelas entidades responsáveis, onde normalmente existem práticas de gestão específicas que suportam tais objetivos.

Feliciano et al. (2015) referem que em Portugal a Legislação de apoio à conservação das florestas baseia-se no Artigo 93 da Constituição Portuguesa, onde afirma-se que o Estado tem que promover políticas florestais de acordo com as circunstâncias ecológicas e sociais. A partir deste princípio foi publicada em 17 de agosto de 1996 a Lei de Bases da Política Florestal, a qual reafirma

a importância das florestas como um recurso essencial à manutenção de todas as formas de vida, incluindo em seus objetivos a proteção das florestas nacionais contra agente bióticos e abióticos, nomeadamente os incêndios.

O Decreto-Lei nº 124/2006, de 28 de junho, insere o Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios (SDFCI) e atribui ao Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) as competências de coordenação das ações de prevenção estrutural e combate aos incêndios. Neste mesmo ano foi publicado através da Resolução do Conselho de Ministros nº 65/2006, o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), documento este que estabelece os planos de ação com indicações de estratégias a serem adotadas com finalidade de, entre outros, reduzir a incidência dos incêndios florestais e melhorar a eficácia do ataque e gestão dos incêndios, sendo que as responsabilidades perante as ações preventivas ficam a cargo do ICNF.

Atualmente é reconhecido que diversos ecossistemas, alguns deles humanizados, possuem alto valor e cuja conservação depende de ações de gestão apropriadas (Cruz, Benedicto & Gil, 2011). Desta forma, as áreas de proteção são a base de estratégias locais, regionais e globais para a conservação da biodiversidade, conforme descrito por Gaston et al. (2008).

Carvalho & Frazão-Moreira (2011) afirmam que várias áreas de proteção foram legalmente criadas na Europa com a intenção de preservar e manter a diversidade biológica, características naturais únicas e património cultural associado. Os mesmos autores ainda alegam que estas áreas podem ser afetadas e terem seu status de proteção ameaçado com base em transformações sociais e económicas.

Na União Europeia a legislação comunitária para proteção dos ambientes se dá por desdobramento da Directiva Aves (79/409/CEE) e da Directiva Habitats (92/43/CEE), que identificam espécies e habitats ameaçados e visam contribuir para sua conservação. Botelho (2006) cita que estas directivas estabelecem a criação de uma rede ecológica europeia de preservação, denominada Rede Natura 2000 (RN2000), onde os estados membros se comprometem a implementar medidas que evitem a degradação destas áreas. De acordo com Rivaes et al. (2019) a transposição destas directivas para a legislação portuguesa se dá por meio do Decreto-Lei nº 140/99. Rivaes et al. (2019) ainda afirma que em toda a União Europeia a RN2000 é formada por mais de 27 000 locais, cobrindo uma área de 1 115 000 km² entre zonas marinhas e terrestres, que possuem reconhecida importância a nível de biodiversidade, dentro dos Estados Membros.

Atualmente, é esperado mais das áreas protegidas do que simplesmente a proteção da biodiversidade. Elas são vistas como um componente crítico de suporte à vida, como garantia de resiliência ambiental e uma fonte de serviços ecossistêmicos (EEA, 2012). Para Calado et al. (2014), as comunidades humanas fazendo parte dos ecossistemas, permitem uma perspectiva nova que pode auxiliar no desenvolvimento económico e cultural aliado às áreas protegidas, incentivar o ecoturismo, auxiliar na integração de áreas de conservação e sistemas de gestão territorial, de forma a envolver a comunidade local na tarefa de atingir os objetivos definidos para a área em questão.

3.6. Parque Natural do Alvão

Pereira-Silva (2000), afirma que foi após a publicação da Lei n° 9/1970, de 19 de junho, que Portugal começou efetivamente a dispor das diretrizes necessárias para implementação de uma política de proteção da natureza e seus recursos, através da criação de áreas protegidas, mesmo que tais preocupações tenham ganhado força apenas após o ingresso do país na União Europeia, em 1986 (Queirós, 2016).

Entretanto, foi em 2008 que ocorreu a consolidação desta política de conservação dos espaços naturais, através do Decreto-Lei n° 142/2008, de 4 de julho, o qual instituiu o Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC), vindo a considerar como área protegida os espaços naturais que apresentem algum tipo de relevância especial, exigindo assim medidas específicas de conservação e gestão. O decreto tipifica seis categorias de áreas protegidas, sendo elas: Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural, Paisagem Protegida, Monumento Natural e Área Protegida Privada.

De acordo com o SNAC, Parque Natural é entendido como uma área que contenha predominantemente ecossistemas naturais ou seminaturais, onde a preservação a longo prazo da biodiversidade possa depender da atividade humana, de forma a assegurar um fluxo sustentável de produtos naturais e serviços ecossistêmicos (Decreto-Lei n° 142/2008, de 4 de julho, Art. 17).

A criação do Parque Natural do Alvão (PNAL) ocorreu no dia 8 de junho de 1983, pelo Decreto-Lei n° 237/1983. Situado na região norte do país, mais precisamente no distrito de Vila Real, abrange parte dos municípios de Vila Real (4 361 ha) e de Mondim de Basto (2 859 ha), perfazendo um total de 7 220 hectares. De acordo com Afonso (2020), a criação do PNAL, dentre outros objetivos, teve como intuito proteger ecossistemas associados à Serra do Alvão, especialmente as Fisgas do Ermelo, por onde cruza o leito do rio Olo, um local reconhecido por apresentar uma paisagem geomorfológica de amplo interesse turístico e científico. Conforme descrito no seu plano

de ordenamento, o PNAL possui uma grande biodiversidade de espécies relevantes, como a águia real, gralha-de-bico-vermelho, toupeira-de-água, morcego-de-bigodes e o lobo ibérico, algumas destas com certo grau de vulnerabilidade, sendo que tais espécies encontram no Parque condições ideais para se reproduzirem (UA/ICN, 2004)

Afonso (2020), explica que a área do PNAL está situada de forma integral em um Sítio de Importância Comunitária (SIC) da Rede Natura 2000, o SIC Alvão-Marão, sendo a Rede Natura 2000, uma rede europeia de áreas destinadas à conservação de espécies e habitats ameaçados. O SIC Alvão-Marão surgiu no ano de 1997, e integra a lista com os Sítios de Importância Comunitária de Portugal, concebida no âmbito da Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/97. A área do PNAL corresponde a aproximadamente 14% da área total do referido SIC (ICNB, 2008). O Plano Setorial do SIC Alvão-Marão refere que a área em questão engloba uma vasta diversidade de habitats, incluindo áreas de carvalhais (*Quercus robur* e *Quercus pyrenaica*) além de matos baixos de ericáceas e tojos, também vale ressaltar a presença de turfeiras e zonas húmidas com *Erica ciliaris*, *Erica tetralix* e *Ulex minor* (ICNB, 2008).

Muito para além da importância ecológica presente na área do PNAL, este possui um vasto património histórico, arquitetónico e cultural, resultante das interações e atividades das comunidades que ali se estabeleceram ao longo de mais de mil anos (UA/ICN, 2004). Segundo informações obtidas através do Recenseamento Geral da População de Portugal, sob a tutela do Instituto Nacional de Estatística (INE), o número de moradores na área do Parque vem reduzindo gradualmente, de forma que na década de 1960 a população local era de 2 117 moradores, que caiu para 748 em 2001, quando foi realizado o levantamento para o plano de ordenamento do Parque (UA/ICN, 2004).

De acordo com Afonso (2020) o plano de ordenamento do Parque juntamente com outros estudos aponta a presença do fogo como uma das principais ameaças, em paralelo com o desmatamento e a introdução de espécies exóticas, também existe preocupação em relação à caça e pesca ilegais, abandono da agricultura, degradação do solo e a perda de valores culturais tradicionais. O mesmo autor ainda aponta que o PNAL é administrado pelo Instituto Nacional de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, I.P.), integrado na administração indireta do Estado Português que gerencia as 32 áreas protegidas de âmbito nacional existentes no país. O plano de ordenamento do parque foi aprovado em 2008, mas a elaboração dos relatórios técnicos ocorreu entre 2004 e 2006.

3.7. Gestão territorial e Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios

De acordo com Cadete (2020), a Defesa da Floresta Contra Incêndios é pautada por cinco eixos estratégicos a nível nacional, sendo estes: o aumento da resiliência do território face aos incêndios, a redução da incidência de incêndios, o incremento da eficácia do ataque e gestão dos incêndios, a recuperação e reabilitação dos ecossistemas e comunidades, por fim, a adaptação de uma estrutura funcional e eficaz a nível nacional.

Santos et al. (2019) alegam que o Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, inclui diversos instrumentos de natureza legal e regulamentar, que representam uma mais valia no processo de prevenção de risco de incêndio em Portugal, sendo que no conjunto destes instrumentos, está o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios. De acordo com a RCM 65/2006, o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios enuncia a estratégia e determina os objetivos, as prioridades e as intervenções a desenvolver para atingir as metas preconizadas. Ou seja, é o instrumento que define a estratégia a nível nacional, determinando as prioridades no âmbito da defesa da floresta contra s incêndios. Almeida (2012) ressalta que o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios “acentua a necessidade de uma ação concreta e persistente na política de sensibilização e no aperfeiçoamento dos instrumentos de gestão do risco”.

De acordo com estudo divulgado pelo Observatório Técnico Independente em 2019, a uma escala intermediária, existe o Plano Distrital de Defesa da Floresta Contra Incêndios, que por sua vez, trata-se de um planeamento operacional à macro escala, onde a prevenção é fundamental para alterar a dinâmica de Grandes Incêndios Florestais, permitindo considerar vários cenários de alterações socioambientais e climáticas a uma escala semelhante à dos Programas Regionais de Ordenamento Florestal.

Entretanto a obrigatoriedade de elaboração do Plano Distrital foi revogada através da lei 76/2017, tendo suas atribuições absorvidas pelos Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), os quais devem integrar os objetivos previstos no Plano Nacional, de forma a se adequem ao respetivo Programa Regional de Ordenamento Florestal.

Os PMDFCI devem ser elaborados criteriosamente, pelo Gabinete Técnico Florestal, de acordo com o guia técnico disponibilizado pela Autoridade Florestal Nacional, sendo este avaliado e revisado pelas Comissões Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios e também pelo ICNF, portanto devem seguir metodicamente todas as recomendações preestabelecidas em níveis superiores para atingir os objetivos desejados (Observatório Técnico Independente, 2019).

Na prática, o PMDFCI consiste na elaboração e divulgação de três elementos, sendo eles: um caderno de diagnóstico contendo as informações de base para planejamento, um caderno com o plano de ação que traça as estratégias necessárias para atingir os eixos estratégicos definidos, e por fim um caderno com o plano operacional municipal que por sua vez define todos os procedimentos e estruturas necessárias para que o plano de ação seja cumprido de forma integral e eficaz.

3.8. Definição de zonas de risco

Soares (1986) afirma que os estudos para desenvolvimento de índices de risco de incêndio tiveram início no começo do século XIX e, desde então diversos pesquisadores têm procurado aperfeiçoar ou desenvolver índices que proporcionem uma maior eficiência na previsão de incêndios.

Segundo Lourenço (1992), existem diferentes índices de risco de incêndio florestal que permitem obter indicações sobre as probabilidades de ocorrência em determinadas condições meteorológicas, através de correlações estabelecidas entre elementos meteorológicos e a ocorrência e gravidade dos incêndios.

A primeira abordagem sistemática apresentada para indexar os riscos de incêndio se deu através da régua de Gisborne, apresentada por volta de 1936, que consiste num medidor de risco de incêndio formado por uma régua de cálculo, utilizada de forma a correlacionar variáveis como: teor de umidade dos combustíveis, umidade relativa do ar, data deste o início da estação de incêndios, atividade dos agentes de ignição e raio de visibilidade (Silva-Alves & Nóbrega, 2011).

Hamadeh et al. (2015), descrevem que na antiga União Soviética, por volta de 1949, o Professor V. G. Nesterov desenvolveu um índice empírico que utilizava dados diurnos de temperatura, umidade e precipitação diária para estabelecer uma série de níveis discretos de risco de incêndio. Tal índice é calculado em casos de temperatura positiva para determinado período de dias com precipitação inferior a 3mm, sendo que a ocorrência de precipitações superiores a 3mm zeram o índice de Nesterov.

De acordo com Deppe et al. (2004), foi desenvolvido no Brasil, em 1972, o Índice de Monte Alegre, especificamente para o estado do Paraná, tal índice considera o risco de incêndio florestal com base em duas variáveis: a chuva diária e a umidade relativa do ar às 13h, sendo este um índice acumulativo, portanto, quanto mais duradouro for o período sem chuva e com baixa umidade relativa do ar, maior será o risco de incêndio.

Também foi na década de 70 que o Serviço Florestal Canadense, passou a utilizar o novo Canadian Forest Fire Weather Index (FWI), sendo este uma evolução dos métodos utilizados anteriormente no país. O FWI consiste em seis componentes, sendo três subíndices primários relacionados com a umidade em diferentes tipos de combustível, dois subíndices intermediários que descrevem a taxa de propagação e o consumo de combustível, e por fim, o índice que representa a taxa de produção de energia na frente de fogo (Van Wagner, 1987). Alves (2012), refere que o índice canadense FWI, desde o ano de 1989, é utilizado pelo Instituto Meteorológico para fornecer informações referentes ao risco diário de incêndio florestal para Portugal Continental.

Em Portugal, de acordo com o Guia Técnico (2012) do Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI), os mapas de risco, utilizados como base para o planeamento das ações de defesa da floresta, são formados pelo cruzamento dos mapas de perigosidade, o qual é definido através de informações de probabilidade e susceptibilidade que determinado local tenha de vir a arder, com o mapa de dano potencial, que por sua vez é composto por dados de vulnerabilidade e valor económico de sítios afetados por um eventual incêndio florestal (Figura 2).

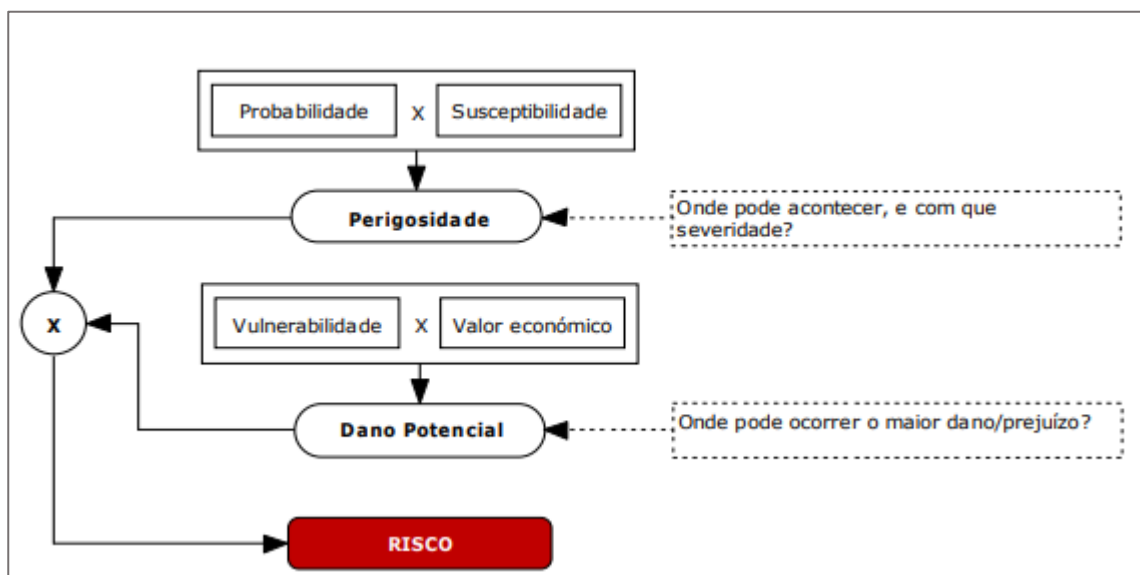


Figura 2 - Modelo recomendado para definição de risco de incêndio.

Fonte: Guia Técnico PMDFC, AFN (2012).

Ou seja, o mapa de perigosidade indica as áreas que estão mais propensas à ignição e propagação de incêndios, enquanto o mapa de risco em si apresenta dados combinados que permite com que os gestores possam analisar e definir zonas e métodos alvo de ações prioritárias da estratégia de defesa da floresta contra incêndios.

3.9. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal

Conforme disposto por Eugênio (2014), diversas medidas de prevenção e combate a incêndios têm sido adotadas para minimizar os efeitos negativos do fogo. Desta forma, o mapeamento de risco de incêndio constitui um instrumento fundamental para o planejamento racional dos recursos destinados à prevenção e pré-supressão dos incêndios florestais.

Segundo Oliveira (2002), os mapeamentos de risco de incêndio são elementos básicos para o planejamento da proteção de áreas florestais. Estes são capazes de proporcionar uma visualização da distribuição espacial do risco, o que pode possibilitar uma adequação dos recursos e equipamentos destinados à prevenção e combate de acordo com o nível de perigo de cada região. Uma zona de risco de incêndio é uma área delimitada em função do potencial de ocorrência e propagação do fogo, identificada pelas características ambientais comuns que se traduzem em um mesmo potencial de risco. As zonas de risco são delimitadas segundo a distribuição de possíveis pontos de ignição de incêndios (Show & Clarke, 1953).

A análise detalhada das variáveis relacionadas com os incêndios permite estabelecer graus ou níveis de risco, de acordo com a influência de cada variável sobre o comportamento do fogo. Esta informação tem relevante importância na construção de mapas temáticos de risco de incêndio para uma determinada região (Koproski et al., 2011). Estes mapas ao possibilitarem a distribuição espacial do risco de incêndio, permitem identificar as regiões com maior e menor probabilidade de ocorrência, permitindo dessa maneira que as ações de prevenção e combate sejam distribuídas pela área de forma mais racional e planejada, otimizando os recursos e mão de obra disponíveis (Borges et al., 2011).

Através da informação obtida a partir dos mapas de risco várias medidas podem ser tomadas para se reduzir a ocorrência de incêndios, tal como maior vigilância nas áreas de risco, restrição de acesso a estes locais, construção de aceiros preventivos e reorganização das práticas de gestão (Ferraz & Vetorazzi, 1998). O mapeamento também pode ser utilizado para elaborar o planejamento de combate a incêndios, como a construção de vias de acesso rápido aos locais de elevado risco e alocação de recursos de combate em pontos estratégicos.

Bento-Gonçalves et al. (2012) asseguram que a elaboração de mapas de risco de incêndio, com auxílio das geotecnologias, constitui uma ferramenta importante para avaliar os potenciais efeitos sobre a vegetação após a ocorrência de incêndios florestais, consolidando uma importante ação para a prevenção dos incêndios. Segundo Van Wagendonk (1990), as geotecnologias foram utilizadas pela primeira vez em pesquisa e manejo de incêndios florestais no Parque Nacional de

Yosemite, EUA, com vários objetivos, podendo-se citar: comparar dados históricos sobre a incidência de fogo de acordo com a topografia e com o tipo de vegetação; analisar a incidência de raios; e analisar o regime de fogo com base no clima, na vegetação, no material combustível e na topografia.

3.10. Sistemas de Informação Geográfica

Para Pezzopane et al. (2001), os atuais recursos computacionais facilitam bastante os estudos temporais e espaciais de previsão e combate aos incêndios. A detecção de locais de maior risco pode ser viabilizada com recurso a ferramentas de SIG. De acordo com Torres et al. (2017) um SIG proporciona a capacidade de coletar, sobrepor, manipular e visualizar um grande volume de dados, que podem ser derivados da análise da possibilidade de ignição de um incêndio florestal, do seu potencial de propagação e dos efeitos relacionados. Peixoto (1997), ainda afirma que o SIG é o sistema mais adequado para análise espacial de dados geográficos, devido à sua capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos. Essa capacidade, conhecida como topologia, além de descrever a localização e a geometria das entidades de um mapa, descreve as conexões entre tais entidades, como perímetros e relações de contiguidade.

De acordo com Cavallari et al. (2007), a utilização do SIG possibilita a geração de bancos de dados codificados espacialmente, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de grande número de informações, permitindo com isso o acompanhamento da variação de temas, obtendo-se novos mapas com rapidez e precisão, a partir da atualização dos bancos de dados. Paz et al. (2011) destacam que os mapas de risco de incêndio originados a partir de um SIG permitem aos gestores florestais planejar estrategicamente as atividades de prevenção a longo prazo.

3.11. Sensoriamento Remoto

Coelho (2016) afirma que o Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestres, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O Sensoriamento Remoto integra diferentes tecnologias, com a finalidade de coletar e tratar diversas informações espaciais, no intuito de solucionar ou auxiliar algum propósito necessário, sendo que a sua aplicação é realizada por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Silva, 2006). Florenzano (2007) afirma que a partir da análise e interpretação dos produtos do

Sensoriamento Remoto, podem ser articulados os conceitos de lugar, localização, interação, região e movimento.

O processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens (Crósta, 1997). O mesmo autor ainda descreve o processamento digital de imagens como sistemas dedicados de computação que são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação de imagens. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Em suma, as tecnologias de informação e de tratamento de dados espaciais tornaram-se instrumentos indispensáveis ao geoplanejamento, possibilitando além da espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e processamento dos dados necessários às análises, como no caso da escolha de locais para a implantação de Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal (Veiga & Silva, 2004). Desta forma, o processamento digital de imagens do Sensoriamento Remoto é uma ferramenta eficaz para facilitar a identificação e extração de informações contidas em imagens, para que estas sejam posteriormente interpretadas.

3.12. Álgebra de Mapas

De acordo com Liz (2014), o Mapeamento de Risco de Incêndio consiste em uma metodologia de álgebra de mapas, que considera diferentes planos de informação em seu cálculo. Tais planos de informação podem ser entendidos como as variáveis analisadas para os fins desejados.

Segundo Tomlin (1990), o termo álgebra de mapas pode ser utilizado para indicar um conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Nesse sentido os mapas são tratados como variáveis individuais e as funções definidas sobre essas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa.

De acordo com Cordeiro et al. (2007), os elementos de álgebra de mapas, consiste em mapas que associam a cada local de uma determinada área de estudo um valor quantitativo ou qualitativo. A partir destes mapas são realizadas operações com o intuito de combinar tais informações para a produção de um mapa final que exemplifique a interação dos elementos inseridos no início da operação.

Barbosa et al. (1998), referem que as operações da álgebra de mapas podem ser classificadas em três grandes classes, sendo elas:

- Pontuais: onde a saída da operação é um mapa cujo valores se dão em função apenas dos valores dos mapas de entrada em cada localização correspondente;
- Vizinhança: o resultado é um mapa cujo valores dependem da vizinhança da localização considerada;
- Zonais: são definidas em regiões específicas de um mapa de entrada, onde são fornecidas restrições por um outro mapa.

Uma parcela significativa dos projetos e aplicações ambientais de geoprocessamento utiliza técnicas de integração de dados básicos de várias fontes e formatos, envolvendo o uso de imagens de satélite, mapas de vegetação e de clima, com a geração de produtos intermediários, como cartas de vulnerabilidade (Barbosa et al., 1998).

Conforme descrito por Liz (2014), as variáveis básicas a serem utilizadas na álgebra de mapas de um Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal (MRIF) são: a presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declive, orientação das encostas e ventos predominantes.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área de estudo

O Parque Natural do Alvão (PNAL) está situado no distrito de Vila Real (Figura 4) entre os municípios de Vila Real (4 361 ha) e Mondim de Bastos (2 859 ha), na região de Trás-os-Montes e ocupa uma área de 7 220 ha, numa zona de transição entre o clima mediterrânico e o clima atlântico (Carvalho, 2009).

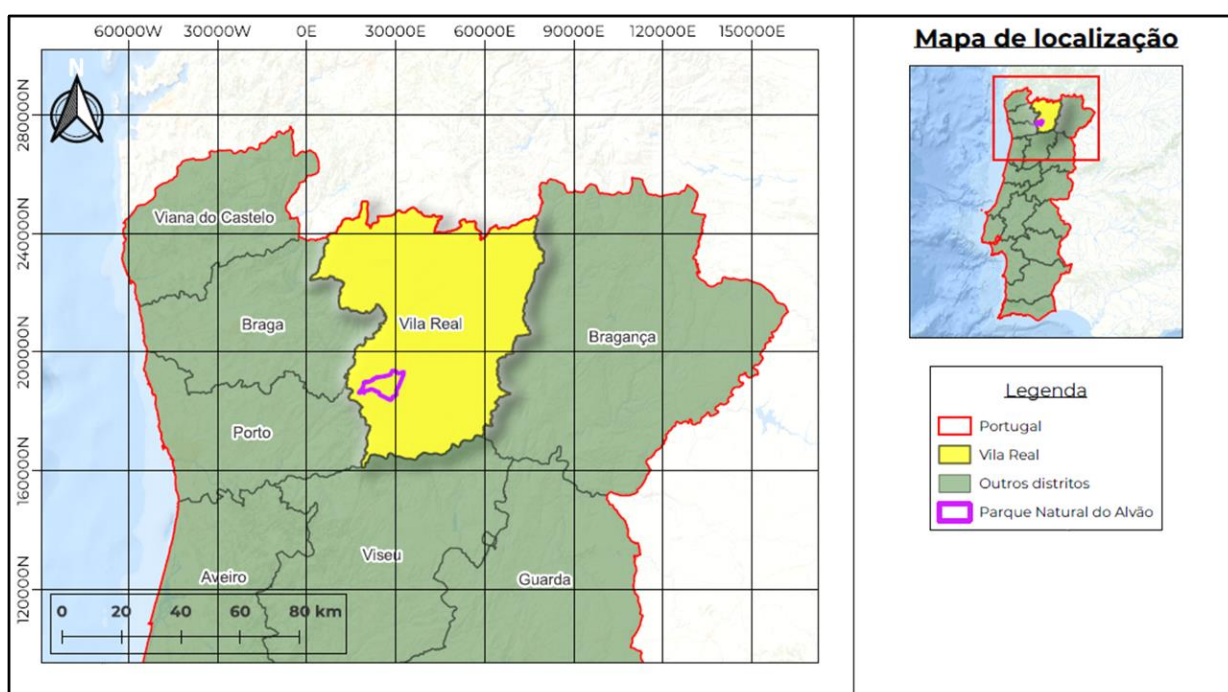


Figura 3 - Localização da área de estudo.

A posição geográfica do PNAL, aliada à topografia proporciona que os invernos sejam pluviosos e frios e os verões secos e quentes. Ocorrem por todo o Parque diversos microclimas, devido à variação altimétrica, morfologia do relevo e variação do coberto vegetal (Carvalho, 2009).

De acordo com os dados proporcionados pela estação pluviométrica de Lamas de Olo, 41° 22' 18,2" N, -7° 47' 28,5" W, para o período 1941-70 a precipitação anual é de 1930,8 mm, com um déficit hídrico entre os meses de junho a setembro, e temperaturas médias anuais nas isotérmicas entre os 10°C e os 15°C (Godinho & Machado, 1990).

A população concentra-se em 10 localidades, grande parte das quais não têm mais que 100 habitantes. A agricultura e a criação de gado (em pequena escala e em moldes tradicionais) ainda constituem as atividades dominantes (Figueiredo & Valente, S/D).

4.2. Área de influência do Parque Natural do Alvão

Com base no estudo realizado por Liz (2014), na Reserva Biológica do Aguaí, no estado de Santa Catarina, Brasil, foi considerada uma área de influência de 2 000 metros a partir dos limites do Parque Natural do Alvão. A determinação de uma área de influência no entorno da área de estudo é imprescindível para entender como funciona a dinâmica de seus arredores, sendo que no presente estudo, trata-se de uma área de grande pressão antrópica.

Seguindo os critérios estabelecidos por Liz (2014), a delimitação da área de influência para o PNAL (Figura 5) abrange cerca de 9 930 ha, sendo que a área de influência é ainda maior que a própria área do Parque (7 220 ha).

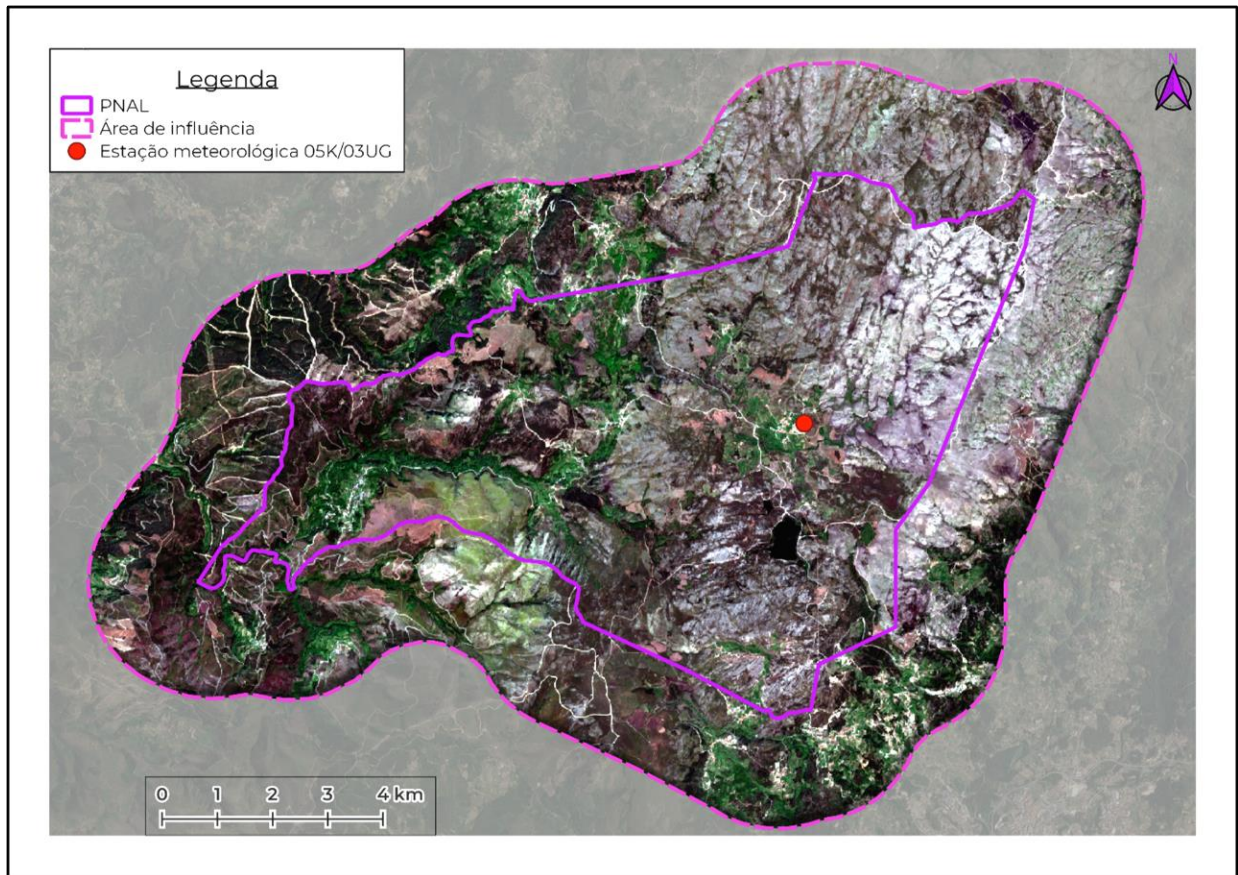


Figura 4 - Delimitação da área do Parque Natural do Alvão (PNAL) e da área de influência marcada a partir dos limites do PNAL

Para a realização do estudo, foi utilizado o software QGIS, no qual foi criado um Buffer de 2 000 metros com base em ShapeFile contendo os limites do PNAL, que por sua vez foi disponibilizado de forma virtual pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

4.3. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal

No fluxograma apresentado na Figura 3 é possível acompanhar como será realizado o MRIF para a área de estudo, sendo que este será baseado nos seguintes Planos de Informação (PI): Presença Humana (PH), Cobertura Vegetal (CV), Material Combustível (MC), Declive (D%), Orientação das Encostas (OE) e Ventos Predominantes (VP).

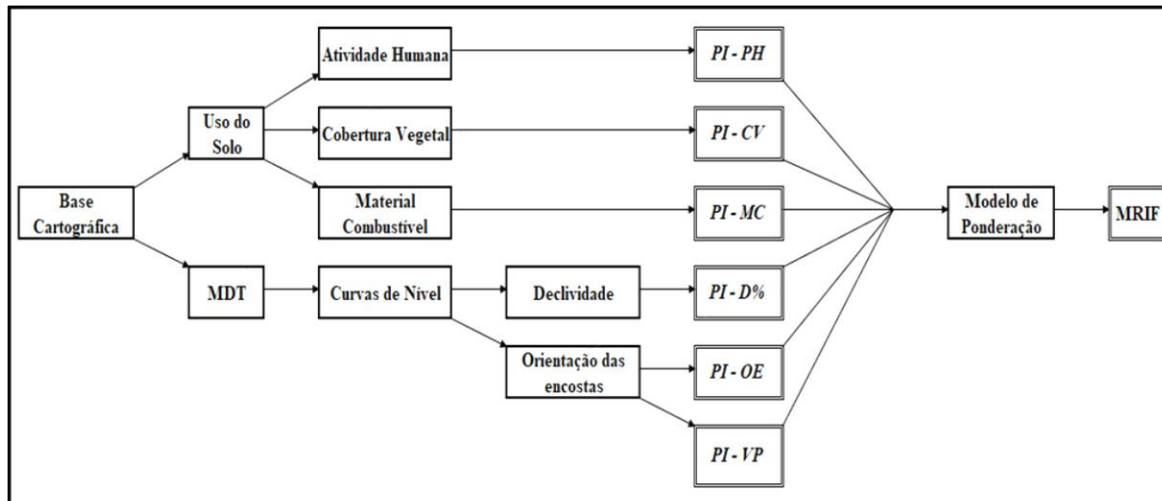


Figura 5 - Fluxograma dos dados de entrada e saída do Sistema de Informações.

O Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal (MRIF) é baseado numa metodologia que utiliza a álgebra de mapas para calcular a influência de diferentes variáveis, neste caso apresentadas através de planos de informação (PI), exercem em relação à susceptibilidade e ameaça de risco de incêndio para a área de interesse.

Para este estudo serão considerados os planos de informação propostos por Oliveira (2002), que, segundo Liz (2014) representam a influência da presença humana e do ambiente no risco para ocorrência de incêndio num determinado local.

Tais PI têm como padrão a resolução espacial de 10 metros, valor este definido pela resolução das imagens espaciais obtidas através de operações de Sensoriamento Remoto pelo instrumento imageador do satélite Sentinel-2, fornecidas pelo Serviços Geológicos dos Estados Unidos. Portanto, cada unidade de análise presente nos PI e no produto do MRIF será de 0,01 hectare, o que é compatível com os valores encontrados na literatura (Batista 2000; Oliveira, 2002; Liz 2014), permitindo assim a comparação com outros trabalhos.

A seguir são apresentadas de forma individual as metodologias utilizadas para a obtenção dos planos de informação, visto que cada uma carece da utilização de procedimentos específicos para a sua obtenção.

4.3.1. Presença humana

Ferraz e Vettorazzi (1998), afirmam que para a caracterização de risco devido à presença humana, devem ser levados em consideração fatores como: a hidrografia, estradas, edificações e as

atividades na área do entorno (área de influência). Segundo Liz (2014), deve-se ao facto de que nestes locais o trânsito de pessoas pode-se considerar um grande vetor para a ocorrência de incêndios.

Conforme proposto por Oliveira (2002), as vilas, edificações e estradas serão vetorizadas de acordo com as imagens digitais obtidas para o terreno, citando ainda a necessidade de uma visita ao local, com o objetivo de identificar as atividades potencialmente facilitadoras de incêndios no entorno. Para a determinação destes raios de influência, baseados na atividade humana, serão vetorizados os aspectos do terreno onde forem identificadas as atividades e estruturas descritas na Tabela 1, e posteriormente serão aplicados “buffers” nestes vetores que irão delimitar o raio de influência.

Tabela 1 - Raio de influência calculado a partir das atividades e presença humana.

Elementos de infraestrutura	Raio de influência (m)
Caminhos	30
Estradas	100
Curso d'água	30
Edificações	100
Pastagens	30
Agricultura	100
Florestas plantadas	30

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

A partir dos raios de influência definidos anteriormente, serão delimitadas áreas onde existem ou não a presença e atividades humanas. Desta forma a classificação será dada pelas variáveis “sem influência” e “com influência”, definindo o risco como não e sim, sendo que serão atribuídas as Classes 0 e 1, respetivamente. Portando nos locais de abrangência dos “buffers” serão regiões onde será aplicado o coeficiente 1, e nas demais regiões onde não há atividade humana será utilizado o coeficiente 0 (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a presença humana.

Presença humana	Risco	Classes
Sem influência	Não	0
Com influência	Sim	1

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

4.3.2. Cobertura vegetal

Para a determinação da vegetação existente na área de interesse, serão realizadas observações das imagens obtidas para o estudo, tratadas através de composição espectral de bandas captadas pelo instrumento imageador do satélite Sentinel-2A no dia 19/05/2023, visando uma classificação da vegetação em classes, de acordo com as suas características.

Com o auxílio das bandas 2, 3, 4 e 8, responsáveis pela informação espectral referente ao comprimento de ondas da faixa do visível ao infravermelho próximo, do inglês *Near Infrared* (NIR). Na Figura 6 pode-se observar a relação entre o comprimento de ondas e informações espectroscópicas.

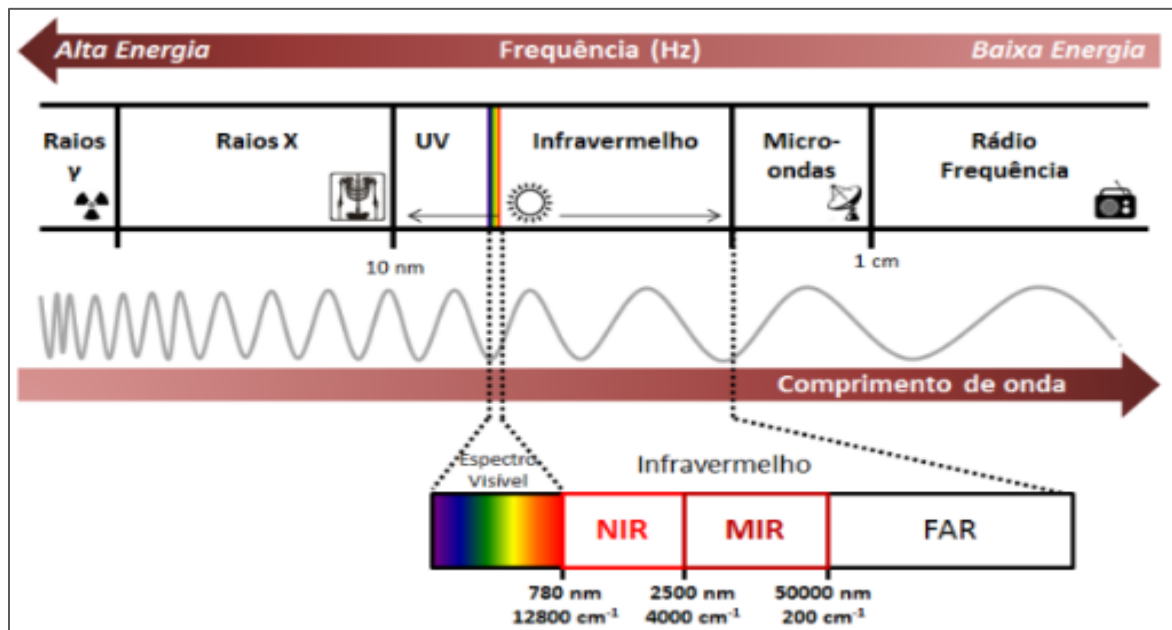


Figura 6 - Espectro eletromagnético com destaque para a região do visível ao infravermelho.

Fonte: Eskildsen (2016).

O procedimento de classificação utilizado para identificar as classes de uso e ocupação do solo foi a *Classificação Supervisionada*, baseado na análise quantitativa de dados de imagens de sensoriamento remoto. Este procedimento utiliza algoritmos para identificar pixels de uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre. A resolução espacial base para este procedimento foi de 10 metros, sendo que para auxiliar o processo de treinamento algoritmo recorreu-se ao auxílio da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal atualizada para o ano de 2022

pelo Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) e também por imagens com menor resolução espacial.

Para os fins almejados neste trabalho, as formações vegetais foram classificadas de forma genérica, uma vez que faz mais sentido analisar o comportamento de grupos, como folhosas, resinosas e matorrais, do que ter uma análise específica para cada espécie, tal estudo específico seria válido em casos onde a escala do mapeamento fosse reduzida. A única exceção foi aplicada no caso das comunidades de eucalipto, a qual por norma seria classificada como parte do grupo das folhosas, entretanto o eucalipto não é uma espécie autóctone do território português, e por apresentar características diferentes em relação às demais folhosas presentes neste caso específico, foi atribuída uma classe específica para os eucaliptais.

A Figura 7 representa a imagem obtida e utilizada como base para a classificação de uso e ocupação do solo. O recurso do infravermelho próximo possibilita um maior contraste entre a vegetação, de forma a auxiliar na diferenciação das tipologias vegetais presentes na área.

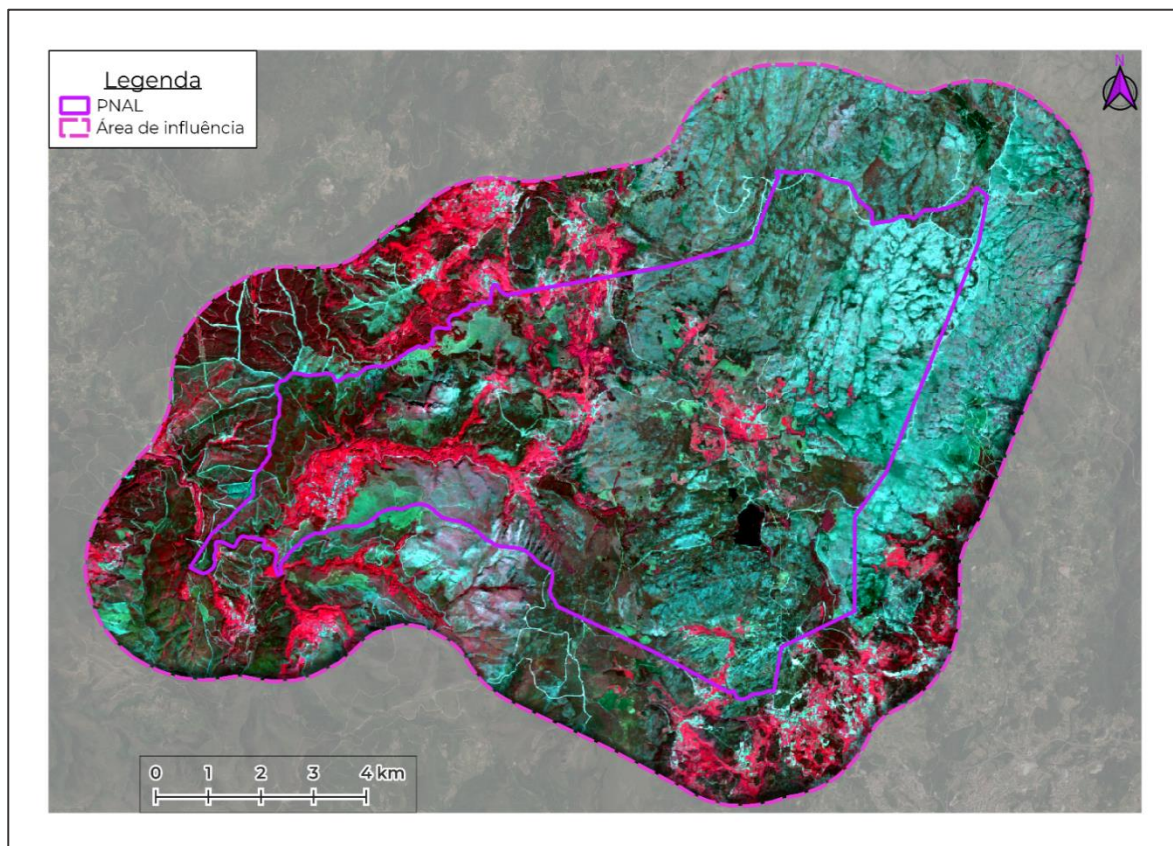


Figura 7 - Mapa obtido através da composição das bandas na faixa do infravermelho próximo para imagem do dia 19/05/2023 do satélite Sentinel-2A.

Na Tabela 3 apresentam-se coeficientes de inflamabilidade de algumas tipologias vegetais encontradas em Portugal (Macedo & Sardinha, 1987).

Tabela 3 – Coeficiente de inflamabilidade de formações vegetais encontradas em Portugal.

Formações vegetais	Coeficientes de inflamabilidade
Pinheiro Bravo	0,6
Resinosas diversas	0,6
Eucalipto	0,4
Folhosas diversas	0,1
Matorral	0,8

Fonte: Adaptando de *Macedo & Sardinha* (1987).

As formações vegetais foram distribuídas em classes, sugeridas por Oliveira (2002), que representam os níveis de risco nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo (Tabela 4). Para cada classe foi atribuído um coeficiente de 0 a 5, que traduz o nível de risco e será utilizado posteriormente como base para as operações algébricas.

Tabela 4 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a cobertura vegetal.

Cobertura Vegetal	Risco	Classes
Sem vegetação	Nulo	0
Folhosas	Baixo	1
Agricultura	Moderado	2
Eucalipto	Alto	3
Resinosas	Muito Alto	4
Matorrais	Extremo	5

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

4.3.3. Material Combustível

Para a classificação do material combustível presente na área de estudo, a base utilizada foi a classificação de uso do solo, onde após serem identificadas as comunidades vegetais, estas foram reclassificadas de acordo com a quantidade de material combustível presente em seus domínios. Para tal, foi necessário buscar na literatura informações sobre inventariamento de biomassa e combustível fino nas diferentes formações vegetais abrangidas pela área de estudo. Observa-se na Tabela 5 o risco e respetivas classes para a variável material combustível.

Tabela 5 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a carga de material combustível.

Material combustível	Risco	Classes
Construções, estradas e aceiros.	Nulo	0
Solo Exposto	Baixo	1
Até 9 t ha ⁻¹	Moderado	2
10 a 19 t ha ⁻¹	Alto	3
20 a 29 t ha ⁻¹	Muito Alto	4
30 a 40 t ha ⁻¹	Extremo	5

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

Os valores de referência para a definição dos graus de risco e respectivos coeficientes serão atribuídos de acordo com a classificação do uso e ocupação do solo, que será previamente estabelecida através de geoferramentas. Posteriormente, tais fatores serão inseridos em tabela alfa numérica e calculados através de operações algébricas.

4.3.4. Relevô

Para a determinação do declive e orientação das encostas foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT), disponível de forma aberta pelo Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR) através do Grupo de monitoramento e gestão costeira, onde as características de interesse serão previamente classificadas de acordo com os dados apresentados nas tabelas de risco. Portanto, foram atribuídas as classes de risco nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo, com seus respectivos coeficientes para posterior realização das operações algébricas (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o declive do terreno.

Declive (%)	Risco	Classes
0 – 5	Nulo	0
5 – 15	Baixo	1
15 – 25	Moderado	2
25 – 35	Alto	3
35 - 45	Muito Alto	4
> = 45	Extremo	5

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

Na Tabela 7 é apresentada a classificação da orientação das encostas de acordo com as características previamente comentadas.

Tabela 7 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a orientação das encostas.

Ângulo de orientação	Exposição	Risco	Classes
337,5° a 22,5°	N	Nulo	0
292,5° a 337,5° e 22,5° a 67,5°	NW / NE	Baixo	1
67,5° a 112,5°	E	Moderado	2
247,5° a 292,5°	W	Alto	3
112,5° a 157,5° e 202,5° a 247,5°	SE / SW	Muito Alto	4
157,5° a 202,5°	S	Extremo	5

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

4.3.5. Ventos predominantes

Os registros meteorológicos foram obtidos a partir da estação meteorológica de Lamas de Olo (05K/03UG), operada pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e situada na aldeia de Lamas de Olo, que por sua vez está inserida na área do PNAL.

Para fins de análise, foram consideradas medições com intervalo de 1 hora para os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro em uma série que engloba os anos de 2016 até 2022, totalizando um total de 23 680 registros (Tabela 8).

Tabela 8 - Série de observações registradas para a direção dos ventos entre 2016 a 2022 na Estação Meteorológica de Lamas de Olo, Vila Real.

Direção	Maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro
N 337,5° - 22,5°	379	470	393	357	302	258
NE 22,5° - 67,5°	708	790	837	871	784	636
E 67,5° - 112,5°	603	504	564	541	693	529
SE 112,5° - 157,5°	533	277	360	304	438	493
S 157,5° - 202,5°	412	298	271	240	303	329
SW 202,5° - 247,5°	565	474	352	359	444	450
W 247,5° - 292,5°	765	702	501	587	563	629
NW 292,5° - 337,5°	499	606	442	461	408	396
Total	4464	4121	3720	3720	3935	3720

Para determinar a direção predominante dos ventos, foi utilizada a metodologia proposta por Munhoz e Garcia (2008), através de uma análise de frequência das observações dos últimos seis anos. Os dados foram obtidos através da Equação 1.

$$f(x) = \frac{n}{N} * 100 \quad (1)$$

Onde: f(x) – Frequência de ocorrência de vento em uma determinada direção; n – Número de ocorrências em uma determinada direção e N – Número total de observações.

Então de posse das análises das características dos ventos predominantes na localidade, será feita uma classificação a partir do mapa contendo a orientação das encostas, identificando os locais que estes ventos irão incidir com menor frequência e se apresentam características úmidas ou secas.

Na Tabela 10 observa-se a direção dos ventos, juntamente com a tendência apresentada e as classes de risco.

Tabela 9 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a direção dos ventos.

Direção dos ventos	Tendência apresentada	Classes
N, S	Ventos com menor frequência	0
W, NW, SW	Ventos com características aparentemente mais úmidas	1
E, NE, SE	Ventos com características aparentemente mais secas	2

Fonte: Adaptado de Liz (2014).

4.3.6. Álgebra de mapas

O mapa de risco de incêndio foi elaborado com base na álgebra de mapas, utilizando todas as variáveis previamente citadas (PI). Para a integração dos mapas foi utilizado modelo sugerido por Oliveira (2002) e Liz (2014), onde 50% do valor referência para o estudo provém da variável humana e os outros 50% são baseados na vulnerabilidade do ambiente. Tal vulnerabilidade foi obtida através das características da vegetação, relevo e ventos predominantes.

Os parâmetros considerados foram integrados através de uma soma ponderada, na qual foram utilizados coeficientes de ponderação propostos por Oliveira (2002), a partir de uma análise de correlação realizada entre as variáveis propostas e áreas de ocorrência de incêndios no município de Três Barras, localizado no estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil, conforme exposto na Equação 2.

$$RIF = 1,70 * PH + (0,61 * VP + 0,56 * MC + 0,29 * D\% + 0,13 * CV + 0,11 * OE) \quad (2)$$

Onde: RIF - valor resultante do somatório correspondente ao risco de incêndio florestal em cada unidade de análise; PH - Plano de informação (PI) correspondente à variável presença humana; VP - PI correspondente às variáveis ventos predominantes; MC - PI correspondente à variável material combustível; D% - PI correspondente à variável declive; CV - PI correspondente à variável cobertura vegetal e OE - PI correspondente à variável orientação das encostas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Uso e ocupação do solo

Através da classificação supervisionada do uso e ocupação do solo na área de estudo (Figura 8), foi possível constatar uma forte presença de matos e vegetação herbácea espontânea, sendo a junção destas duas tipologias vegetais responsável por uma ocupação superior a 50% do território, tanto na área do PNAL quanto na área de influência do PNAL.

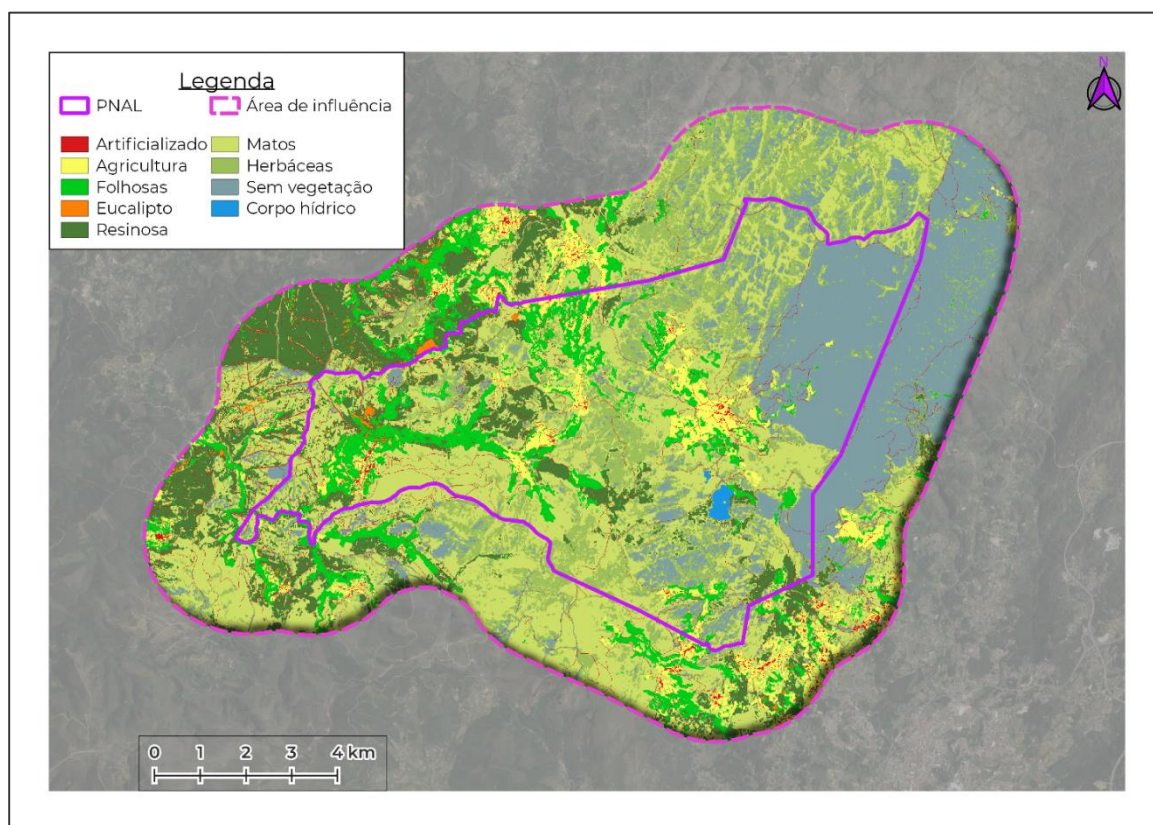


Figura 8 - Ocupação do solo obtida através de classificação supervisionada.

A distribuição das espécies florestais dentro (área do PNAL) e fora da área protegida (área de influência do PNAL) apresenta diferenças que devem ser destacadas. No interior do Parque, a presença de espécies folhosas ocupa 9% da área enquanto as espécies resinosas ocupam 6,4%, tal distribuição inverte-se na área de influência do PNAL, onde é possível observar 7,3% de folhosas ao passo que a ocupação por espécies resinosas sobe para 15,3%. Tal distribuição pode estar interligada com o facto do Parque ser atravessado por uma relevante quantidade de linhas de água, sendo estas protegidas por uma vasta galeria ripícola, principalmente nas zonas de menor altitude.

As áreas agrícolas representam cerca de 4,5% de ambas as áreas (área do PNAL e área de influência do PNAL), da mesma forma que as áreas sem vegetação se equivalem, ocupando aproximadamente 19%, as superfícies artificializadas e corpos hídricos ocupam uma área inferior a 1% da totalidade.

Na Figura 9 é possível comparar quantitativamente as diversas classes de ocupação apresentadas para a área do PNAL, sendo possível perceber uma marcada dominância das classes matos, vegetação herbácea e sem vegetação.

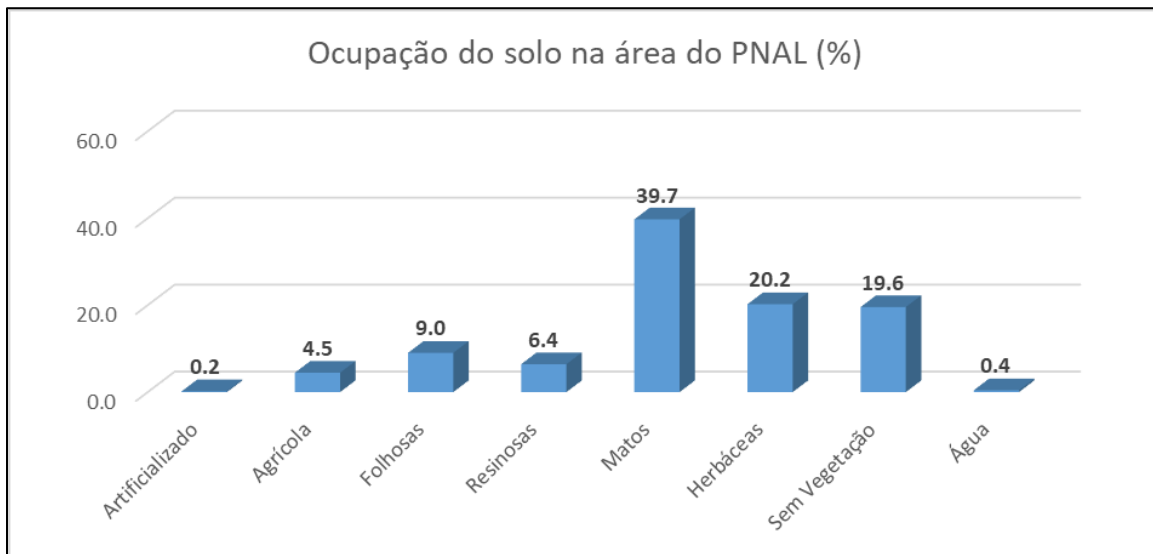


Figura 9 - Distribuição do uso e ocupação do solo na área do PNAL.

Na área de influência do PNAL, a tendência é muito parecida com a que é observada na área do PNAL, sendo que a formação que mais se destaca é a representada pelas resinosas, que apresenta um valor cerca de duas vezes superior ao da classe das folhosas. As demais classes de ocupação seguem padrão semelhante ao da área do PNAL, apresentando pequenas variações, como uma sensível redução nas classes de folhosas, herbáceas e sem vegetação e um acréscimo de 8,9% na classe representada pelos povoamentos de floresta de resinosas.

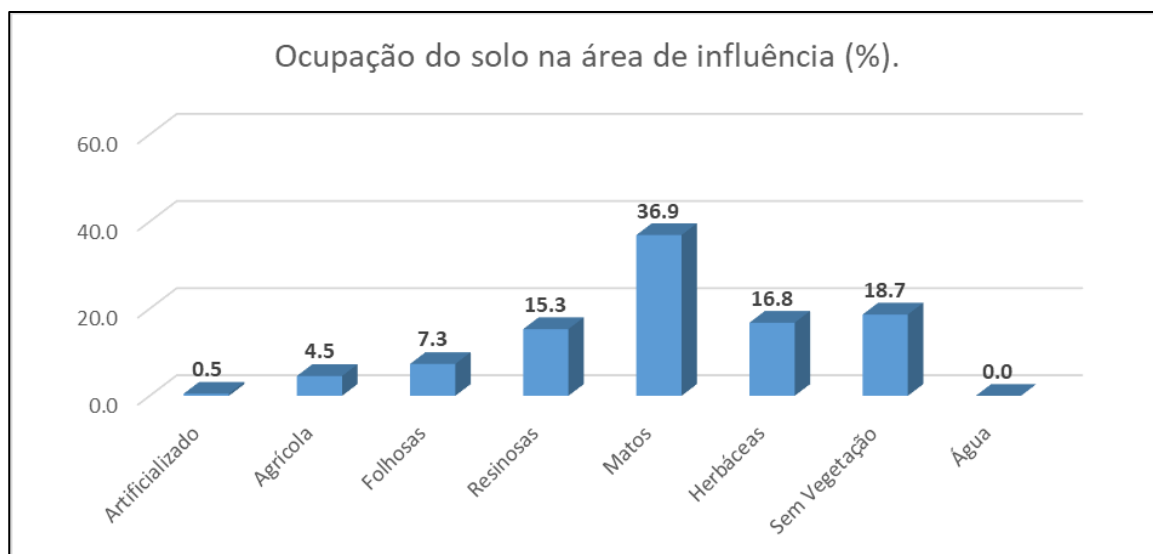


Figura 10 - Distribuição do uso e ocupação do solo na área de influência do PNAL.

5.2. Presença Humana

A componente humana do estudo é caracterizada pela influência ou não de atividades antrópicas no local, sendo a mesma definida a partir de critérios pré-estabelecidos. Esta influência é transcrita como o principal fator de ameaça (foi-lhe atribuído um fator de ponderação de 50%) (Oliveira 2002; Liz, 2014) que, combinada com fatores físicos e de coberto vegetal irão posteriormente permitir a identificação das áreas de maior risco de ignição de incêndios florestais (Oliveira 2002). Na Tabela 10 pode-se observar um equilíbrio entre as duas classes de influência humana (com e sem influência humana), existindo uma pequena tendência de aumento para as áreas sem influência humana direta.

Na Tabela 10 é apresentado o valor em hectares para a área total de estudo (área do PNAL e área de influência do PNAL), com ou sem influência humana.

Tabela 10 - Classificação de risco de incêndio florestal de acordo com a presença humana na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Valor	Área (ha)	%
0	Sem influência humana	9635,6	56,1
1	Com influência humana	7535,1	43,9

Tal padrão de influência pode ser explicado, em parte, pelas comunidades locais situadas na área de estudo, sendo que na área do PNAL estão situadas, de acordo com o Plano de Ordenamento do PNAL (2005), 10 comunidades, que por sua vez têm como principal atividade econômica a agricultura. Além das comunidades locais, o PNAL também é caracterizado pela presença de visitantes externos, que transitam pela densa rede de caminhos e trilhos com a intenção de estarem mais próximos da natureza e de desfrutarem da beleza paisagística (Plano de Ordenamento do PNAL, 2005).

O mapa representado na Figura 11 permite observar a distribuição espacial da componente de influência humana na área de estudo (área do PNAL e área de influência do PNAL).

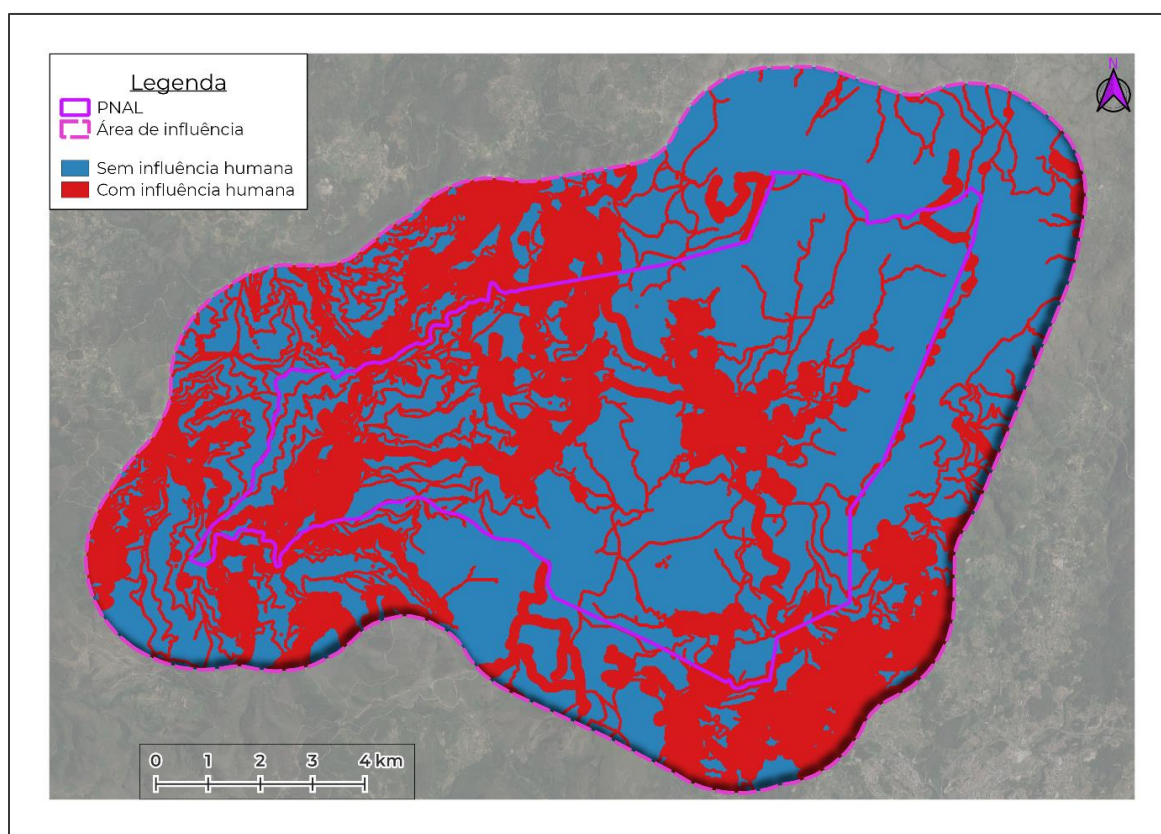


Figura 11 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido à presença humana na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Pode-se constatar uma grande presença de áreas sob influência humana dentro da área do PNAL, principalmente nas porções central e ocidental, enquanto na área de influência do PNAL, é possível constatar uma forte presença de atividade humana, com exceção da porção nordeste, onde tal influência é consideravelmente reduzida.

É possível traçar um paralelo entre a presença humana e a classificação de uso do solo, ao examinar ambos os produtos, percebe-se que a influência humana é reduzida nas áreas ocupadas por matos e vegetação herbácea. O motivo desta interação pode ser atribuído ao facto destas áreas possuírem valor de interesse reduzido, por exemplo afloramentos rochosos e solos poucos profundos.

5.3. Cobertura Vegetal

De acordo com Macedo & Sardinha (1987) e Tavares et al. (2013), os povoamentos de pinheiro apresentam um elevado risco de incêndio, quando comparados com outras espécies, facto este que se explica pelas altas taxas de inflamabilidade da resina, das agulhas e, também devido ao elevado acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo. Em relação às plantações de eucalipto, estas geralmente apresentam faixas contínuas de ocupação, tal padrão aliado ao facto de a espécie apresentar elevado índice de inflamabilidade, relacionado com o alto nível de óleos presentes principalmente nas folhas, tornam este tipo de povoamentos bastante susceptíveis à propagação dos incêndios (Silva, 2007; Catry et al., 2007; Tavares et al., 2013). Por sua vez, os matorrais apresentam um coeficiente de inflamabilidade de 0,8 (Macedo & Sardinha, 1987), o que lhe confere um risco extremo de incêndio.

Após realizada a classificação de uso e ocupação do solo para a área de estudo (área do PNAL e área de influência do PNAL) e posterior agrupamento dos resultados em categorias de tipo de coberto vegetal, obteve-se a informação apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o tipo de coberto vegetal.

Classe	Risco	Tipo de coberto vegetal	Área (ha)	%
0	Nulo	Sem vegetação	3585,1	20,9
1	Baixo	Folhosas	1500,2	8,7
2	Moderado	Agricultura	848,0	4,9
3	Alto	Eucalipto	54,2	0,3
4	Muito Alto	Resinosas	2096,6	12,2
5	Extremo	Matorrais (+herbáceas)	9086,9	52,9

Constata-se uma clara dominância dos matos, a classe que representa maior risco de incêndio (classe 5), representando um valor de 52,9% de ocupação do solo na área de estudo (Tabela 11). Por outro lado, a classe 3, representada apenas por eucalipto, constitui a menor representatividade entre todas as tipologias vegetais, sendo responsável pela cobertura de 0,3% da área analisada.

A Figura 12 mostra a distribuição espacial das formações vegetais presentes, já agrupadas de acordo com a respectiva classe de risco.

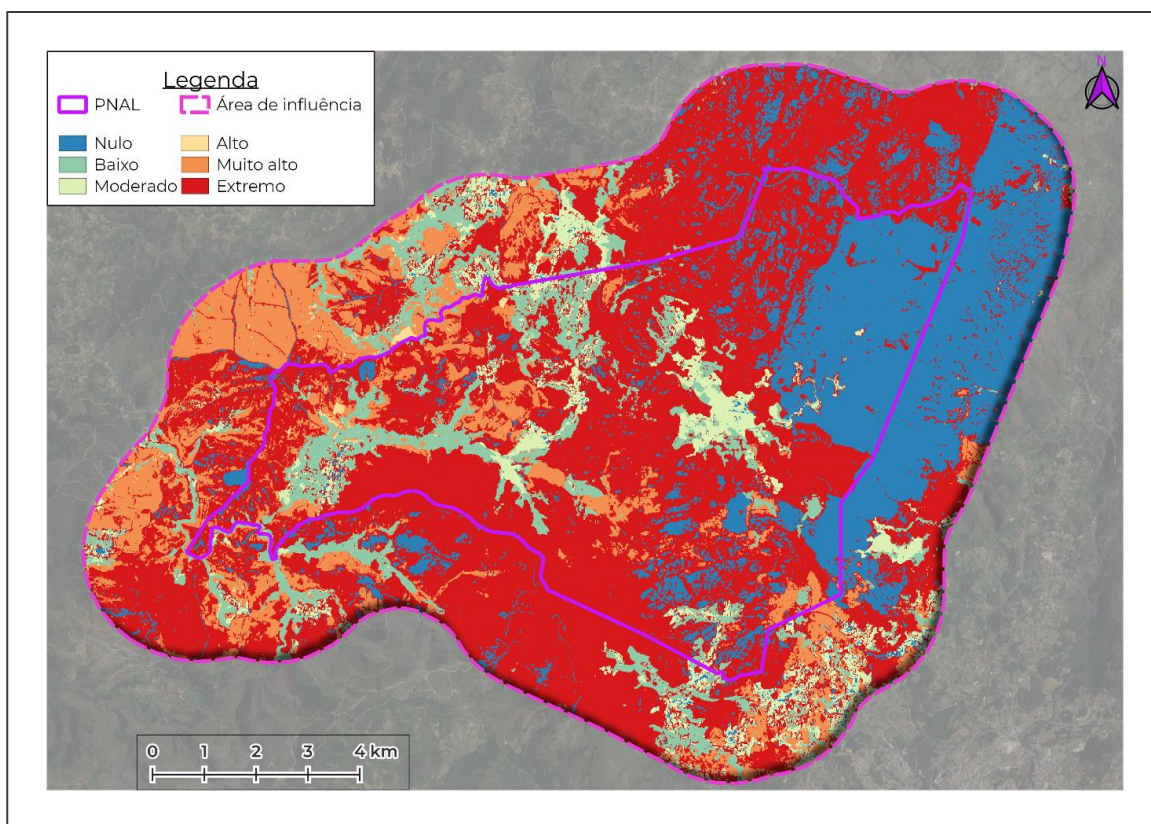


Figura 12 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido à cobertura vegetal na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Com base na Figura 12, pode-se observar a ampla distribuição da classe classificada com risco extremo, representada pela presença de vegetação arbustiva e herbácea, estendendo-se pela parte central de norte a sul, e tendo ainda presença considerável a sudoeste.

A norte, sul e sudoeste da área de influência do PNAL, observam-se grandes manchas contínuas da classe de risco muito alto (resinosas), enquanto na zona oposta, a sudeste, nota-se a presença de aglomerados relativamente menores e descontínuos, sendo alternados principalmente com coberturas vegetais de risco moderado e baixo (agricultura e folhosas, respetivamente).

Ainda é perceptível que quase a totalidade das áreas sem nenhum tipo de vegetação, representada pela classe de risco nulo, encontra-se na porção leste da área de estudo, aparecendo pequenas manchas distribuídas pela restante área.

5.4. Material combustível

De acordo com o relatório de amostragem e inventário de combustíveis, publicado pela Universidade de Trás os Montes e Alto Douro (Lopes & Fernandes, 2023), por convenção, a carga combustível total de uma tipologia vegetal é calculada através da soma dos componentes finos, inferiores a 6 mm de diâmetro, juntamente com os resíduos presentes no solo. Desta forma, a biomassa viva e de classe de diâmetro superior a 6 mm, não faz parte dos cálculos por não contribuir significativamente para a frente de fogo.

Conforme descrito por Fernandes & Guedes (2011), a carga de combustível fino para espécies folhosas caducifólias, caso de alguns carvalhos e castanheiros, pode chegar até 20 t ha⁻¹, enquanto os valores para eucalipto alcançam um máximo de 17 t ha⁻¹, por sua vez as matas de resinosas chegam a apresentar um valor aproximado de 26 t ha⁻¹. Fernandes et al. (2002), através de avaliação indireta sobre cargas de combustível em pinhal bravo, chegaram à conclusão de que uma mata de *Pinus pinaster*, após cerca de 10 anos de acumulação de material combustível no solo, pode apresentar cargas que superam as 32 t ha⁻¹. Tais valores vão de encontro com a pesquisa realizada por Rosa et al. (2011), onde os autores afirmam que as cargas médias de combustível em pinhal bravo rondam as 28 t ha⁻¹, enquanto o valor médio para eucaliptais se situa nas 16 t ha⁻¹.

Em relação aos matorrais, Fernandes (1997) aponta que a vegetação arbustiva da zona onde está inserido o PNAL, é composta pela associação *Ulici minoris-Ericetum umbellatae*, a qual é caracterizada por uma dominância de *Erica umbellata*, *Chamaespartium tridentatum* e *Halimium allysoides*, com relevante presença de *Calluna vulgaris*, *Ulex minor* e *Pteridium aquilinum*. Fernandes et al. (2002), indica que um matorral dominado por *Ulex minor* e *Chamaespartium tridentatum*, com idade média de 11 anos, pode apresentar um acúmulo de carga combustível de aproximadamente 18 t ha⁻¹, somente em material combustível fino.

De acordo com Freire et al. (2002), as áreas agrícolas, quando bem manejadas, não apresentam grandes cargas de material combustível, partindo de tal pressuposto as respetivas áreas serão classificadas de acordo com a menor quantificação de material combustível, sendo esta a classe referente a cargas de até 9 t ha⁻¹.

Na Tabela 12 é possível observar a distribuição das áreas em classes de acordo com o risco referente ao material combustível.

Tabela 12 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o material combustível presente na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Risco	Material combustível	Área (ha)	%
0	Nulo	Construções, estradas e aceiros	496,7	2,9
1	Baixo	Sem Vegetação	3446,4	20,1
2	Moderado	Até 9 t ha ⁻¹	809,6	4,7
3	Alto	10 a 19 t ha ⁻¹	8926,3	52,0
4	Muito Alto	20 a 29 t ha ⁻¹	1621,9	9,4
5	Extremo	30 a 40 t ha ⁻¹	1870,1	10,9

Grande parte da área de estudo foi classificada como zonas onde a vegetação pode alcançar níveis de material combustível que vai de 10 a 19 t ha⁻¹ (classe 3,52% da área), intervalo representado por vegetação arbustiva e herbácea, também contribui para este valor as plantações de eucalipto, mesmo que a dimensão da área de ocupação seja reduzida. Por outro lado, as zonas de construções, estradas e aceiros, representam apenas 2,9% da área de estudo, portando as áreas classificadas com risco nulo (classe 0) não ultrapassam os 500 hectares.

As áreas onde não ocorre a presença de vegetação de forma significativa, estendem-se por 20% da área em análise, representando uma parcela significativa da área do PNAL (Figura 13). Esta classe de risco baixo (classe 1) cobre uma área de aproximadamente 3 450 hectares. As áreas onde existe uma carga combustível de até 9 t ha⁻¹ (classe 2, risco moderado), representam menos de 5% de ocupação da área de estudo, sendo esta classe dispersa por uma área de aproximadamente 810 hectares.

Regiões onde predominam as espécies folhosas, representadas pela classe de risco muito alto (classe 4, 9,4% da área), podem ocupar a faixa de carga combustível que vai de 20 a 29 t ha⁻¹, sendo responsáveis pela cobertura de aproximadamente 1620 hectares. Por fim, as áreas de risco extremo são compostas por povoamentos de *Pinus pinaster*, sendo esta classe responsável por uma representatividade de pouco menos de 11% da área total, ou seja, abrange uma área de cerca de 1 870 hectares.

A Figura 13 exibe a distribuição espacial da classificação de risco de incêndio de acordo com as quantidades de material combustível presentes no território em análise.

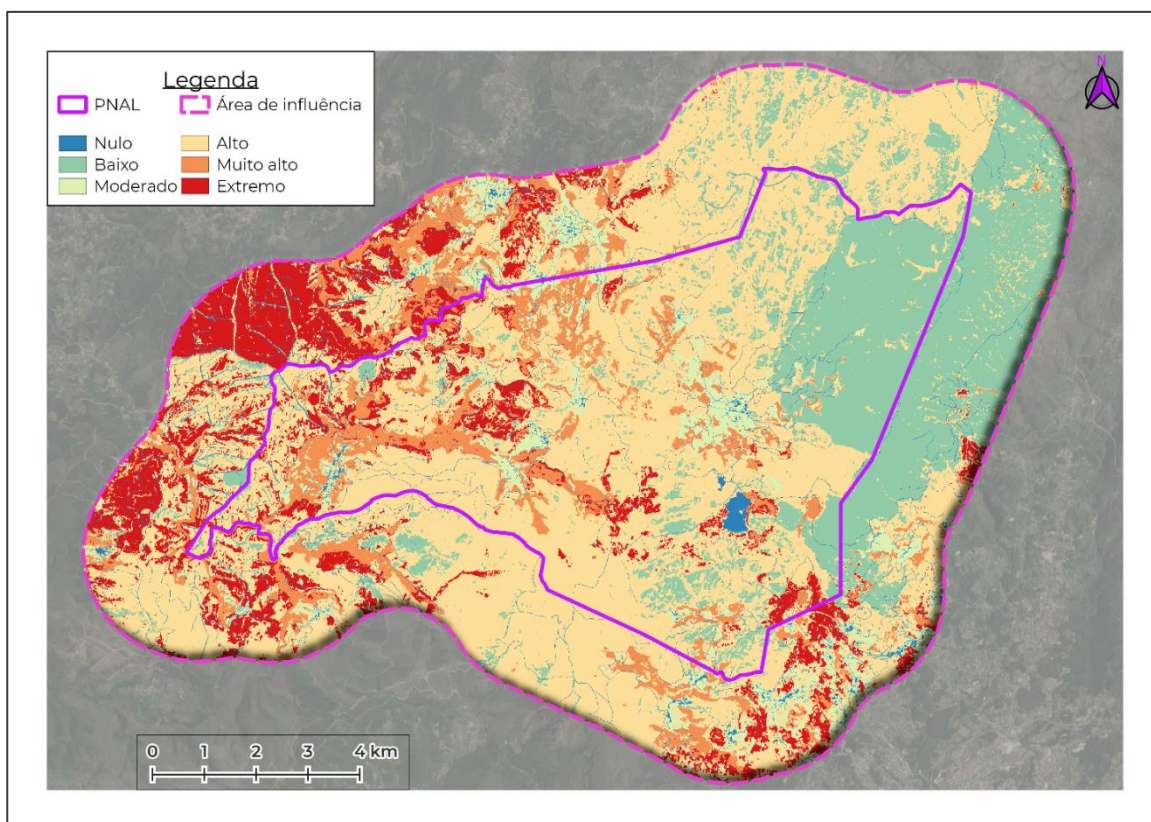


Figura 13 - Plano de informação espacial referente ao risco de incêndio florestal devido ao material combustível na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Fica visível através da Figura 13 que a distribuição espacial das áreas da classe de risco extremo (classe 5), composta por comunidades de *Pinus pinaster*, fica inserida principalmente na área de influência do PNAL.

Na área do PNAL, nota-se a dominância da classe de risco alta (classe 3), estando esta dispersa por toda a extensão do Parque, entretanto é na porção central onde a classe se destaca, ocupando uma grande zona contínua. A classe 3 somente é descontinuada por conta de uma grande mancha da classe 0, sem vegetação, localizada na borda nordeste da área do PNAL e nas zonas dos vales, onde existe um relevo mais encaixado e a vegetação é composta predominantemente por espécies folhosas. As espécies folhosas apresentam uma proporção de material combustível que varia de 20 a 29 t ha⁻¹ (classe 4, risco muito alto), porém por se encontrarem em zonas húmidas funcionam como importante mecanismo de descontinuidade do coberto vegetal.

5.5. Declive

Liz (2014), afirma que a ocorrência e a propagação de incêndios são fortemente influenciadas pelo relevo. A ignição e a propagação do fogo estão diretamente relacionadas com o declive e orientação das encostas, sendo que quanto mais plano for o terreno, mais propenso este estará ao acúmulo de água, da mesma forma que as encostas com orientação a sul possuem temperaturas médias do ar e do solo maiores do que encostas com outras orientações.

Na Figura 14 é possível observar as características do relevo na área de estudo, sendo que a área de maior declive se encontra na porção oeste/sudoeste, onde ficam situadas as Fisgas do Ermelo, neste local específico o declive do terreno pode atingir valores superiores a 45%. À medida que se avança para leste, o declive adquire características mais suaves até atingir os limites orientais do Parque, onde passa a apresentar valores consideráveis novamente principalmente na área de influência do PNAL.

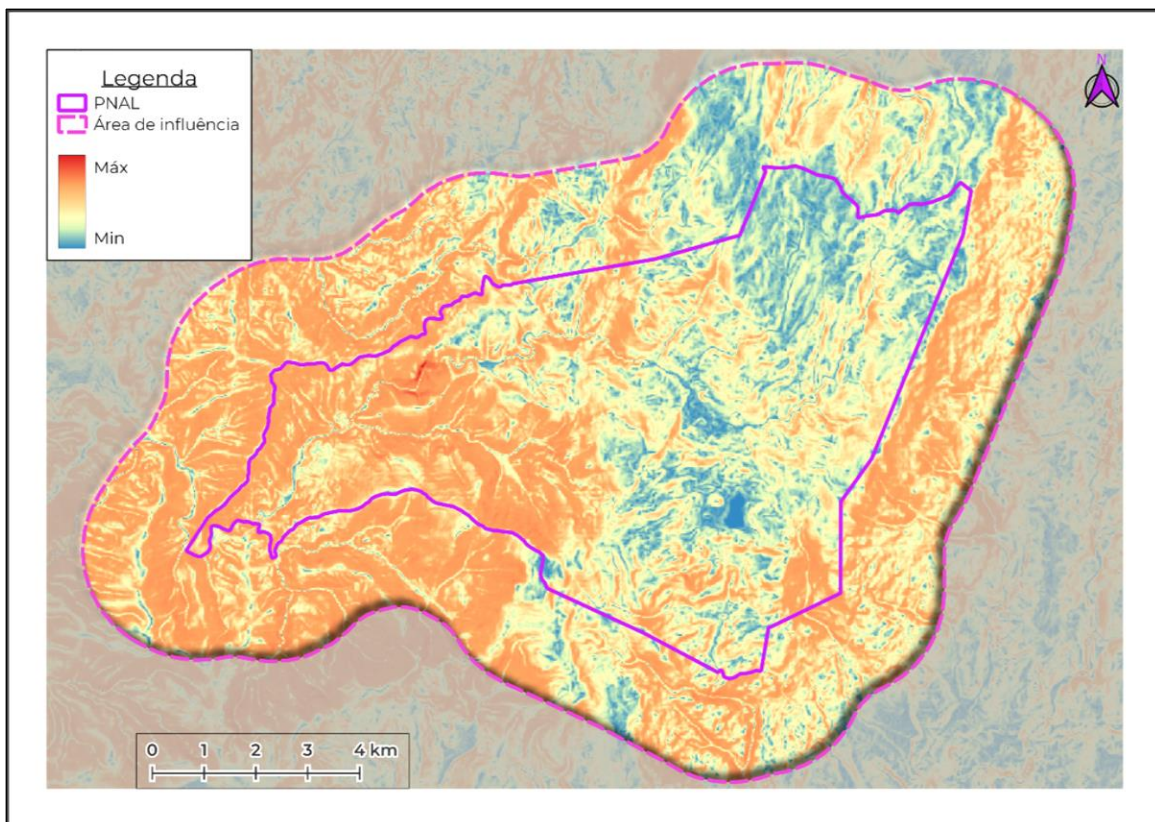


Figura 14 - Distribuição espacial do declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Na Tabela 13 são exibidos os resultados encontrados para a área de estudo em relação ao plano de informação de declive.

Tabela 13 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com o declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Risco	Declive (%)	Área (ha)	%
0	Nulo	0-5	580,1	3,4
1	Baixo	5-15	3514,2	20,5
2	Moderado	15-25	4004,0	23,3
3	Alto	25-35	3530,9	20,6
4	Muito Alto	35-45	2731,1	15,9
5	Extremo	≥ 45	2809,3	16,4

É possível observar uma distribuição similar entre as classes de declive 1 (risco baixo, 20,5% da área), 2 (risco moderado, 23,3% da área) e 3 (risco alto, 20,6% da área), que abrangem declives que vão de 5% a 35% e, globalmente, representam 64,4% da área. Da mesma forma, as classes de declive 4 (risco muito alto, 15,9% da área), onde os declives apresentam intervalo entre 35% a 45% e 5 (risco extremo, 16,4%), cujos declives ultrapassam os 45%, também representam distribuições similares. Por sua vez, a classe 0 (risco nulo) abrange apenas uma área de 3,4%.

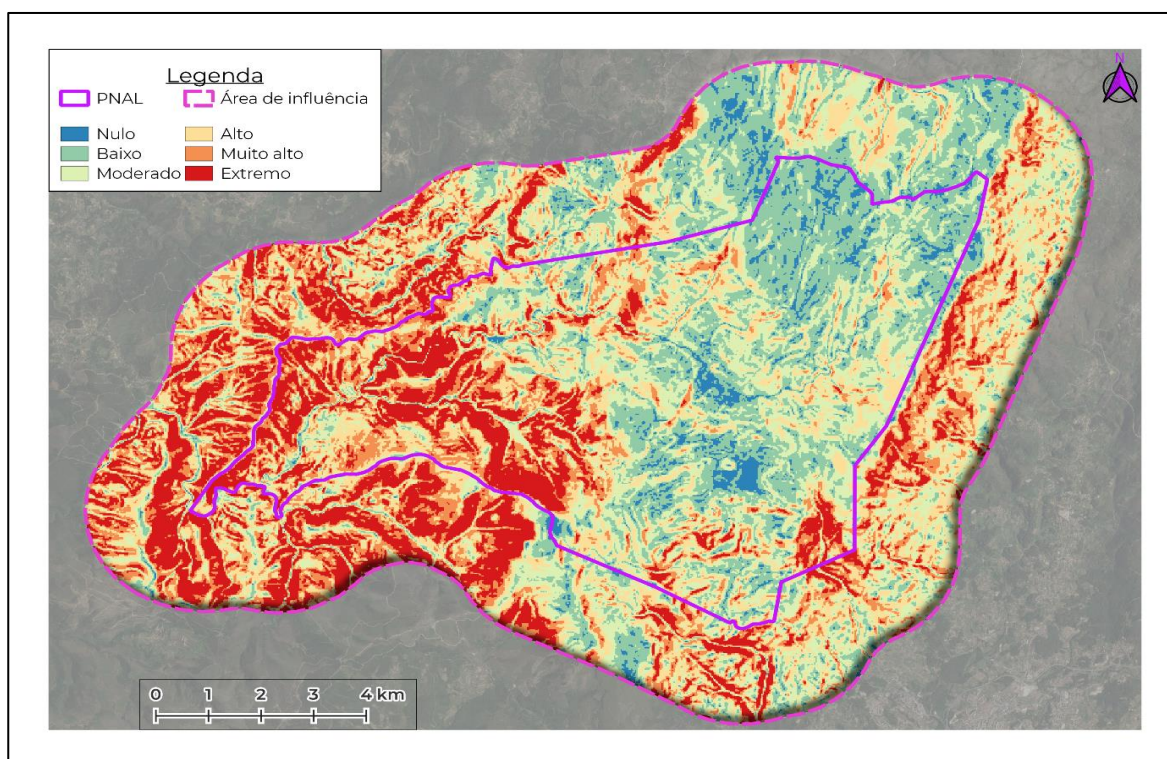


Figura 15 - Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido ao declive na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Observa-se uma forte predominância das classes de maior risco na porção oeste/sudoeste da área de estudo, caracterizada por ser uma zona de relevo muito encaixado, onde se encontram as Fisgas do Ermelo, tal formação consiste em um desnível de aproximadamente 400 metros, formando assim umas das maiores quedas de água da Europa (Oliveira, 2022).

5.6. Orientação das encostas

Oliveira (2022), cita Haurwitz & Austin (1994) e Fuller (1991), para descrever as características relacionadas com a exposição das encostas à radiação solar, sendo que as faces do terreno voltadas a oeste apresentam, por norma, características mais secas e quentes do que faces voltadas a leste, mesmo que a quantidade de radiação solar seja a mesma. Também, no hemisfério norte as encostas expostas a norte recebem menos sol que as expostas a sul, apresentando desta forma uma vegetação com maior teor de humidade, que permanece verde por mais tempo, podendo ser observadas nestes locais espécies menos adaptadas à luz solar (Oliveira, 2022).

A Figura 16 apresenta a distribuição espacial da exposição das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

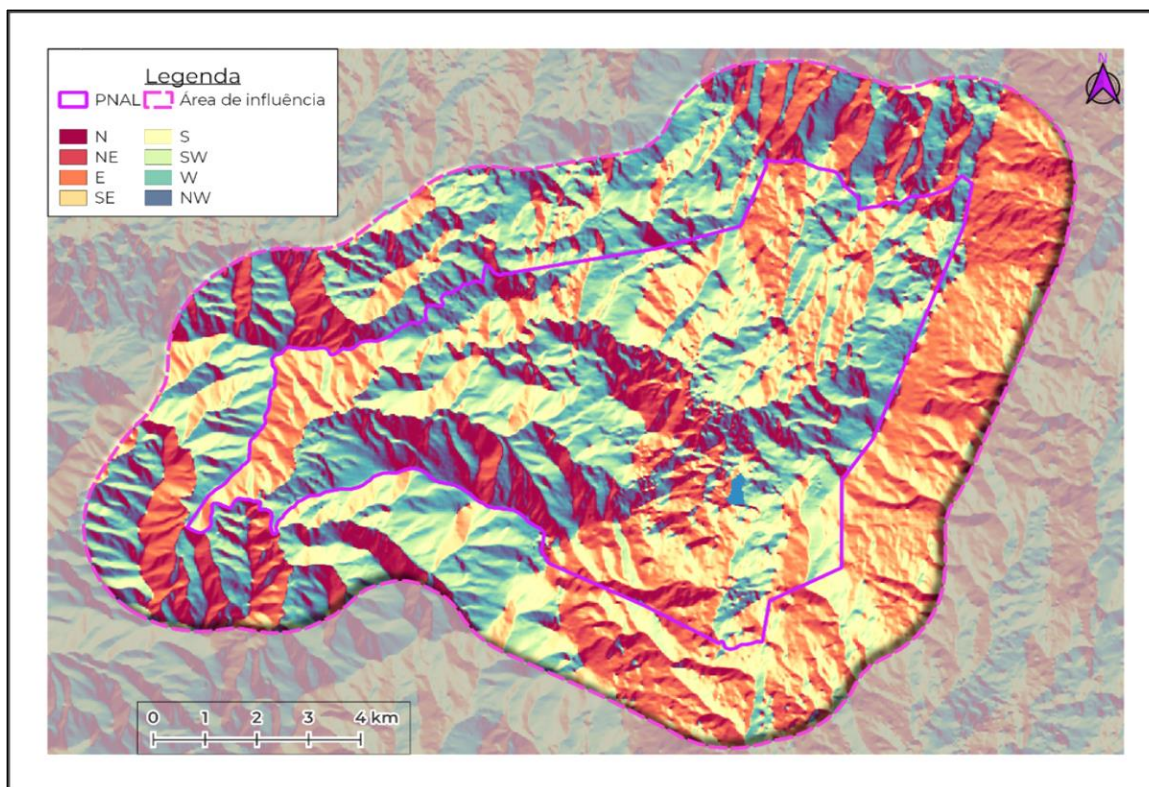


Figura 16 - Distribuição espacial da orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

É possível observar na Figura 16 uma grande faixa de terreno na porção norte orientada a sul, desta forma recebendo grande incidência de radiação solar durante o dia. Por outro lado, existe uma linha na direção leste-oeste na zona central, onde as encostas estão predominantemente expostas a norte, criando assim uma importante descontinuidade no processo de evaporação e aquecimento do terreno e da vegetação.

Na Tabela 14, são apresentados os dados referentes à classificação do terreno em classes de risco de acordo com a orientação das encostas.

Tabela 14 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com a orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Risco	Orientação	Área (ha)	%
0	Nulo	N	1731,1	10,1
1	Baixo	NW / NE	3991,8	23,3
2	Moderado	E	2209,6	12,9
3	Alto	W	2644,4	15,4
4	Muito Alto	SE / SW	4635,2	27,0
5	Extremo	S	1938,7	11,3

Na área de estudo 15,4% da área está incluída na classe 3 (risco alto), 27% na classe 4 (risco muito alto) e 11,3% na classe 5 (risco extremo), totalizando globalmente 53,7% de área classificada com risco alto ou superior. A classe 0 (risco nulo), foi a que apresentou a menor taxa de ocupação representando 10,1% da área.

Na Figura 17 é possível observar a distribuição espacial das classes de risco relativas à exposição das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

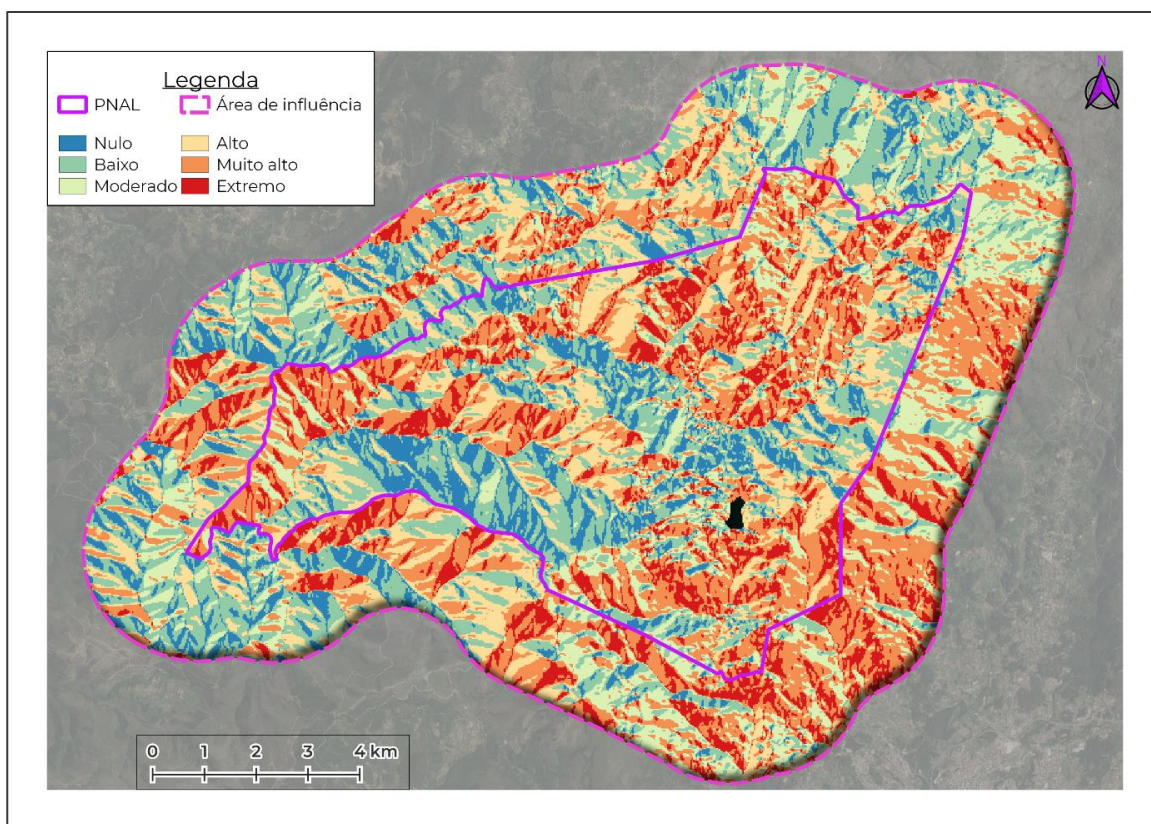


Figura 17: Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido à orientação das encostas na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Como se pode constatar na Figura 17, nas regiões sul, sudeste e leste observa-se uma extensa faixa de áreas classificadas com risco de incêndio alto, muito alto e extremo. Esta faixa percorre uma extensão superior a 15 quilômetros, o mesmo ocorre na parte norte, onde se estende uma faixa na direção leste-oeste com as mesmas características e proporções.

5.7. Ventos predominantes

Após aplicada a Equação 1 aos valores brutos registrados pela estação meteorológica de Lamas de Olo, os dados foram organizados e apresentados em forma de frequência mensal (Tabela 15).

Tabela 15 - Frequência mensal (%) observada para a série de 2016 a 2022 de direção dos ventos.

Direção	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
N	8,5	11,4	10,6	9,6	7,7	6,9
NE	15,9	19,2	22,5	23,4	19,9	17,1
E	13,5	12,2	15,2	14,5	17,6	14,2
SE	11,9	6,7	9,7	8,2	11,1	13,3
S	9,2	7,2	7,3	6,5	7,7	8,8
SW	12,7	11,5	9,5	9,7	11,3	12,1
W	17,1	17,0	13,5	15,8	14,3	16,9
NW	11,2	14,7	11,9	12,4	10,4	10,6

Na Figura 18 pode-se observar a frequência média mensal de direção dos ventos, onde é possível observar uma clara predominância de ventos provenientes das direções NE (19,7%), W (15,8%) e E (14,5%), sendo estas três orientações responsáveis por 50% de todos os registros computados no período analisado. Tais dados históricos para a direção dos ventos vão de encontro com o apurado por Sequeira et al. (2022), onde descrevem os ventos predominantes na região onde o PNAL está inserido como provenientes de NE e W.

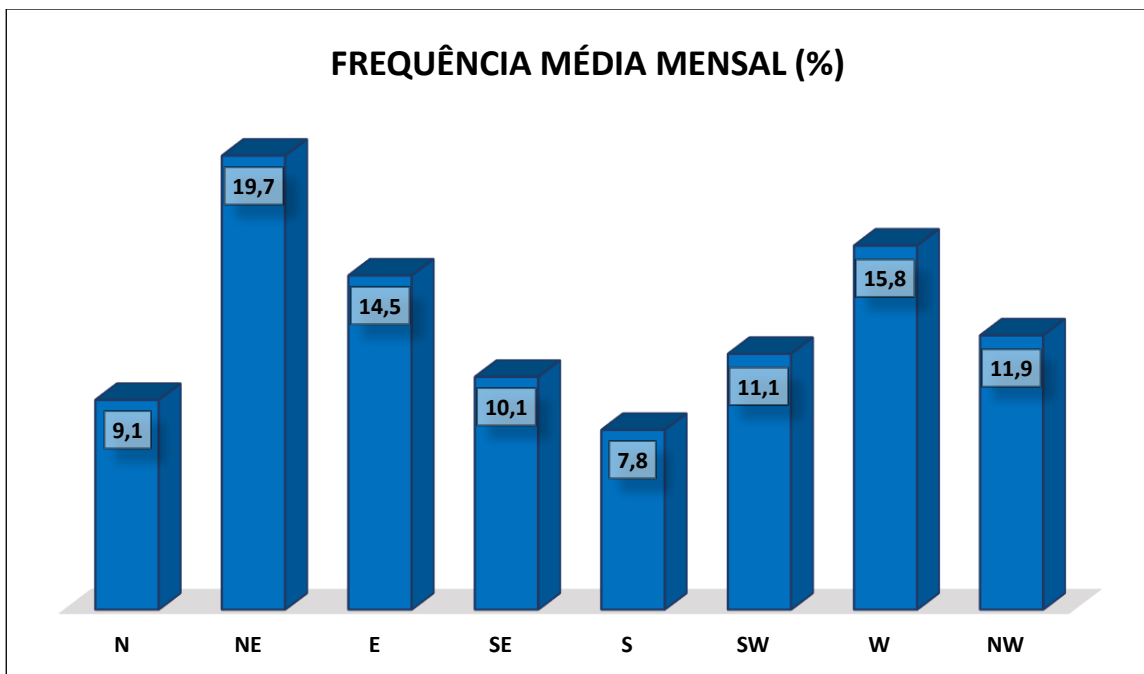


Figura 18 - Frequência média mensal observada para a série de 2016 a 2022 de direção dos ventos.

Oliveira (2002), sugere que seja realizada uma análise relacionando a umidade relativa com a direção dos ventos, para que possa ser estabelecida uma caracterização mais consistente dos ventos predominantes na região. O fogo é favorecido por humidades relativas baixas, que permitem que o combustível seque mais rapidamente, e por temperaturas do ar elevadas, que facultam um aquecimento mais expedito, o que faz com que a temperatura de ignição seja alcançada com menor gasto de energia e maior rapidez (Fernandes, 2007).

Fernandes (2007), ainda refere que usualmente existe um sistema de altas pressões situado a oeste de Portugal, e uma depressão térmica sobre a Península Ibérica, ou seja, uma tendência de ventos com características atlânticas vindos de oeste. Porém, o autor ainda aponta a eventual ocorrência de uma zona de altas pressões a norte da Península, cobrindo uma área que se estende dos Açores até à Europa Central, combinada com o alongamento da zona de baixa pressão Ibérica. Este fenómeno permite o transporte de massas de ar do norte de África para o centro da Ibéria, induzindo ventos com características extremamente secas que incidem em Portugal através dos quadrantes leste.

As direções dos ventos predominantes foram agrupadas em classes de acordo com suas características, sendo estas divididas entre ventos com características secas, ventos com

características húmidas e ventos de menor frequência. Na Tabela 16 é possível observar a dispersão de tais classes na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Tabela 16 - Classificação do risco de incêndio florestal de acordo com os ventos predominantes na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Valor	Área (ha)	%
0	Ventos com menor frequência	3669,8	21,4
1	Ventos com características húmidas	7177,6	41,9
2	Vento com características secas	6303,3	36,8

De acordo com o que foi apresentado na Tabela 16, pode-se constatar que 63,3% de toda a área em análise, está usualmente exposta a ventos com características húmidas ou de menor frequência, restando 36,8% das encostas com suas faces voltadas às direções de onde provém ventos com características mais secas.

Na Figura 19 é possível observar a distribuição espacial das zonas de risco inerentes aos ventos predominantes no local de estudo.

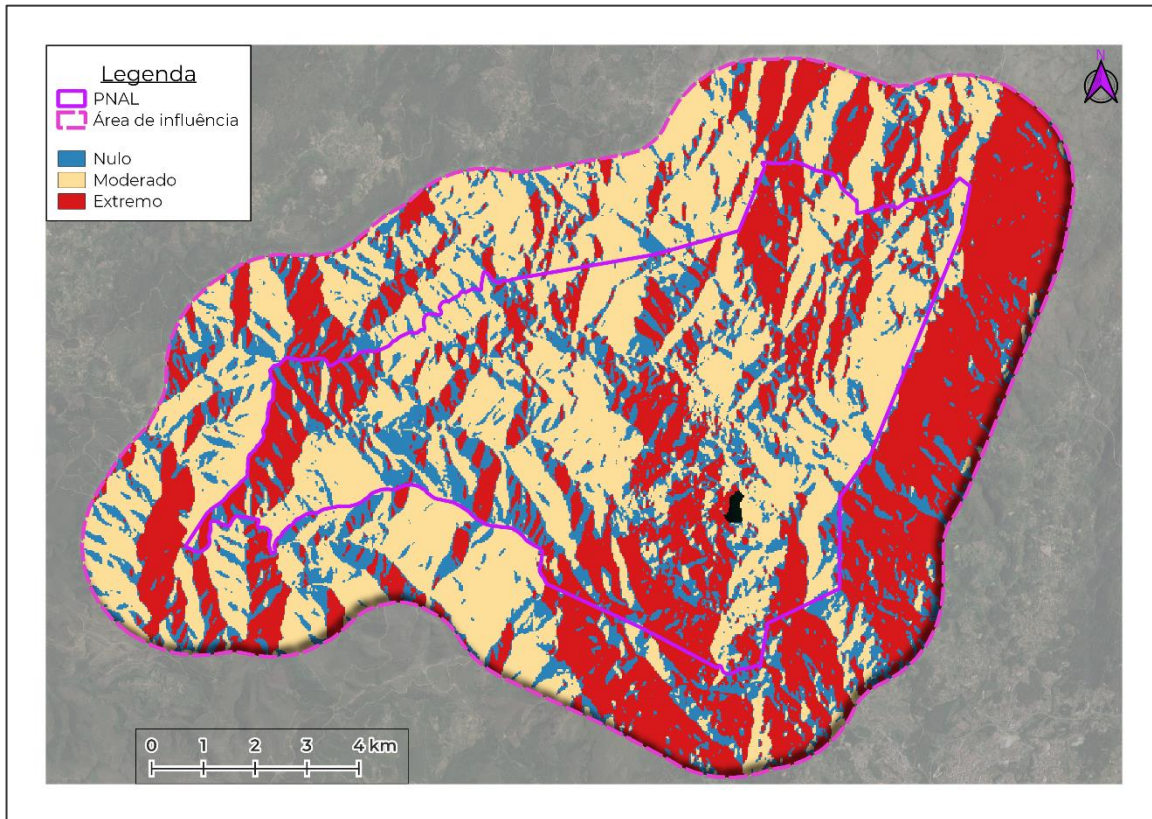


Figura 19 - Plano de informação referente ao risco de incêndio florestal devido aos ventos predominantes na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Através da Figura 19 é possível notar que grande parte das encostas classificadas com risco extremo localizam-se na área de influência do PNAL, a leste e sudeste. Porém, existem algumas zonas na área do PNAL também expostas a estes ventos de característica mais secas, sendo tais zonas observadas nas porções sudeste, nordeste e no extremo oeste, estas últimas localizadas na região próxima das Fisgas do Ermelo.

5.8. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal

Os dados obtidos a partir dos Planos de Informação (PI), apresentados anteriormente, foram inseridos num modelo de ponderação, traduzido pela Equação 2. Este modelo permitiu cruzar os dados de informação existentes em cada pixel dos planos de informação, que representa uma área de 10 m², onde foram cruzados os elementos de risco das variáveis ambientais e de risco da presença humana na área em análise. Porém antes de extrair informações definitivas sobre o resultado, foi realizado um processo de análise da vizinhança no produto da interpolação. Este procedimento é aplicado com o objetivo de reduzir a quantidade de pixels isolados no resultado final, tornando a classificação mais suave e homogênea. Na Figura 20 é apresentada a comparação entre o produto de entrada e o produto de saída com base no estudo de análise de vizinhança.

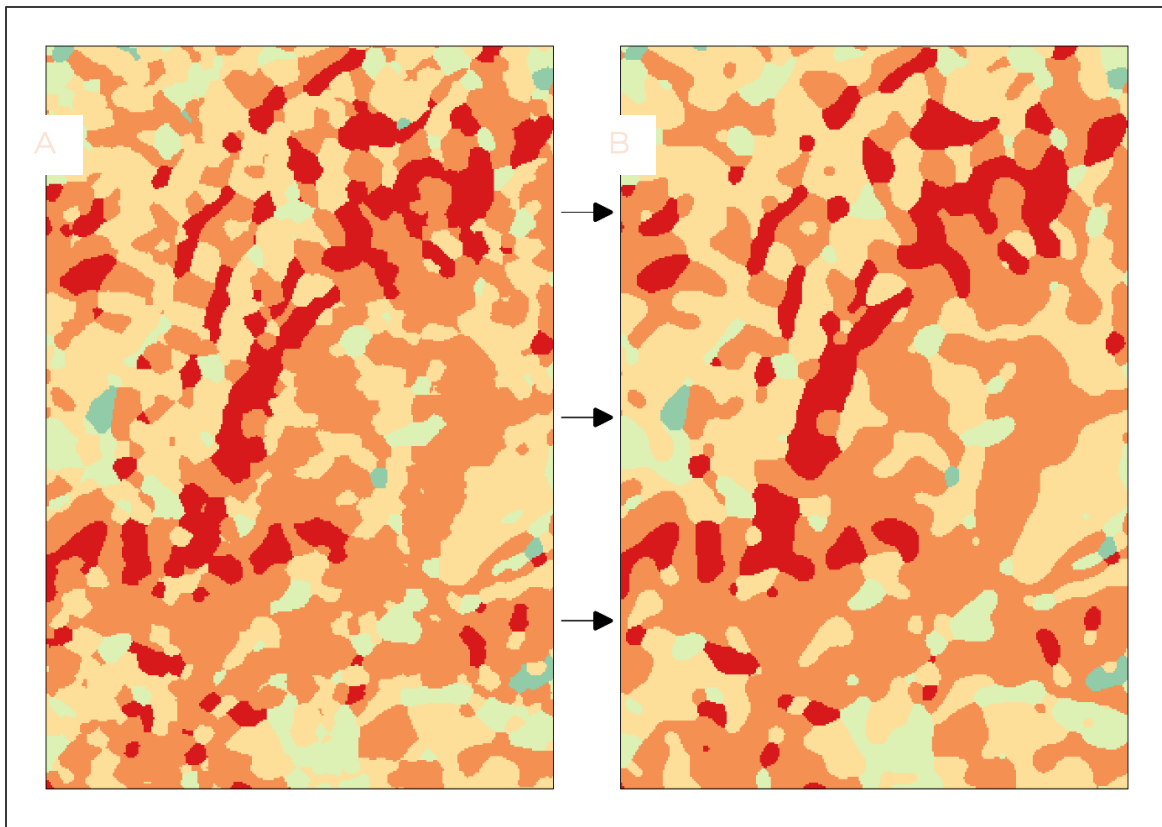


Figura 20 - Comparação do resultado sem análise de vizinhança (A) e com análise de vizinhança (B).

A Tabela 17 mostra os resultados obtidos relativamente ao risco de incêndio na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Tabela 17 - Classificação do risco de incêndio florestal na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Classe	Risco	Área (ha)	%
0	Nulo	76,7	0,4
1	Baixo	1 518,1	8,8
2	Moderado	4 680,6	27,3
3	Alto	5 542,0	32,3
4	Muito alto	4 146,4	24,1
5	Extremo	1 206,8	7,0

A classe de risco nulo foi observada em apenas 0,4% da área, totalizando 76,7 ha, sendo que destes, a maior mancha contínua ocorre na zona da Barragem da Cimeira, localizada na área do PNAL. As classes de risco extremo e baixo também representam uma ocupação relativamente reduzida, sendo responsáveis por 7% (1 206,8 ha) e 8,8% (1 518,1 ha) da área, respetivamente. A classe de risco muito alto, com uma representatividade intermédia, está distribuída por 24,1% da área, representando 4 146 ha. As classes referentes ao nível de risco moderado e alto representam 59,6% de toda a área em análise, sendo que a classe de risco moderado ocupa uma área 5% inferior à área de risco alto, com valores de 27,3% (4 680,6 ha) e 32,3% (5 542 ha), respetivamente.

Na Figura 21, pode-se analisar a distribuição espacial das classes de risco, onde se observa uma clara tendência das áreas com maior risco nas porções oeste, sudoeste e sudeste (particularmente na área de influência do PNAL), tal tendência justifica-se pela combinação de alguns fatores de vulnerabilidade característicos de cada zona, mas o principal elemento que eleva o nível de risco da classificação é a presença humana, sendo esta responsável por 50% da composição do resultado final. Ao coincidir com áreas de alegada sensibilidade para ocorrência de incêndios, a presença humana torna-se um fator de risco que potencializa o risco de ignição de focos de incêndio, o que em zonas que por si só apresentam características susceptíveis para a propagação dos incêndios pode vir a desencadear eventos de consideráveis proporções caso medidas preventivas não sejam tomadas em tempo útil.

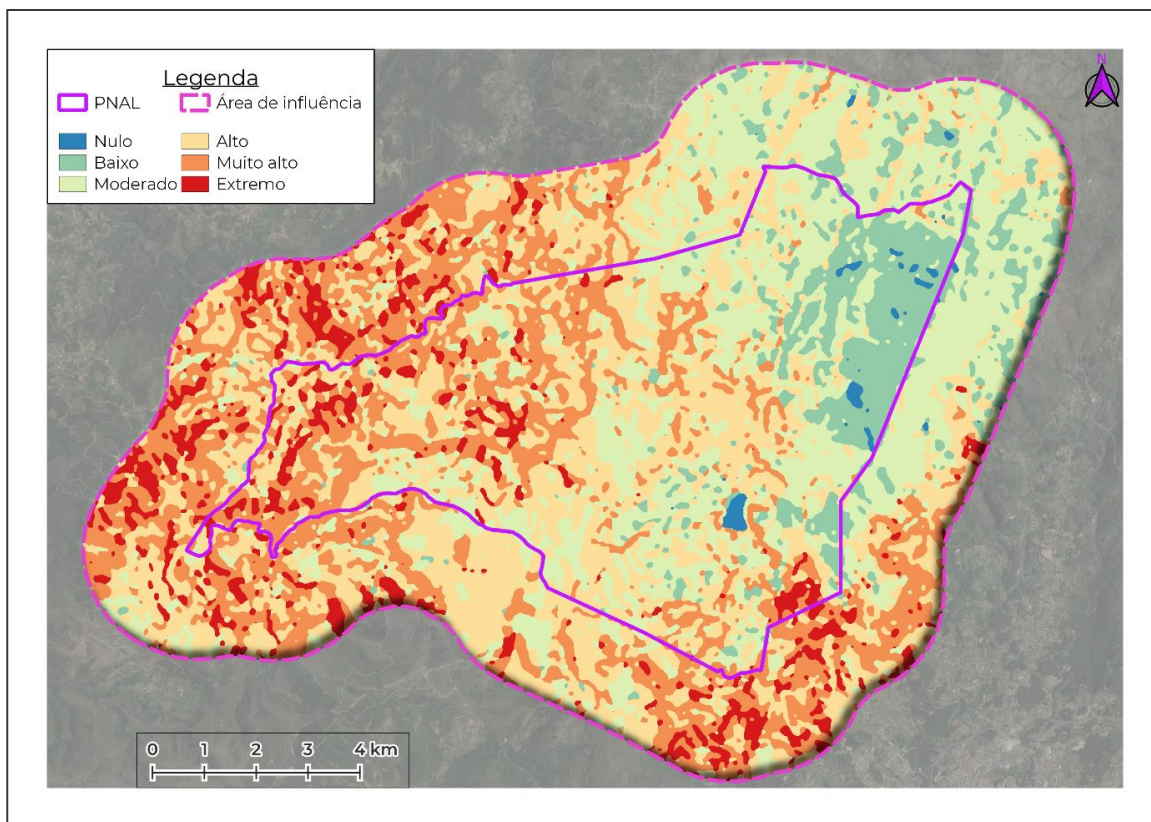


Figura 21 - Mapa de risco de incêndio florestal na área do PNAL e na área de influência do PNAL.

Conforme se avança de oeste para leste da área do PNAL, o nível de risco reduz, o que chama a atenção pelo facto de ser uma zona com significativa presença humana, contudo, a redução do risco nesta área se dá justamente pela oposição às características encontradas nas zonas de risco superior, uma vez que a vegetação apresenta menor carga combustível, o declive é mais suave e as encostas possuem consideráveis porções voltadas a Norte, deixando claro que somente um alto nível de atividade humana não é capaz de elevar o nível de risco de incêndio de uma área.

Por fim, um ponto que destoa do restante da classificação obtida para a área de estudo, é a região nordeste, onde existe uma grande mancha de risco baixo, que extrapola os limites internos do Parque e abrange boa parte da área de influência do PNAL. Tal tendência pode ser atribuída ao incêndio ocorrido na zona entre os dias 21 e 26 de agosto de 2022 que foi deflagrado na freguesia de Samardã e ardeu uma vasta área dentro do PNAL, desta forma reduzindo os níveis de material combustível daquela região, facto que forçou a classificação desta área do estudo para níveis reduzidos.

O presente modelo, como integra as variáveis material combustível e coberto vegetal, pode ser atualizado anualmente considerando as modificações que entretanto podem ocorrer ao nível destes

elementos, por exemplo, na zona nordeste onde ocorreu um incêndio em 2022, o risco de incêndio baixou consideravelmente. Por outro lado, ao considerar a área envolvente do Parque (área de influência do PNAL), o património do Parque vê assim a sua proteção aumentada, pois medidas preventivas tomadas para esta área pode prevenir o alastramento de incêndios em direção à área do PNAL.

É de realçar que também constituía objetivo deste trabalho comparar os resultados obtidos com os que estão em vigor para esta área, mas tal não foi possível. Devido a procedimentos administrativos, o acesso a essa informação exigiu um pedido de autorização, que até à presente data ainda não foi concedido.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos através do Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal do Parque Natural do Alvão, foi possível inferir que:

Portugal coexiste com os incêndios, de forma que o território e o fogo são intrínsecos um ao outro. A defesa do território contra incêndios é uma das situações onde os gestores precisam antever fenómenos alheios ao seu controle para salvaguardar o património natural, a estrutura ecológica e todos os processos que o ambiente sustenta, assim como a integridade, saúde e o bem estar da população.

A interação antrópica é um elemento altamente volátil, tendo potencial para desencadear eventos de proporções catastróficas, mas também para atuar como agente de proteção, ao entender as interações responsáveis por desencadear tais eventos. O elemento fogo, aplicado às características físicas e naturais de determinado local, representa o mais alto nível de interação antrópica com a natureza.

Em geral, o Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal para o Parque Natural do Alvão e área envolvente (área de influência do Parque), mostrou-se uma metodologia muito rica em informação, permitindo avaliar de forma individual os padrões apresentados por diferentes elementos e por fim, através da álgebra de mapas, obter um índice geral com base na interação entre tais elementos, que por sua vez fornece a informação necessária para a definição de zonas e técnicas prioritárias para a mitigação de riscos.

Em comparação ao modelo de mapeamento recomendado atualmente pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, a principal diferença estrutural entre os índices é o modelo utilizado neste trabalho ser mais simples em relação ao modelo oficial, a simplificação é justificada pela não ponderação do “valor económico”, uma vez que este pode ser considerado uma fonte de viés ao estudo, visto que não representa uma característica natural vinculada à área de estudo, sendo este valor atribuído exclusivamente à percepção humana.

A metodologia apresentada é sensível às alterações de uso e ocupação do solo, portanto deve ser revista de tempos em tempos, ou face à eventos que possam alterar a paisagem de determinado local, como foi o caso do incêndio deflagrado em Samardã que veio a incidir sobre uma grande área no interior do Parque Natural do Alvão, alterando as características de cobertura vegetal e, conseqüentemente, as cargas de material combustível das áreas afetadas.

Com consideração final, recomenda-se um estudo direcionado especificamente às características da região do PNAL, de modo a permitir uma calibração do modelo de ponderação, através do rebalanceamento dos coeficientes utilizados na Equação 2, de forma a proporcionar um modelo mais preciso para a caracterização das áreas em causa.

7. REFERÊNCIAS

- Abram, N. J., Henley, B. J., Sen Gupta, A., Lippmann, T. J., Clarke, H., Dowdy, A. J., & Boer, M. M. (2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Communications Earth & Environment* 2(1), 8.
- AFN - Autoridade Florestal Nacional (2012). Guia Técnico para a elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI). Editado por Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa: Direcção de Unidade de Defesa da Floresta.
- Afonso, M. (2020). Risco e Ordenamento de Áreas Protegidas: Floresta Nacional de Ipanema e Parque Natural do Alvão. Doctoral dissertation, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Almeida, M. C. F. (2012). *Gabinetes Técnicos Florestais e Gestão de recursos da Floresta: oito anos de actividade em São Pedro do Sul*. Dissertação de mestrado, Instituto Politecnico de Bragança, Portugal.
- Alves, P. M. C. (2012). Probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndios florestais.
- Ashraf, M. I., Meng, F. R., Bourque, C. P. A., & MacLean, D. A. (2015). A novel modelling approach for predicting forest growth and yield under climate change. *PloS one* 10(7), e0132066.
- APIF & ISA (2005). Plano Nacional Defesa da Floresta Contra Incêndios. Estrutura de vigilância e deteção. *Estudo Técnico l- Diagnostico*. Visão e objetivos estratégicos. Lisboa.
- Barbati, A., Arianoutsou, M., Corona, P., De Las Heras, J., Fernandes, P., Moreira, F., & Xanthopoulos, G. (2010). Post-fire forest management in southern Europe: a COST action for gathering and disseminating scientific knowledge. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 3(1), 5.
- Barbier, E. B. (2010). *Scarcity and frontiers: how economies have developed through natural resource exploitation*. Cambridge University Press.
- Barbosa, C. C., Camara, G., Medeiros, J. S., Crepani, E., Novo, E. M. L. M., & Cordeiro, J. P. C. (1998). Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico-econômico. *IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.
- Batista, A. C. (2000). Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta* 30(1/2).
- Bento- Gonçalves, A. (2011). Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha- o caso da Serra da Cabreira. Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Dias, P., Leite, F. F., Lourenço, L., Nunes, A., & Salgado, J. (2012). Os grandes incêndios florestais de 2010 no Parque Nacional da Peneda-Gerês (Portugal): a importância das cartas de severidade na identificação de áreas críticas.

- Birdsey, R., & Pan, Y. (2015). Trends in management of the world's forests and impacts on carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 355, 83-90
- Borges, T. S., Fiedler, N. C., Santos, A. R. D., Loureiro, E. B., & Mafia, R. G. (2011). Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente* 18, 153-159.
- Botelho, R. M. S. P. (2006). *Desafios colocados ao ordenamento do território português pela Rede Natura 2000: uma abordagem*. Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Brown, A. A. & Davis, K. P. (1973). *Forest fire: control and use*. 2. ed. New York: McGraw Hill Book.
- Cadete, J. (2020). Do Conteúdo à Monitorização dos Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI). *Florestas e Legislação: Planos Municipais da Defesa da Floresta Contra Incêndios*, 1-23.
- Calado, H., Horta de Sousa Vergílio, M., Fonseca, C., Gil, A., Moniz, F., Silva, S. F., & Esteves, M. A. P. P. (2014). Developing a Planning and Management System for Protected Areas on Small Islands (The Azores Archipelago, Portugal). *Revista de Gestão Costeira Integrada* 14(2), 335-344.
- Carvalho, A. M., & Frazão-Moreira, A. (2011). Importance of local knowledge in plant resources management and conservation in two protected areas from Trás-os-Montes, Portugal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 7(1), 1-13.
- Carvalho, T. C. M. (2009). Metodologia de avaliação de alternativas de gestão dos carvalhais baseada nos produtos e serviços do ecossistema: aplicação no parque natural do Alvão (Dissertação de mestrado, FCT-UNL).
- Carvalho-Ribeiro, S. M., Lovett, A., & O'Riordan, T. (2010). Multifunctional forest management in Northern Portugal: Moving from scenarios to governance for sustainable development. *Land use policy*, 27(4), 1111-1122.
- Catry, F., Bugalho, M., & Silva, J. (2007). Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra. Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves–Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Cavallari, R. L., Tamae, R. Y., & Rosa, A. J. (2007). A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia* 6(11), 1-5.
- Chuvieco, E., Giglio, L., & Justice, C. (2008). Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. *Global change biology* 14(7), 1488-1502.

- CODEVASF (2010). Companhia de Desenvolvimento dos Desenvolvidos dos Vales do São Francisco e Paranaíba. Apostila do curso técnicas de prevenção e combate à incêndios florestais, 51f. Curitiba-PR.
- Coelho, Y. G. V. (2016) *Análise multitemporal do uso e ocupação do solo do Câmpus da UTFPR-DV utilizando imagens de satélite*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Comerlato, F. (2011). O fogo e o homem. *Semina: Ciências Sociais e Humanas* 32(2), 205-208.
- Cordeiro, J. P.; Barbosa, C. C.; Câmara, G. Álgebra de Campos e Objetos. (2007). Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- Costa, E. P., Fiedler, N. C., Medeiros, M. B., & Wanderley, F. B. (2009). Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação-estudo de caso na Estação Ecológica de Águas emendadas, Distrito Federal. *Ciência Florestal* 19, 195-206.
- Costa, R., Fraga, H., Fernandes, P. M., & Santos, J. A. (2017). Implications of future bioclimatic shifts on Portuguese forests. *Regional Environmental Change* 17, 117-127.
- Cramer, V. A., Hobbs, R. J., & Standish, R. J. (2008). What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in ecology & evolution* 23(2), 104-112.
- Crósta, A. P. (1997). Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas – SP.
- Cruz, A.; Benedicto, J.; Gil, A. (2011) - Socio-economic Benefits of Natura 2000 in Azores Islands – a Case Study approach on the ecosystem services provided by a Special Protected Area. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), SI64:1955-1959, ICS2011 (Proceedings), Polónia. Disponível: <http://cita.angra.uac.pt/ficheiros/publicacoes/1322865720.pdf>.
- Deppe, F., de Paula, E. V., Meneghette, C. R., & Vosgerau, J. (2004). Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no estado do Paraná. *Floresta* 34(2).
- Dudley, N. (Ed.). (2008). *Guidelines for applying protected area management categories*. Iucn.
- EEA (2012). Protected Areas in Europe — an overview. 131p., *European Environment Agency*, Copenhagen, Denmark. ISBN: 978-9292133290. DOI: 10.2800/55955.
- EFFIS (2022). *Burnt áreas 2000 – 2022*. The European Forest Fire Information System.
- Eugenio, F. C. (2014). *Geotecnologias na alocação de torres de observação de incêndios florestais*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo.
- Eskildsen, C. E. A. (2016). *Prediction of Milk Quality Parameters Using Vibrational Spectroscopy and Chemometrics: Opportunities and Challenges in Milk Phenotyping: PhD Thesis*. Department of Food Science, University of Copenhagen.

- Feliciano, D. M. S., Alves, R., Mendes, A., Ribeiro, M., & Sottomayor, M. (2015). Forest land ownership changes in Portugal.
- Fernandes, P. M. (1997). Caracterização do combustível e do comportamento do fogo em comunidades arbustivas do Norte de Portugal. *Unpublished MSc. Thesis, UTAD*.
- Fernandes, P., Loureiro, C., Botelho, H., Ferreira, A., & Fernandes, M. (2002). Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana* 10(1), 73-90.
- Fernandes, P. (2007). Entender porque arde tanto a floresta em Portugal. *Proteger a floresta: Incêndios, pragas e doenças. Coleção Árvores e Florestas de Portugal* 8, 69-91.
- Fernandes, P., & Guedes, C. (2011). Fichas-tipo das relações entre o fogo e a floresta Portuguesa. *Projeto FFP/IFAP N 2004,9(002629)*, 7.
- Fernandes, P. M., Loureiro, C., Guiomar, N., Pezzatti, G. B., Manso, F. T., & Lopes, L. (2014). The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *Journal of environmental management* 146, 373-382.
- Ferraz, S. D. B., & Vettorazzi, C. A. (1998). Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Forestalis* 53, 39-48.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., & Lourenço, L. (2012). Grandes incêndios florestais em Portugal Continental. Da história recente à atualidade. *Cadernos de Geografia*, (30-31), 81-86.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Nunes, A., & Lourenço, L. (2016). Incidence and recurrence of large forest fires in mainland Portugal. *Natural Hazards* 84, 1035-1053.
- Figueiredo, E., & Valente, S. O Outro Lado do Paraíso As percepções dos habitantes do Parque Natural do Alvão sobre a protecção do ambiente e o desenvolvimento.
- Filha, L. G. F., Lázaro, E. B., Martins, F. G. C., Capingote, M. C. M., da Silva Pires, N. M., & Dias, D. M. D. S. R. (2023). O ser humano e o domínio do fogo. *Revista Gestão & Tecnologia* 1(36), 4-16.
- Fischer, R. The Long-Term Consequences of Forest Fires on the Carbon Fluxes of a Tropical Forest in Africa. *Appl. Sci* 2021 11, 4696.
- Flannigan, M. D., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *Science of the total environment* 262(3), 221-229.
- Florenzano, T. G. (2007). *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. Ed. Oficina de texto. São Paulo.

- Florestas.pt (2023) *Economia da floresta: valor gerado em Portugal* - (2023). *Florestas.pt*. Disponível em: <https://florestas.pt/valorizar/economia_da_floresta_valor_gerado/> Acesso em 04 out. 2023.
- Fonseca, F., Silva, D., Bueno, P., Hernández, Z., Royer, A.C., Figueiredo, T., 2022. Temporal dynamics of carbon storage in mountains shrub areas managed by prescribed fire. *Catena* 212, 106107.
- Freire, S., Carrão, H., & Caetano, M. R. (2002). Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. Lisboa: IGP.
- Fuller, M. (1991). *Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention*. John Wiley & Sons, Inc.
- Garcia, S. P. F. (2018). *As Consequências Geohumanas dos incêndios de outubro de 2017 na Região Centro de Portugal: análise introdutória* (Relatório de estágio).
- Gaston, K. J., Jackson, S. F., Cantu-Salazar, L., & Cruz-Pinon, G. (2008). The ecological performance of protected areas. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 39, 93-113.
- Godinho, S. F., Machado, M. S., 1990. O clima de Portugal. Fasc. XLII, ed. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- Gomes, J. F. P. (2006). Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen. *International Journal of Environmental Studies* 63(2), 109-119.
- Guiomar, N., Godinho, S., Fernandes, P. M., Machado, R., Neves, N., & Fernandes, J. P. (2015). Wildfire patterns and landscape changes in Mediterranean oak woodlands. *Science of the Total Environment* 536, 338-352.
- Hamadeh, N., Daya, B., Hilal, A., & Chauvet, P. (2015, April). An analytical review on the most widely used meteorological models in forest fire prediction. In *2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE)* (pp. 239-244). IEEE.
- ICNB (2008). Plano Setorial da Rede Natura 2000: Sítio Alvão-Marão (PTCON0003). Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- ICNF, (2022). *8.º Relatório provisório de Incêndios Rurais. Emissor: Divisão de Gestão do Programa de Fogos Rurais – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*. Disponível em <<https://www.icnf.pt/api/file/doc/4e8a66514175d0f7>> acesso em 10 jul. 2023.
- Jusoff, K., & Taha, D. H. D. H. (2008). Sustainable forest management practices and environmental protection in Malaysia. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 4(3), 191-199.

- Haurwitz B. & Austin, J. M. (1944). *Climatology*. *New York: McGraw-Hill Book*, p. 157-175.
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., & Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management* 352, 9-20.
- Koproski, L., Ferreira, M. P., Goldammer, J. G., & Batista, A. C. (2011). Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). *Floresta* 41(3).
- Kottasová, I. (2021). *Wildfires have erupted across the globe, scorching places that rarely burned before*. CNN. Disponível em <<https://www.cnn.com/2021/07/22/world/wildfires-siberia-us-canada-climate-intl/index.html>> Acesso em: 25 jul. 2023.
- Lavorel, S. (2004). Global change, fire, society and the planet. IGBP, Global Change Newsletter, 51, 2–6.
- Leão, R. M. (2000). *A floresta e o homem*. Edusp.
- Leite, F. F., Gonçalves, A. B., Lourenço, L., Úbeda, X., & Vieira, A. (2013). Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo.
- Lima, R. A. (2005). Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. *Brazilian Journal of Botany* 28, 651-670.
- Liz, J. P. C. (2014). Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais na Reserva Biológica do Aguai. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014
- Lourenço, L. (1992). Avaliação do risco de incêndio nas matas e florestas de Portugal continental. *Finisterra* 27(53/54).
- Lopes, D. & Fernandes, P. (2023). Resultados da amostragem e inventário de combustíveis. maio de 2023. Disponível em: <<https://replant.pt/wp-content/uploads/2023/06/Resultados-da-amostragem-e-inventario-de-combustiveis.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- Marey-Pérez, M. F., & Rodríguez-Vicente, V. (2009). Forest transition in Northern Spain: Local responses on large-scale programmes of field-afforestation. *Land use policy* 26(1), 139-156.
- Macedo, F. W. & Sardinha A. M. (1987). Fogos florestais. Coimbra: *Publicações Ciência e Vida*. p. 89-111.
- Mason, W. L., Diaci, J., Carvalho, J., & Valkonen, S. (2022). Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 95(1), 1-12.

- Mendes, A. (2007). *Working Papers Economics, the Portuguese Forests*.
- Mira, M., & Lourenço, L. (2019). Grandes incêndios florestais de 17 de junho de 2017 em Portugal e exemplos da determinação das respetivas causas. *Territorium* 26(II), 49-60.
- Munhoz, F. C., & Garcia, A. (2008). Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 30-34.
- Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Pinto Gomes, C. J., & de Almeida Ribeiro, N. M. C. (2019). Socioeconomic aspects of the forests in Portugal: Recent evolution and perspectives of sustainability of the resource. *Forests* 10(5), 361.
- Observatório Técnico Independente, Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J.M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D.X., Caldeira D., e Duarte Santos F. - Coords. (2019) O planeamento da Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI) Assembleia da República. Lisboa. 53 pp.
- Oliveira, B. R. D. S. (2022). *O crime de incêndio florestal e a preservação da prova* (Bachelor's thesis, [sn]). Universidade Fernando Pessoa, Porto.
- Oliveira, D. S. (2002). *Zoneamento de risco de incêndios florestais no norte de Santa Catarina. Curitiba*. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Universidade de Aveiro/ICN (2004). Plano de Ordenamento do Parque Natural do Alvão: Estudos de caracterização – Volumes I a V. Aveiro: ICN.
- Paz, S., Carmel, Y., Jahshan, F., & Shoshany, M. (2011). Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). *Forest Ecology and Management* 262(7), 1184-1188.
- Peixoto, R. S. S. D. L., & Silva, I. D. (1997). Utilização de sistemas de informações geográficas para gerenciamento de cidades de pequeno porte.
- Pereira da Silva, C. (2000). Áreas Protegidas em Portugal: Que papel? Conservação versus desenvolvimento. *Revista GeoINova*, nº 2 "Conservação da Natureza e Desenvolvimento Económico".
- Pezzopane, J. E. M., Neto, S. N. D. O., & Vilela, M. D. F. (2012). Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. *Floresta e Ambiente* 8, 161-166.
- Queirós, M. (2016). Environmental knowledge and politics in Portugal: From resistance to incorporation. *RCC Perspectives* 4, 61-68.

- Rivaes, R., Rodríguez-González, P. M., Arsénio, P., & Silva, M. (2019). Atualização do Habitat 91E0* na Rede Natura em Portugal Continental: resultados obtidos no âmbito do projecto LIFE Fluvial. *Atualização do Habitat 91E0* na Rede Natura em Portugal Continental: resultados obtidos no âmbito do projecto LIFE Fluvial*.
- Robinne, F. N., Burns, J., Kant, P., Flannigan, M., Kleine, M., de Groot, B., & Wotton, D. M. (2018). Global fire challenges in a warming world. IUFRO.
- Rosa, I. M. D., Pereira, J. M. C., & Tarantola, S. (2011). Atmospheric emissions from vegetation fires in Portugal (1990–2008): estimates, uncertainty analysis, and sensitivity analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11(6), 2625-2640.
- San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Liberta', G., Branco, A., De, R. D., Ferrari, D., Maianti, P., Artes, V. T., Schulte, E., & Loffler, P. (2017, November 22). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2016. JRC Publications Repository.
- San-Miguel-Ayanz, J., Oom, D., Artes, T., Viegas, D. X., Fernandes, P., Faivre, N., & Castellnou, M. (2020). Forest fires in Portugal in 2017. *Science for disaster risk management*.
- Santana, T. F., Fernandes, H. E., Giongo, M., Moura, W. S., Cabral, K. P., & Souza, P. B. (2019). Influência do fogo na germinação de três espécies do bioma Cerrado. *Biodiversidade* 18(1).
- Santos, J. F. (2004). Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Curitiba-PR: UFPR*.
- Santos, J. F., Soares, R. V., & Batista, A. C. (2006). Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta* 36(1), 93-100.
- Santos, J. R., Ribeiro, R. T., & Domingos, A. S. (2019) Planeamento Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNPOT): Contributo para Estudo da Asprocivil, de natureza Socioeconómica, no âmbito dos Incêndios Florestais National Defense Planning to prevent Forest Fire (PNOPOT): Contribution to a study of Asprocivil, of Socioeconomic nature, in. In *IX Congresso Vertentes e Desafios da Segurança*.
- Show, S. B. & Clarke, B. (1953). Elements of forest fire control. Roma: FAO. p.18-19.
- Sequeira, A. C., Nunes, L., & Rego, F. C. (2022). Atividade 1.15. Identificação de parâmetros de comportamento do fogo em florestas complexas úteis para o planeamento florestal - Sítio de Importância de Comunitária NATURA 2000 Alvão/Marão. Projeto COMFOR-SUDOE.
- Silva, R. G. (1998). Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 80p.
- Silva, M. S. (2006). Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas. 2006. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências.

- Silva, J. S. (2007). Pinhais e eucaliptais: a floresta cultivada. In *Library Catalog (Koha)*. Fundação Luso-Americana.
- Silva, S. S., de Oliveira, I. S., Anderson, L. O., Martin, P., & Almeida, I. F. B. (2019). Incêndios florestais e queimadas na Amazônia sul ocidental. *Realización 27*.
- Silva-Alves, K. M. A., & Nóbrega, R. S. (2011). Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. *Mercator-Revista de Geografia da UFC* 10(22), 209-219.
- Soares, R. V. (1987). Comparação entre quatro índices na determinação do grau de perigo de incêndios no município de Rio Branco do Sul-PR. *Floresta* 17(1/2).
- Soshenskyi, O., Zibtsev, S., Gumeniuk, V., Goldammer, J. G., Vasylyshyn, R., & Blyshchyk, V. (2021). The current landscape fire management in Ukraine and strategy for its improvement. *Environmental & Socio-economic Studies* 9(2), 39-51.
- Tavares, D., Sequeira, A. C., Rocha, M. S., Rego, F. C., & Reis, R. (2013). Efeitos do fogo sobre a dinâmica da vegetação: o caso do Douro e Alto Trás-os-Montes. In *7º Congresso Florestal Nacional, Florestas: Conhecimento e Inovação*. SPCF.
- Tomlin, C. D. (1990). *Geographic information systems and cartographic modeling* (Vol. 249). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Tonini, M., Pereira, M. G., Parente, J., & Vega Orozco, C. (2017). Evolution of forest fires in Portugal: from spatio-temporal point events to smoothed density maps. *Natural Hazards* 85, 1489-1510.
- Torres, F. T. P., Roque, M. P. B., Lima, G. S., Martins, S. V., & Faria, A. L. L. D. (2017). Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente* 24.
- Van Wagner, C. E. (1987). *Development and structure of the Canadian forest fire weather index system* (Vol. 35).
- Van Wagendonk, J. W. (1991). GIS applications in fire management and research. In *Fire and the Environment: Ecological and Cultural Perspectives: Proceedings of an International Symposium, Knoxville, Tennessee, March 20-24* (Vol. 69). Southeastern Forest Experiment Station.
- Vázquez, A., Climent, J. M., Casais, L., & Quintana, J. R. (2015). Current and future estimates for the fire frequency and the fire rotation period in the main woodland types of peninsular Spain A case-study approach.

Veiga, T. C., & Silva, J. D. (2004). Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé–RJ. *Geoprocessamento e análise ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand, 179-215.

Volpato, M. M. L. (2002). Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens.