

Relatório de estágio

Delimitação de áreas ardidadas, classificação da severidade do fogo, e avaliação da recuperação das áreas ardidadas com recurso a imagens multiespectrais do Satélite Sentinel-2

Mestrado em Recursos Florestais



15 de Março de 2019

Discente: Pedro Manuel Vicente Nunes - 21624007

Relatório de estágio orientado por:

Professor Dr. José Gaspar

Índice

➤ LISTA DE FIGURAS.....	- 3 -
➤ LISTA DE TABELAS	- 5 -
➤ RESUMO	- 6 -
➤ AGRADECIMENTOS	- 7 -
➤ INTRODUÇÃO	- 8 -
➤ OBJETIVO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO.....	- 10 -
➤ ESTADO DA ARTE.....	- 11 -
➤ MISSÃO SENTINELS 2	- 13 -
➤ CONCEITOS TEÓRICOS	- 17 -
➤ ÍNDICES ESPETRAIS NBR, DNBR E NDVI.....	- 23 -
➤ FOGO CONTROLADO.....	- 25 -
➤ ÁREA DE ESTUDO.....	- 27 -
➤ DADOS.....	- 46 -
➤ CALCULO DOS ÍNDICES	- 50 -
➤ CLASSIFICAÇÃO DA SEVERIDADE	- 55 -
➤ RESULTADOS.....	- 59 -
➤ DADOS ESTATÍSTICOS	- 65 -
➤ DISCUSSÃO	- 74 -
➤ CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS	- 85 -
➤ BIBLIOGRAFIA	- 88 -

➤ Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição das áreas por uso do solo.....	- 9 -
Figura 2 - distribuição (%) das áreas das espécies florestais	- 10 -
Figura 3 - bandas do sentinel 2A (ESA).....	- 15 -
Figura 4 - processamento de dados sentinel 2A.....	- 16 -
Figura 5 - visão esquemática do satélite sentinel-2	- 17 -
Figura 6 - Processo de detecção remota (chipman, 2004).....	- 19 -
Figura 7 - esquema da radiação eletromagnética.....	- 19 -
Figura 8 - espectro eletromagnético.....	- 20 -
Figura 9 - curvas de refletância espectral (chipman, 2004)	- 23 -
Figura 10 - dados espaciais da parcela 1	- 28 -
Figura 11 - esquema de queima da parcela 1 (FEB).....	- 29 -
Figura 12 - execução do fogo controlado na parcela 1 (FEB)	- 30 -
Figura 13 – execução do fogo controlado na parcela 1 (FEB).....	- 31 -
Figura 14 - dados espaciais da parcela 2	- 32 -
Figura 15 - esquema de queima da parcela 2 (FEB).....	- 33 -
Figura 16 - execução do fogo controlado na parcela 2 (FEB)	- 34 -
Figura 17 - execução do fogo controlado na parcela 2 (FEB)	- 34 -
Figura 18 - dados espaciais da parcela 3	- 35 -
Figura 19 - dados meteorológicos da parcela 3 (FEB).....	- 36 -
Figura 20 - esquema de queima da parcela 3 (FEB).....	- 36 -
Figura 21 - execução do fogo controlado na parcela 3 (FEB)	- 37 -
Figura 22 - execução do fogo controlado na parcela 3 (FEB)	- 38 -
Figura 23 - dados espaciais da parcela 4	- 39 -
Figura 24 - execução do fogo controlado na parcela 4 (FEB)	- 41 -
Figura 25 - execução do fogo controlado na parcela 4 (FEB)	- 41 -
Figura 26 - dados espaciais da parcela 5	- 42 -
Figura 27 - execução do fogo controlado na parcela 5.....	- 44 -
Figura 28 - execução do fogo controlado na parcela 5.....	- 45 -
Figura 29 - execução do fogo controlado na parcela 5.....	- 45 -
Figura 30 - execução do fogo controlado na parcela 5.....	- 46 -
Figura 31 - imagens sentinel-2 de novembro e dezembro de 2017	- 47 -
Figura 32 - comparação das bandas landsat e sentinel-2.....	- 48 -
Figura 33 - designação das bandas sentinel-2.....	- 49 -
Figura 34 - Aplicações informáticas utilizadas no trabalho.....	- 50 -
Figura 35 - imagens NBR de Novembro e Dezembro	- 53 -

Figura 36 - imagem dNBR	54 -
Figura 37 - intervalo de dados dNBR	56 -
Figura 38 - execução da ferramenta "tabulate area"	58 -
Figura 39 - organograma manipulação dos dados.....	58 -
Figura 40 - distribuição da severidade na parcela 1	59 -
Figura 41 - distribuição espacial da severidade na parcela 1	60 -
Figura 42 - distribuição da severidade na parcela.....	60 -
Figura 43 - distribuição espacial da severidade na parcela 2.....	61 -
Figura 44 - distribuição da severidade na parcela 3	62 -
Figura 45 - distribuição espacial da severidade na parcela 3.....	62 -
Figura 46 - distribuição da severidade na parcela 4	63 -
Figura 47 - distribuição espacial da severidade na parcela 4.....	64 -
Figura 48 - distribuição da severidade na parcela 5	64 -
Figura 49 - distribuição espacial da severidade na parcela 5.....	65 -
Figura 50 - Boxplot dados NBR pré e pós fogo.....	66 -
Figura 51 - Boxplot dos dados NDVI pré e pós fogo.....	67 -
Figura 52 - testes de normalidade	68 -
Figura 53 - histogramas índice NBR pré e pós fogo	69 -
Figura 54 - teste de hipótese	70 -
Figura 55 - testes de normalidade.....	71 -
Figura 56 - histogramas índice NDVI pré e pós fogo	72 -
Figura 57 - teste de hipóteses	73 -
Figura 58 - dimensão das parcelas.....	74 -
Figura 59 - dados das parcelas por nível de severidade	74 -
Figura 60 – distribuição da classe de severidade não ardida 	75 -
Figura 61 - distribuição da classe de severidade baixa 	76 -
Figura 62 - distribuição da classe de severidade moderada	77 -
Figura 63 - distribuição da classe de severidade alta 	78 -
Figura 64 - distribuição da classe de severidade muito alta	79 -
Figura 65 - técnicas de ignição e condução do fogo	81 -
Figura 66 - níveis de severidade por parcela.....	81 -
Figura 67 - NDVI parcela 1	83 -
Figura 68 - ndvi parcela 2	83 -
Figura 69 - ndvi parcela 3	84 -
Figura 70 - ndvi parcela 4	84 -
Figura 71 - ndvi parcela 5	85 -

➤ Lista de Tabelas

Tabela 1 - identificação das parcelas.....	- 27 -
Tabela 2 - COS da parcela 1.....	- 28 -
Tabela 3 - dados meteorológicos da parcela 1.....	- 29 -
Tabela 4 - COS da parcela 2.....	- 32 -
Tabela 5 - dados meteorológicos da parcela 2 (FEB).....	- 32 -
Tabela 6 - COS da parcela 3.....	- 36 -
Tabela 7 - COS da parcela 4.....	- 39 -
Tabela 8 - dados meteorológicos da parcela 4.....	- 39 -
Tabela 9 - COS da parcela 5.....	- 42 -
Tabela 10 - dados meteorológicos da parcela 5.....	- 43 -
Tabela 11 - informação das imagens recolhidas.....	- 47 -
Tabela 12 - dados do índice NBR.....	- 66 -
Tabela 13 - dados do índice NDVI.....	- 67 -

➤ **Resumo**

Este estudo apresenta os resultados da avaliação de dois índices espectrais para avaliar a severidade do fogo no decorrer de ações de fogo controlado. Os índices espectrais foram calculados usando o satélite europeu Sentinel-2A lançado em junho de 2015. O relatório salienta as vantagens da utilização dos índices espectrais como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e a Razão de Queima Normalizada (NBR) usando bandas espectrais para avaliar as condições pré e pós-fogo e os níveis de severidade produzidos pelas ações de gestão de combustíveis.

Os resultados mostram a rapidez com que é possível efetuar o cálculo da severidade do fogo, e a facilidade na delimitação das áreas percorridas pelo fogo.

Atualmente os dois satélites gêmeos Sentinel-2 garantem uma cobertura global de Portugal a cada cinco dias, o que permite acompanhar a evolução das áreas afetadas por fogo, e posteriormente garantir informações relativas à regeneração através do uso de dados de alta resolução espacial (até 10 m) e temporal (5 dias).

➤ Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao Prof. Dr. José Gaspar, o meu orientador deste trabalho, pela sua disponibilidade e simpatia demonstrada, pela partilha de conhecimentos e sugestões durante a realização deste trabalho.

À minha esposa e à minha filha por me incentivarem diariamente para continuar o meu plano de estudos.

Aos meus amigos da pesca especialmente ao Nuno Amaral, ao Carlos Coelho, ao António Gaspar e ao Hélder Esteves.

Ao meu companheiro de trabalho, o Manuel Cordeiro pela sua amizade e pela camaradagem.

Aos colegas e amigos de mestrado que me acompanharam nesta importante etapa, nomeadamente à Raquel Alves e à Ana Eira.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

Mahatma Gandhi

➤ **Introdução**

Portugal é o país do sul da Europa mais afetado pela ocorrência de incêndios rurais. Segundo os dados disponíveis é possível constatar um elevado número de ocorrências e de grandes áreas ardidas face à sua área territorial do continente. Nas últimas décadas tem sido evidente o aumento do número de ignições, e da ocorrência de incêndios rurais de grandes dimensões (Carvalho et al., 2010).

Os dados registados em Portugal pelo ICNF apontam para uma redução do número de ignições a partir de 2010, até à presente data mas os números registados em Portugal continuam muito acima da média europeia. As estatísticas europeias sobre fogos florestais baseadas no sistema EFFIS (European Forest Fires Information System) salientam (Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia) como os cinco países Europeus mais afetados pelos incêndios florestais.

De acordo com o 6º inventário Florestal Nacional publicado pelo ICNF, a distribuição do uso do solo em Portugal continental em 2010 apresentava-se da seguinte forma;

- O uso florestal do solo é o uso dominante em Portugal continental, ocupando 35,4% do território, seguindo-se os matos e as pastagens (32%) (Figura 1).

A superfície florestal de Portugal continental tem como espécie dominante o eucalipto representando a maior área do país (812 mil ha; 26%), o sobreiro a segunda (737 mil ha; 23%), seguido do pinheiro-bravo (714 mil ha; 23%) (Figura 2).

No que concerne às causas dos incêndios florestais investigados pela Guarda Nacional Republicana (GNR/SEPNA), no ano de 2018 as principais causas identificadas foram as seguintes;

- ✓ Intencional (14%)
- ✓ Natural (1%)
- ✓ Desconhecida (34%)
- ✓ Negligência (44%)
- ✓ Reacendimento (7%)

No ano de 2018, o distrito de Faro foi o que registou a maior área ardida em espaços florestais. Esta área resultou de um grande incêndio florestal, o maior de 2018, com início em Perna da negra, concelho de Monchique, a 8 de agosto, que percorreu uma área de 26.763 hectares.

No que concerne às espécies mais afetadas pelos incêndios, o pinheiro bravo e o eucalipto têm sido muito afetadas nos últimos anos. Esta situação tem vindo a contribuir para uma forte redução da área de pinheiro bravo (menos 263 mil hectares entre 1995 e 2010) e para o aumento da área de eucalipto e de matos, conforme dados apurados pelo 6.º Inventário Florestal Nacional.

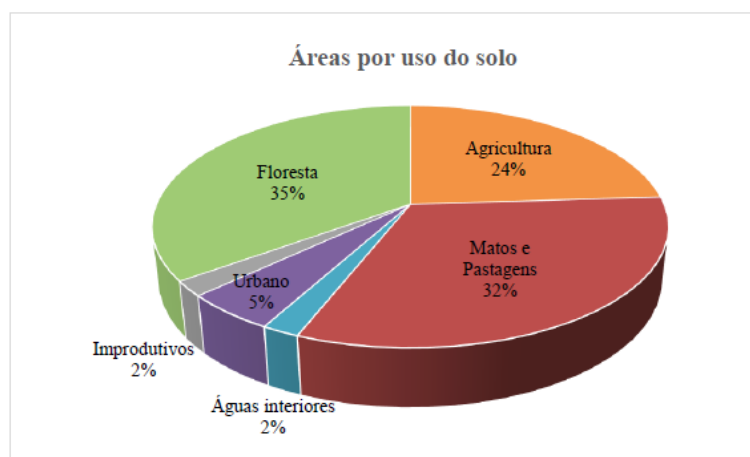


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS POR USO DO SOLO

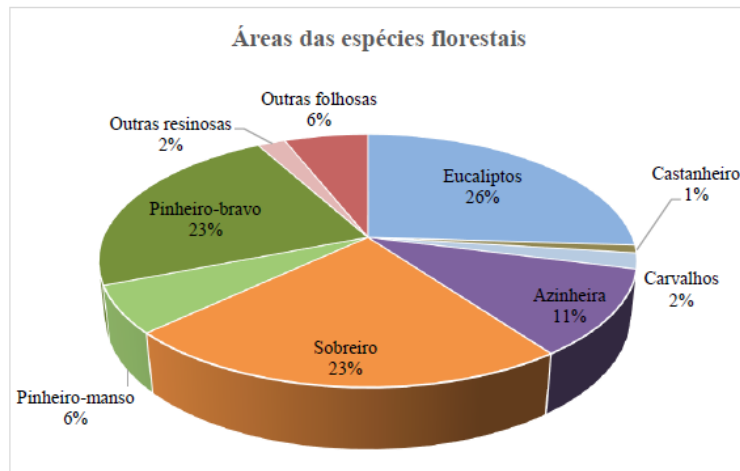


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO (%) DAS ÁREAS DAS ESPÉCIES FLORESTAIS

➤ **Objetivo do relatório de estágio**

O objetivo deste relatório é, através da deteção remota, delimitar parcelas tratadas com recurso ao fogo controlado, classificar os níveis de severidade que resultaram da execução do fogo controlado, e ainda avaliar a recuperação das áreas em estudo.

Tendo em conta os objetivos principais anteriormente expostos, definiu-se ainda que seriam considerados como objetivos secundários os tópicos que abaixo se descrevem;

- ✓ Estudo da missão Sentinel-2, e seleção de bandas;
- ✓ Cálculo do índice NBR;
- ✓ Cálculo do índice dNBR;
- ✓ Análise da severidade provocada pelo fogo controlado;
- ✓ Cálculo do NDVI.

➤ Estado da arte

O fogo é reconhecido como um grande risco natural (FAO 2007), o que implica perdas severas de vidas humanas, ou outros valores, e embora o fogo seja um fator natural em muitos ecossistemas, as atividades humanas desempenham um papel crítico na alteração das condições naturais de fogo, a maioria dos autores reconhece que os seres humanos desempenham um papel fundamental na maioria dos regimes de fogo do mundo (Chuvieco, et al., 2008), seja pelo aumento das ignições, ou pela supressão dos incêndios.

Os efeitos do fogo sobre a vegetação, o solo e a atmosfera estão fortemente associados às características do fogo (densidade, frequência, gravidade, intensidade, sazonalidade, distribuição, etc.), que geralmente são agrupados no regime geral de fogo (Morgan et al., 2001; Stocks et al., 2003).

Devido aos impactos substanciais da queima de biomassa, uma área de pesquisa de detecção remota está focada no desenvolvimento de algoritmos para detetar áreas queimadas em escala global (Pereira et al., 1997). As abordagens mais utilizadas para a identificação de áreas ardidas são classificadas em dois grupos:

- As que se baseiam no contraste térmico de incêndios ativos (geralmente denominados hot spots, HSs).
- E as baseadas nas mudanças de refletância causada pela queima/efeitos do incêndio.

A abordagem baseada nas mudanças de refletância é mais confiável segundo Padilla et al., (2014) porque a irradiação térmica (e, conseqüentemente, a amplificação do sinal) aumenta com a temperatura, enquanto as mudanças de refletância relacionadas com o fogo são mais subtis.

Este trabalho segue as linhas orientadoras do trabalho “Landscape Assessment” (Carl Key & Nathan Benson, 2006), que consta numa abordagem assente nas mudanças de refletância, para o qual foi desenvolvido um algoritmo para cartografar áreas ardidas e definir os níveis de severidade do fogo com base em imagens Landsat.

Vários autores, entre eles, Pereira et al., (1997) admitiram que é mais fácil discriminar visualmente áreas queimadas do que automaticamente por deteção remota, devido à ampla diversidade espacial e espectral causada pela gravidade do fogo (fumo, emissão de calor), o tempo decorrido desde a sua extinção e o tipo de vegetação afetada.

Para discriminar entre pixéis queimados e não queimados, foram criados vários índices de medição das áreas ardidas de acordo com características espectrais, na região do visível, infravermelho próximo, médio e longo, entre outros – NDVI, BAI, GEMI, NBR ou dNBR. Estes índices já foram usados por outros autores como Barbosa et al., (1999) na cartografia de áreas ardidas.

A utilização de bandas no infravermelho é vantajoso segundo (Gates, 1980), pois as plantas têm uma assinatura espectral diferenciada, caracterizada por uma baixa refletância na parte visível do espectro solar e uma alta refletância na região do infravermelho próximo. Outros autores como utilizaram as bandas do infravermelho para estimar o teor de água na vegetação com recurso ao MODIS e calcularam índices de vegetação, entre eles o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e o NDWI, Índice de Água de Diferença Normalizada.

Também Escuin et al., (2008) no seu estudo dos níveis de severidade de áreas ardidas no sul de Espanha, utilizou como índices de áreas ardidas o NBR e o NDVI, em que estudou a capacidade dos dois índices, ambos numa perspetiva

uni-temporal (pós-fogo) e bi-temporal (pré e pós-fogo), para discriminar níveis de severidade de áreas ardidas.

➤ **Missão Sentinels 2**

Neste projeto vão ser utilizadas duas imagens provenientes do satélite Sentinel 2-A, pelo que é importante abordar vários conceitos desta missão e a sua importância. O programa europeu ‘Monitorização Global do Ambiente e Segurança’ (GMES) é uma iniciativa conjunta da União Europeia (EU) e da Agência Espacial Europeia (ESA), concebida para estabelecer uma capacidade para o fornecimento e utilização de informações de monitorização operacional para aplicações ambientais e de segurança. Em dezembro de 2012 a Comissão Europeia mudou o nome do programa para ‘Copernicus’.

Dentro do programa Copernicus, a ESA é responsável pelo desenvolvimento da componente espacial, fornecendo dados de observação da Terra para sustentar a informação ambiental na Europa.

A missão do Sentinel-2 neste programa é proporcionar continuidade nos serviços de observação de imagens óticas multiespectrais de alta resolução, em superfícies terrestres globais, que complementam as observações do Landsat e do SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), e ainda melhorar a disponibilidade de dados para os utilizadores (Drusch et al., 2012).

O programa SPOT foi iniciado em 1978 pela França em parceria com a Bélgica e a Suécia (Drusch et al., 2012). Quanto ao programa Landsat, este começou em 1972 com o lançamento do primeiro satélite.

O Sentinel-2 foi criado para assegurar o fornecimento de dados para serviços como a gestão de risco (inundações, incêndios florestais e deslizamentos de terra), uso do solo - estado e alterações, monitorização florestal, segurança alimentar (sistemas de alerta - gestão da água e proteção do solo), cartografia do sistema urbano e terrestre para ajuda humanitária e desenvolvimento (Drusch et al., 2012).

O Sentinel-2A foi lançado a 23 de junho de 2015 e o Sentinel-2B a 7 de março de 2017. O Sentinel-2A é um satélite de alta resolução multiespectral que possui um instrumento multiespectral o MSI - multi-spectral instrument. Possui 13 bandas espectrais, que vão do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) ao infravermelho médio e longo (SWIR), com resoluções espaciais que variam de 10 a 60 metros (figura 3).

Tem um 'swath' de 290 km e um período de revisita de 5 dias. A revisita de cinco dias no equador requer 'dois satélites Sentinel-2 idênticos' que operam simultaneamente, favorecendo um satélite pequeno, económico e de baixo risco. A órbita é síncrona a 786 km de altitude ($14 + \frac{3}{10}$ rotações por dia) com a passagem pelo equador às 10:30 a.m.

Resolução Espacial	Banda	Comprimento de onda (µm)	Nome	SNR
60 m	1	443	Coastal aerosol	129
10 m	2	490	Azul	154
10 m	3	560	verde	168
10 m	4	665	Vermelho	142
20 m	5	705	Vegetation Red Edge	117
20 m	6	740	Vegetation Red Edge	89
20 m	7	783	Vegetation Red Edge	105
10 m	8	842	Infravermelho próximo (NIR)	174
20 m	8a	865	Vegetation Red Edge	72
60 m	9	940	Vapor de água	114
60 m	10	1 375	SWIR - cirrus	50
20 m	11	1 610	SWIR 1	100
20 m	12	2 190	SWIR 2	100

FIGURA 3 - BANDAS DO SENTINEL 2A (ESA)

Este horário local foi escolhido por forma a minimizar a cobertura de nuvens e garantir uma boa iluminação solar. Esta hora é próxima da passagem local do Landsat 8 (10:11 manhã +/- 15 minutos) e do SPOT, permitindo a combinação de dados Sentinel-2 com imagens históricas para produzir séries temporais de longo prazo.

O Sentinel 2-A apresenta vários níveis de processamento de dados (do nível 0 ao nível 1C), em que todos os dados adquiridos pelo instrumento MSI são sistematicamente processados até chegar ao nível 1C por um instrumento chamado PDGS (Payload Data Ground Segment).

Os produtos de nível 0 e nível 1A fornecem dados compactados e descompactados, respetivamente. Os dados de nível 1B são radiâncias radiométricas corrigidas. O produto do nível 1C inclui correções radiométricas e geométricas, incluindo retificação ortográfica. As máscaras de nuvem e terra / água são geradas neste nível. Estas máscaras de nuvem fornecem indicação sobre a presença de cirrus. Neste trabalho foram usadas imagens do nível 1C.

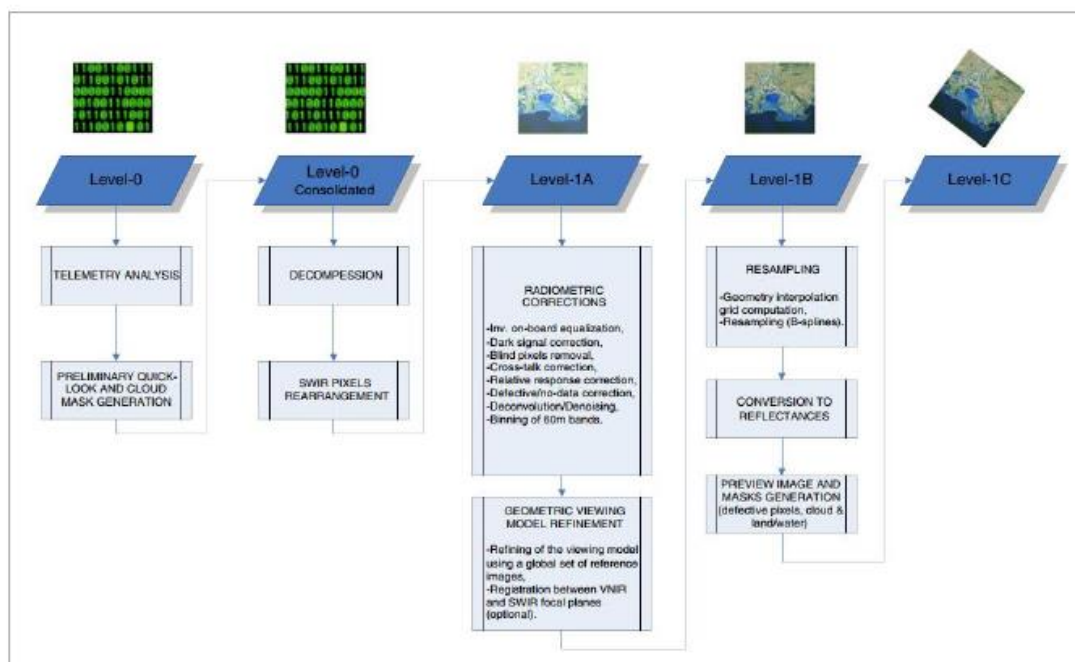


FIGURA 4 - PROCESSAMENTO DE DADOS SENTINEL 2A

Fazendo referência a outros satélites Sentinel incluídos no programa Copernicus, para além do Sentinel 2: O Sentinel 1 é um radar de abertura sintética (SAR) contribui principalmente para a pesquisa na área da oceanografia física, medidas da superfície do vento e da circulação oceânica (correntes de superfície) (Malenovský, 2012).

O Sentinel-1A foi lançado em 3 de abril de 2014 e o Sentinel-1B em 25 de abril de 2016. Este satélite tem como principal aplicação serviços de emergência.

O satélite Sentinel-3 foi lançado a 16 de fevereiro de 2016, é um satélite multi-instrumento que tem como função principal o monitoramento dos oceanos e da água. Este satélite recolhe informação da topografia da superfície do mar, temperatura, a cor do oceano e a cor da terra.

Está previsto o lançamento nos próximos anos do Sentinel-4, Sentinel-5, 5p e 6.

Figura 1- Visão esquemática do satélite SENTINEL-2 (créditos da imagem: EADS Astrium)



FIGURA 5 - VISÃO ESQUEMÁTICA DO SATÉLITE SENTINEL-2

➤ **Conceitos teóricos**

Neste capítulo é realizada uma abordagem dos conceitos teóricos relevantes para a compreensão do trabalho desenvolvido. São apresentados os conceitos de detecção remota, e o conceito de radiação eletromagnética.

Deteção remota

A detecção remota é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenómeno sob investigação (Chipman, 2004).

Usando vários sensores, recolhe-se por deteção remota dados que, quando analisados, dão-nos informações sobre os objetos, áreas ou fenómenos a ser investigados. Os dados recolhidos podem ser de muitas formas, incluindo variações nas distribuições de força, distribuições de ondas acústicas ou distribuições de energia eletromagnética (Chipman, 2004).

A (figura 4) ilustra esquematicamente os processos e elementos envolvidos na deteção remota com recurso a energia eletromagnética. Os dois processos básicos são a aquisição de dados e a análise de dados. Os elementos do processo de aquisição de dados são: fontes de energia (a), propagação de energia através da atmosfera (b), interações de energia com recursos de superfície terrestre, retransmissão de energia através da atmosfera, receção por sensores espaciais (c,d,e), resultando na geração de dados de sensores em imagens e / ou forma digital (f) (Chipman, 2004).

Posteriormente, já com os dados é feita a interpretação e análise, onde são extraídas informações sobre o tipo, dimensão, localização e estado dos vários recursos que o sensor extraiu (g). Esta informação é então compilada (h), normalmente em forma de mapas, tabelas ou dados espaciais que podem ser combinados com camadas de informação em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Por fim, a informação é utilizada e aplicada para a tomada de decisão (i) por empresas ou indivíduos (Chipman, 2004).

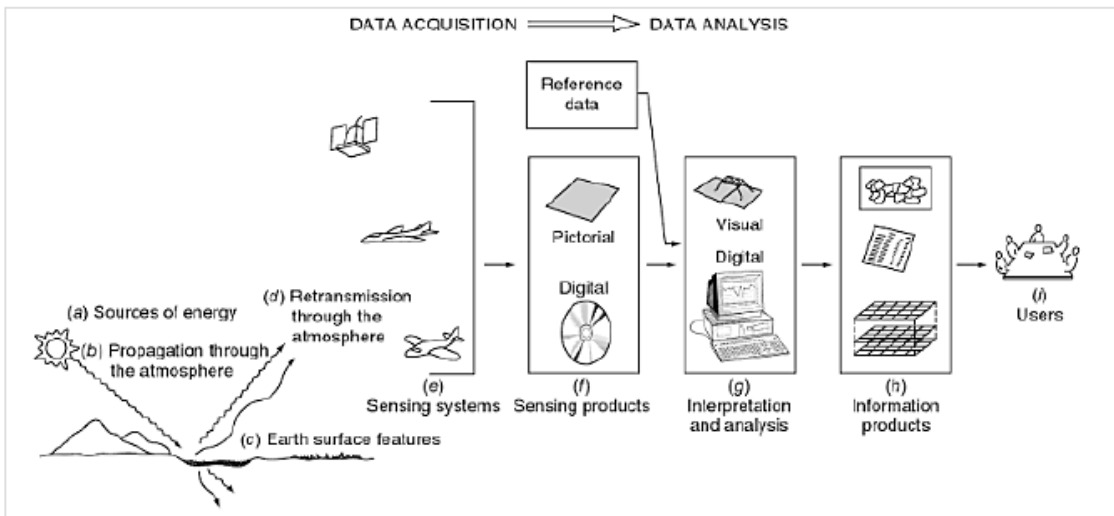


FIGURA 6 - PROCESSO DE DETEÇÃO REMOTA (CHIPMAN, 2004)

A energia solar é transferida para a Terra sob a forma de radiação eletromagnética. A propagação é feita sob a forma de ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz. Uma onda eletromagnética consiste num campo elétrico e num campo magnético, ortogonais entre si e que vibram num plano perpendicular à direção de propagação da onda com uma determinada frequência. O comprimento de onda é a distância entre duas cristas sucessivas do campo elétrico (ou magnético) e o produto do comprimento de onda pela respetiva frequência é igual à velocidade da luz (figura 5).

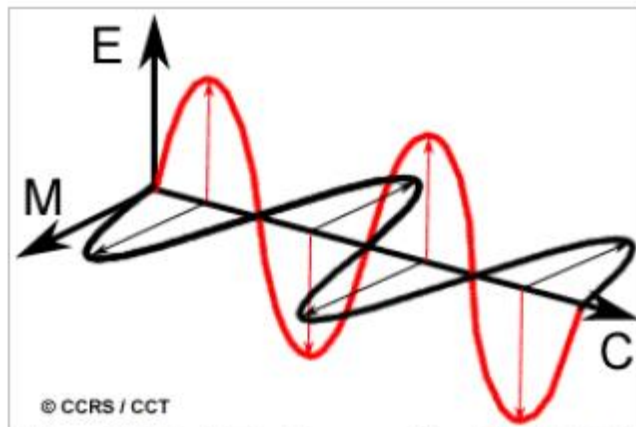


FIGURA 7 - ESQUEMA DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Radiação eletromagnética

O Espectro Eletromagnético vai desde os grandes comprimentos de onda (incluindo as micro-ondas e as ondas rádio) até aos pequenos comprimentos de onda (incluindo os raios X e Gama) (Figura 7).

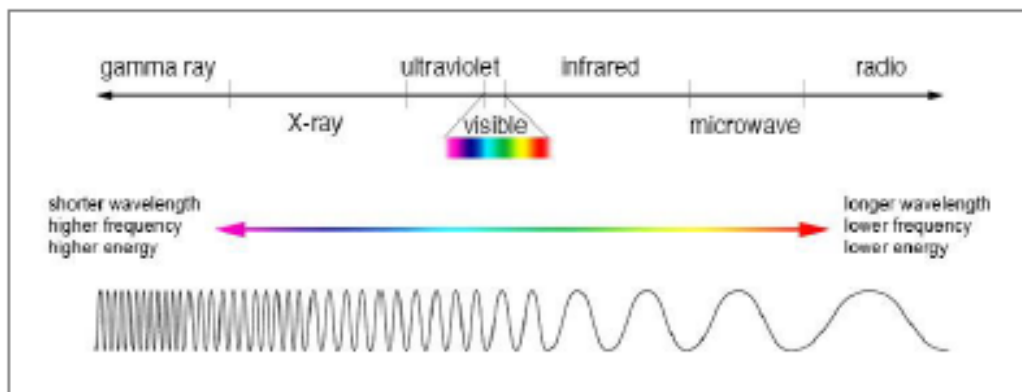


FIGURA 8 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro visível vai desde os 0.4 μm a 0.7 μm .

- Violeta: 0.400 - 0.446 μm
- Azul: 0.446 - 0.500 μm
- Verde: 0.500 - 0.578 μm
- Amarelo: 0.578 - 0.592 μm
- Laranja: 0.592 - 0.620 μm
- Vermelho: 0.620 - 0.700 μm

O Infravermelho vai desde 0.7 μm a 100 μm . A região do infravermelho é subdividida em duas regiões: IV refletido (0.7 μm a 3.0 μm) e IV térmico (3.0 μm a 100 μm).

Na (figura 8) estão representadas as curvas de refletância espectral para vários materiais, e o seu comportamento em função do espectro: vegetação saudável, vegetação seca, solo, areia (rochas e minerais), asfalto, betão, neve, nuvens e água.

A curva da vegetação saudável tem um comportamento de "pico e vale". Apresenta no início valores baixos de refletância na parte visível do espectro. Este comportamento é explicado pela clorofila nas plantas que absorve energia no comprimento de onda situado nos $0.45\mu\text{m}$ e $0.67\mu\text{m}$, refletindo uma quantidade alta de energia na banda verde do espectro. No caso da vegetação seca, a presença de clorofila é menor, e o resultado é menos absorção no espectro visível.

À medida que passamos da parte visível para o infravermelho-próximo a refletância da vegetação saudável aumenta. Esta característica espectral ocorre entre os comprimentos de onda $0.68\mu\text{m}$ e $1.3\mu\text{m}$.

Nos comprimentos de onda de $0.75\mu\text{m}$ a $1.3\mu\text{m}$ (prevalência do espectro infravermelho), as folhas geralmente refletem 40 a 50% da energia incidente.

Os materiais de construção como o betão têm uma baixa refletância até ao comprimento de onda de $0,6\mu\text{m}$ e uma refletância relativamente superior entre os comprimentos de onda $0,6\mu\text{m}$ a $1,3\mu\text{m}$.

O asfalto tem um comportamento semelhante ao betão, mas com níveis mais baixos.

A areia apresenta comportamentos distintos em 3 regiões devido a absorção de diferentes compostos minerais.

A curva do solo apresenta uma variação mais baixa que a vegetação seca. Os fatores que influenciam a reflexão do solo atuam em bandas espectrais menos específicas. Alguns dos fatores que afetam a refletância do solo são o teor de humidade, quantidade de matéria orgânica, textura do solo, rugosidade da superfície e presença ou não de óxido de ferro.

Por fim temos a curva da água, em que o seu comportamento depende do estado em que se encontra. No estado líquido tem baixa refletância nos comprimentos de onda de 0.38 a 0.7 μm e uma absorção total a partir de 0.9 μm .

As nuvens, nos comprimentos de onda de 0.38 μm a 2.5 μm têm uma alta refletância.

A neve, de 0.7 a 1.2 μm , tem uma alta refletância e nos comprimentos de onda 0.38 a 1.2 μm e de seguida apresenta um decréscimo rápido.

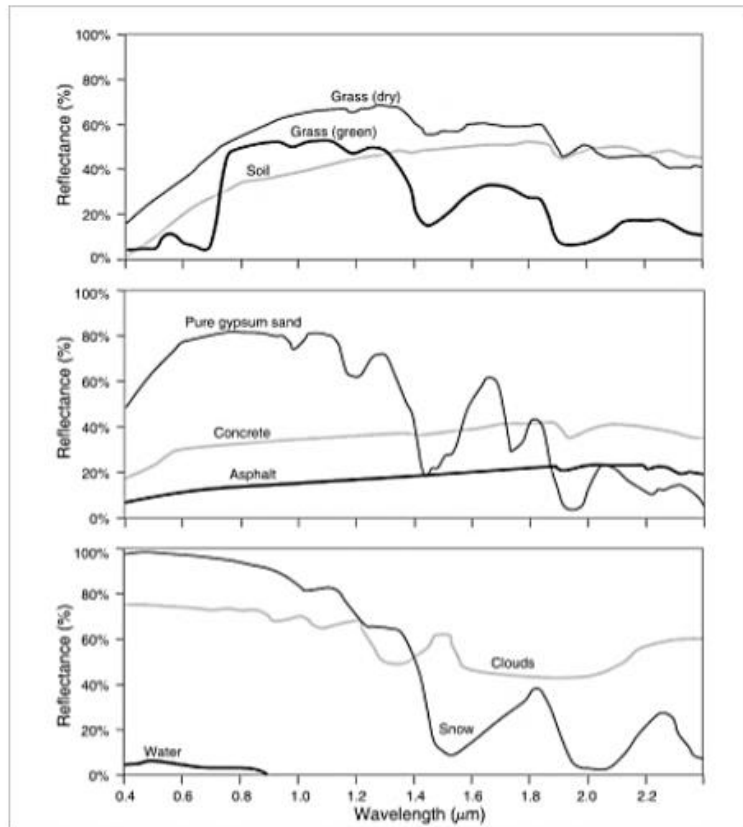


FIGURA 9 - CURVAS DE REFLETÂNCIA ESPECTRAL (CHIPMAN, 2004)

➤ Índices espectrais NBR, dNBR e NDVI

O índice NBR (Normalized Burn Ratio) é um índice que maximiza as mudanças de refletância em plantas e no solo devido a mudanças drásticas. O NBR surge como uma ferramenta útil para destacar áreas queimadas, e para avaliar a gravidade dos danos causados nas áreas percorridas pelo fogo. Este índice é calculado a partir da combinação da banda infravermelha próximo (NIR) e banda infravermelha curta (SWIR).

Na Banda NIR, as áreas queimadas de um ambiente pós-fogo, são menos refletidas, devido às alterações estruturais da vegetação, em contraste com a

Banda SWIR, que são muito refletidas, devido á perda de água no solo e na vegetação.

De modo a identificar e analisar melhor as áreas queimadas das áreas não queimadas, calculou-se o índice dNBR (differed Normalized Burn Ratio), que consiste na diferença do NBR pre-fire e do NBR post-fire.

Os valores mais altos do índice dNBR correspondem a áreas que sofreram uma diminuição importante na atividade fotossintética, tal como em áreas de incêndio, os valores intermédios correspondem a áreas onde a cobertura terrestre sofreu mudanças, enquanto os valores mais baixos indicam um crescimento da atividade fotossintética da cobertura terrestre.

Neste trabalho pretendeu-se ainda compreender passado sensivelmente seis meses como estavam a reagir as parcelas que tinham sido sujeitas ao fogo durante o mês de dezembro de 2017, nomeadamente como respondia a regeneração das plantas em virtude do efeito do fogo.

NDVI é a abreviação da expressão “Normalized Difference Vegetation Index”. Serve para analisar a condição da vegetação natural, e é frequentemente usado para medir a intensidade de atividade clorofiliana, inclusive comparando vários períodos distintos.

O cálculo do NDVI é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas. As bandas correspondentes no sensor do Sentinel – 2 são as bandas 8 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho), respectivamente.

O índice NDVI variam, sendo que os valores mais elevados correspondem as áreas de vegetação densa, enquanto as áreas de solo exposto apresentam valores que se aproximam de zero e áreas de completa ausência de vegetação como a água apresentam valores negativos.

➤ **Fogo controlado**

É ancestral a relação do homem com o fogo, usando-o à medida das suas necessidades vitais. O Homem desenvolveu-se com o fogo ganhando espaço à floresta, conquistando terra e dela se alimentando. O fogo é um fator cuja periodicidade tem sido de vital importância para o Homem e a Natureza ao longo dos séculos.

Em diversas áreas do globo o fogo é parte integrante de muitos ecossistemas, particularmente nos ecossistemas mediterrâneos onde foi um elemento sempre presente. A sua forte influência sobre a vegetação originou adaptações peculiares que contribuem em boa medida para a configuração atual da paisagem.

O Fogo controlado ou prescrito define-se como a aplicação deliberada e exata do fogo sob condições ambientais definidas e conducentes à satisfação de objetivos de gestão específicos e bem formulados, tais como a especificação de uma prescrição, ou seja a definição do ambiente de queima desejado;

O uso do fogo controlado não é novo em Portugal, e os métodos práticos de gestão dos pinhais para a prevenção dos incêndios foram descritos por Frederico Varnhagen, no seu Manual de Instruções Práticas, em 1836.

Como técnica de gestão silvícola, devidamente planeada, foi introduzida em 1982, por iniciativa do Eng^o Moreira da Silva, após a visita a Portugal em 1976 de

Edwin Komarek, “ecologista do fogo” da Tall Timbers Research Station (Flórida, EUA). Desde então, e na sequência desta ação, iniciou-se um processo de acompanhamento para o estudo da adaptação desta técnica às nossas condições, envolvendo essencialmente investigadores da UTAD, entre outros.

Os objetivos de aplicação desta técnica em Portugal são de defesa florestal contra incêndios e gestão de habitats com fins pastoris, cinegéticos e de conservação.

A minimização da área percorrida anualmente por incêndios passa essencialmente pela manutenção de cargas de combustível florestal abaixo de níveis críticos. Este objetivo é possível recorrendo ao uso do fogo controlado, substituindo gradualmente o regime de incêndios destrutivos de verão por um regime de queimas pouco intensas durante o inverno.

A intensidade de um incêndio é proporcional à quantidade de biomassa disponível para arder e à sua velocidade de propagação. O fogo controlado atua sobre o primeiro fator, limitando consideravelmente o potencial energético, mas também sobre o segundo, interrompendo a continuidade horizontal e vertical do combustível e aumentando a dimensão do combustível residual e a sua compactação.

É então legítimo esperar que o fogo prescrito aumente a probabilidade de controlar um incêndio, não só porque reduz a magnitude do comportamento do fogo, mas também porque melhora a acessibilidade e permite o estabelecimento de pontos de apoio às ações de combate.

As potencialidades do fogo controlado não se esgotam no âmbito da prevenção de incêndios, a sua versatilidade permite cumprir diversos outros objetivos, como nas aplicações silvícolas (desbaste e desrama, favorecimento da regeneração, preparação do terreno para instalação, controlo de insetos e fungos patogénicos), na gestão de habitats (pastoreio, cinegética, conservação de espécies e paisagens,

erradicação de plantas exóticas), e até na gestão de recursos aquíferos em regiões semiáridas.

➤ **Área de estudo**

Para ser realizado este relatório que versa sobre a severidade provocada pelo fogo nas plantas e no solo, foram selecionadas 5 parcelas de terreno onde foi empregue a técnica do fogo controlado no âmbito da defesa da floresta contra incêndios, na gestão de habitats e ainda na formação de operacionais de queima entre os dias 01 e 06 de dezembro de 2017, por parte da Força Especial de Bombeiros.

Todas as ações de fogo controlado foram executadas dentro de uma janela meteorológica considerada adequada para a sua realização de acordo com os dados estimados no planeamento. Esta janela meteorológica foi posteriormente validada através dos registos efetuados no terreno.

As áreas selecionadas para este trabalho situam-se todas na região do Alto Minho, distrito de Viana do Castelo, de acordo com o quadro abaixo;

PARCELA	CONCELHO	LOCAL
1	Caminha	Arga de São João
2	Monção	Merufe
3	Monção	Anhões
4	Ponte de Lima	Navió
5	Ponte de Lima	Navió

TABELA 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS PARCELAS

Parcela 1

A parcela 1 situa-se na freguesia da união de freguesias de Arga (Baixo, Cima e São João), concelho de Caminha, Distrito de Viana do Castelo e apresenta uma área de 51,64 hectares.

Ao nível da ocupação do solo a parcela era constituída por matos densos e por matos pouco densos de acordo com a COS_10, sendo que as restantes classes ocupavam áreas residuais (tabela 2).

No que concerne à altimetria esta parcela situa-se entre os 280 e os 560 metros de altitude (figura 10).

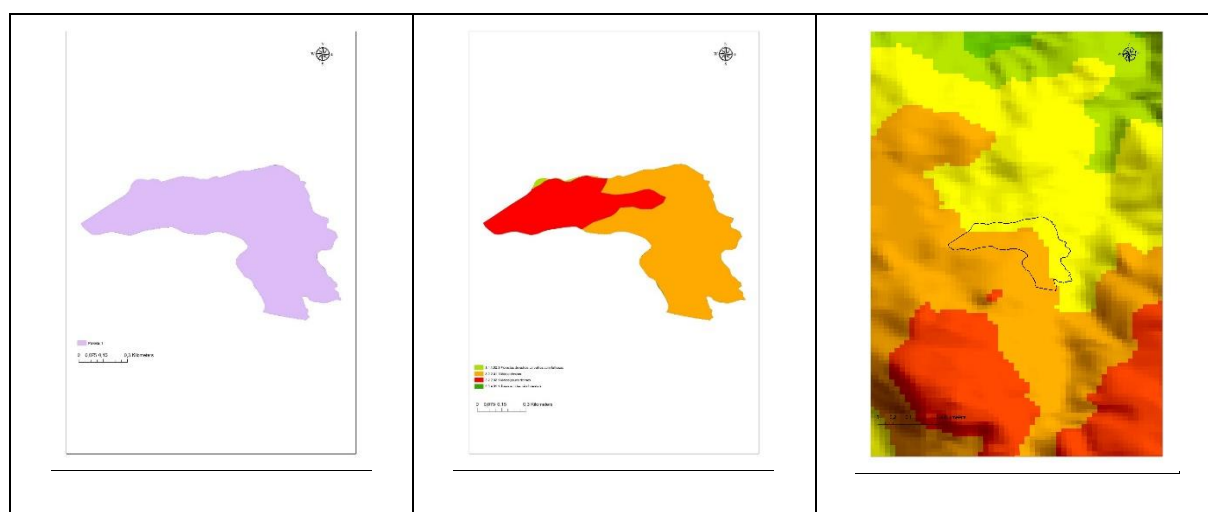


FIGURA 10 - DADOS ESPACIAIS DA PARCELA 1

COS Cod	Descrição	Área (ha)
3.1.1.02.3	Florestas de outros carvalhos com folhosas	0,3
3.2.2.01.1	Matos densos	35,4
3.2.2.02.1	Matos pouco densos	15,9
3.3.4.01.1	Áreas ardidadas não florestais	0,0
		51,64

TABELA 2 - COS DA PARCELA 1

Hora	Temp (°)	Vento (km/h)	Dir. Vento (°)	Humidade (%)
11:00	9	6	200	58
13:00	12	8	181	45
16:00	10	10	178	52

TABELA 3 - DADOS METEOROLÓGICOS DA PARCELA 1

A operação de fogo controlado nesta parcela realizou-se no dia 06 de Dezembro de 2017, tendo a mesma decorrido entre as 10h00 e as 18h00. A técnica de ignição escolhida para conduzir a operação nesta parcela foi o fogo descendente contra o vento usando pontos perimetrais.

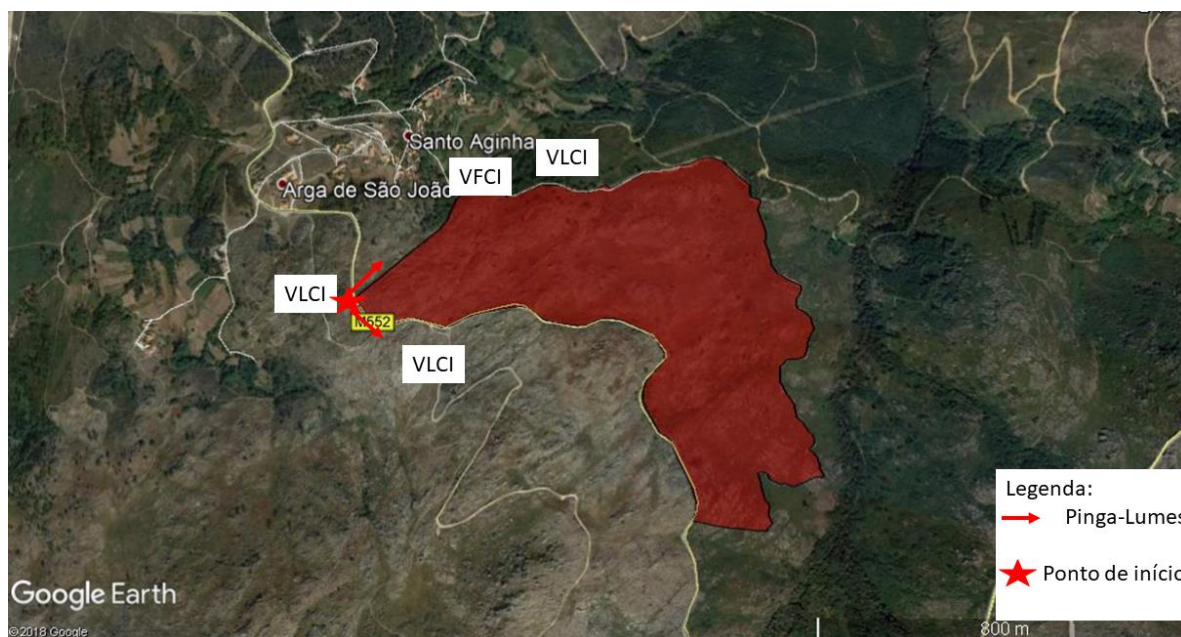


FIGURA 11 - ESQUEMA DE QUEIMA DA PARCELA 1 (FEB)

O objetivo final da realização desta operação vai ao encontro do inscrito no plano municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI) do município de Caminha, e ao mesmo tempo pretende responder às necessidades de gestão de habitats.

Para operacionalizar a operação de queima foram envolvidos os seguintes meios;

- 4 Técnicos;
- 2 Operacionais de Queima;
- 32 Formandos do curso de Operacional de Queima;
- 1 VFCI com 5 bombeiros;
- 3 VLCI com 15 sapadores florestais.



FIGURA 12 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 1 (FEB)



FIGURA 13 – EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 1 (FEB)

Parcela 2

A parcela 2 situa-se na freguesia de Merufe, concelho de Monção, Distrito de Viana do Castelo e apresenta uma área de 64,4 hectares.

Ao nível da ocupação do solo a parcela era constituída por matos densos e por matos pouco denso, de acordo com a COS_10, sendo que as restantes classes ocupavam áreas residuais (tabela 4).

No que concerne à altimetria esta parcela situa-se entre os 560 e os 700 metros de altitude (figura 14).

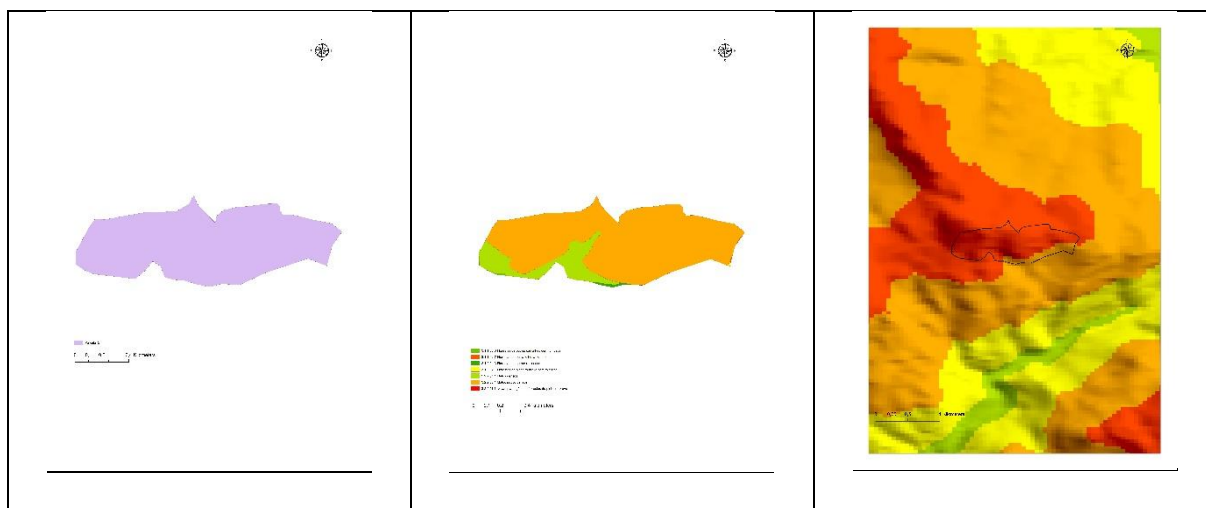


FIGURA 14 - DADOS ESPACIAIS DA PARCELA 2

COS_Cod	Descrição	Área (ha)
3.1.1.02.3	Florestas de outros carvalhos com folhosas	0,106
3.1.1.02.7	Florestas de outra folhosa com folhosas	0,042
3.1.2.01.3	Florestas de outras resinosas	0,310
3.1.3.02.1	Florestas de pinheiro bravo com folhosas	0,027
3.2.2.01.1	Matos densos	9,057
3.2.2.02.1	Matos pouco densos	54,855
3.2.4.11.1	Novas plantações de florestas de pinheiro bravo	0,003
		64,4

TABELA 4 - COS DA PARCELA 2

Hora	Temp (°)	Vento km/h)	Dir. Vento (°)	Humidade (%)
10:00	9	4	90	60
12:00	12	6	75	45
15:00	12	5	90	50

TABELA 5 - DADOS METEOROLÓGICOS DA PARCELA 2 (FEB)

A operação de fogo controlado nesta parcela realizou-se no dia 07 de Dezembro de 2017, tendo a mesma decorrido entre as 09h00 e as 17h00. O tipo de ignição escolhido para a condução do fogo nesta parcela foi o fogo por linhas sucessivas seguindo o esquema na (figura 15).

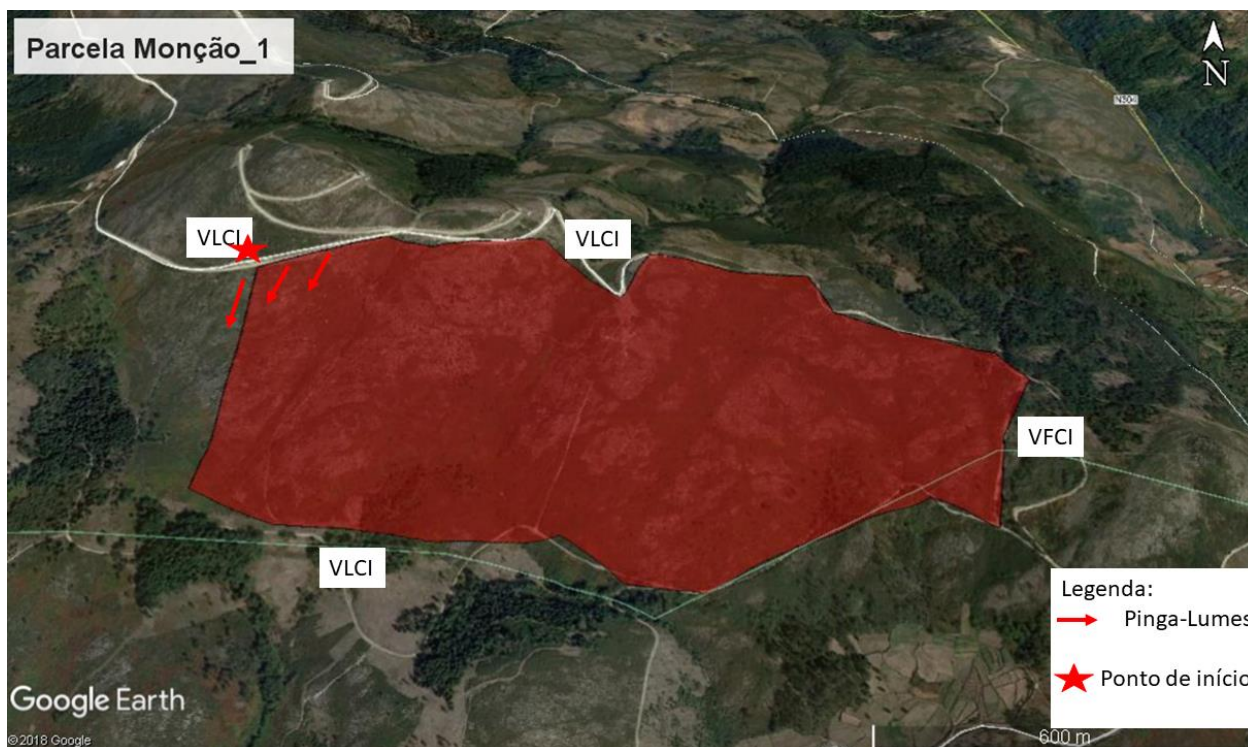


FIGURA 15 - ESQUEMA DE QUEIMA DA PARCELA 2 (FEB)

O objetivo final da realização desta operação vai ao encontro do inscrito no plano municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI) do município de Monção, e ao mesmo tempo pretende responder às necessidades de gestão de habitats.

Para operacionalizar a operação de queima foram envolvidos os seguintes meios;

- 4 Técnicos;
- 1 Operacional de Queima;
- 16 Formandos do curso de Operacional de Queima;
- 1 VFCI com 5 bombeiros;
- 1 VLCI com 5 sapadores florestais.



FIGURA 16 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 2 (FEB)



FIGURA 17 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 2 (FEB)

Parcela 3

A parcela 3 situa-se na união de freguesias de Anhões e Lúzio, concelho de Monção, Distrito de Viana do Castelo e apresenta uma área de 35,2 hectares.

Ao nível da ocupação do solo a parcela era constituída maioritariamente por matos densos, de acordo com a COS_10, sendo que as restantes classes ocupavam áreas residuais (tabela 6).

No que concerne à altimetria esta parcela situa-se entre os 420 e os 700 metros de altitude (figura 18).

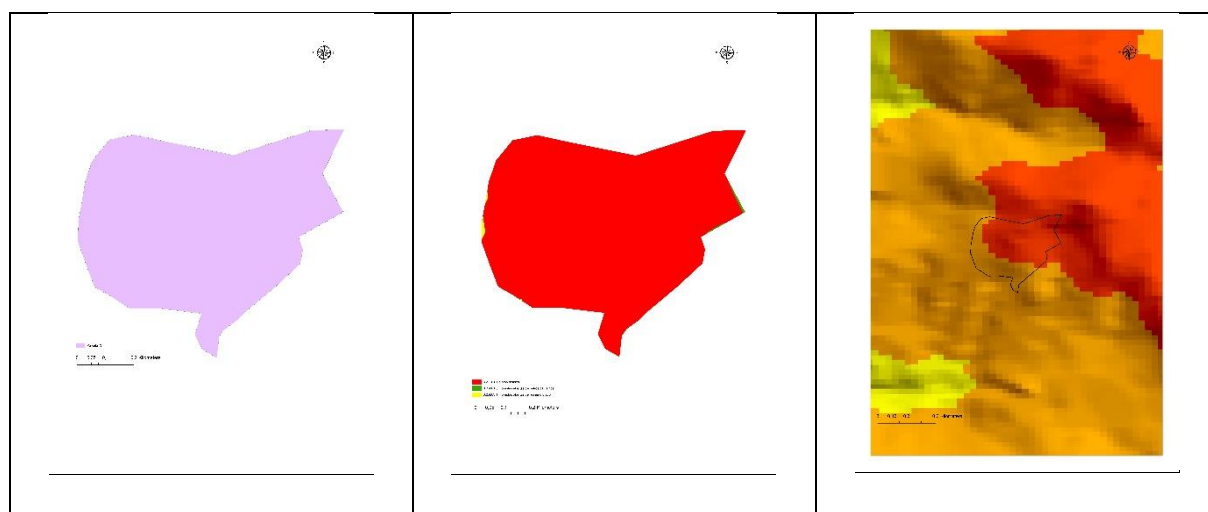


FIGURA 18 - DADOS ESPACIAIS DA PARCELA 3

COS_Cod	Descrição	Área (ha)
3.2.2.01.1	Matos densos	35,10
3.2.4.01.3	Florestas abertas de outros carvalhos	0,07
3.2.4.03.1	Florestas abertas de pinheiro bravo	0,00
3.2.4.03.1	Florestas abertas de pinheiro bravo	0,06
		35,2

TABELA 6 - COS DA PARCELA 3

Hora	Temp (°)	Vento (km/h)	Dir. Vento (°)	Humidade (%)
10:00	10	7	189	59
11:00	11	6	186	54
12:00	13	8	176	48

FIGURA 19 - DADOS METEOROLÓGICOS DA PARCELA 3 (FEB)

A operação de fogo controlado nesta parcela realizou-se no dia 08 de Dezembro de 2017, tendo a mesma decorrido entre as 09h00 e as 16h00. O tipo de ignição escolhido para a condução do fogo nesta parcela foi o fogo descendente contra o vento, seguindo o esquema na (figura 20).

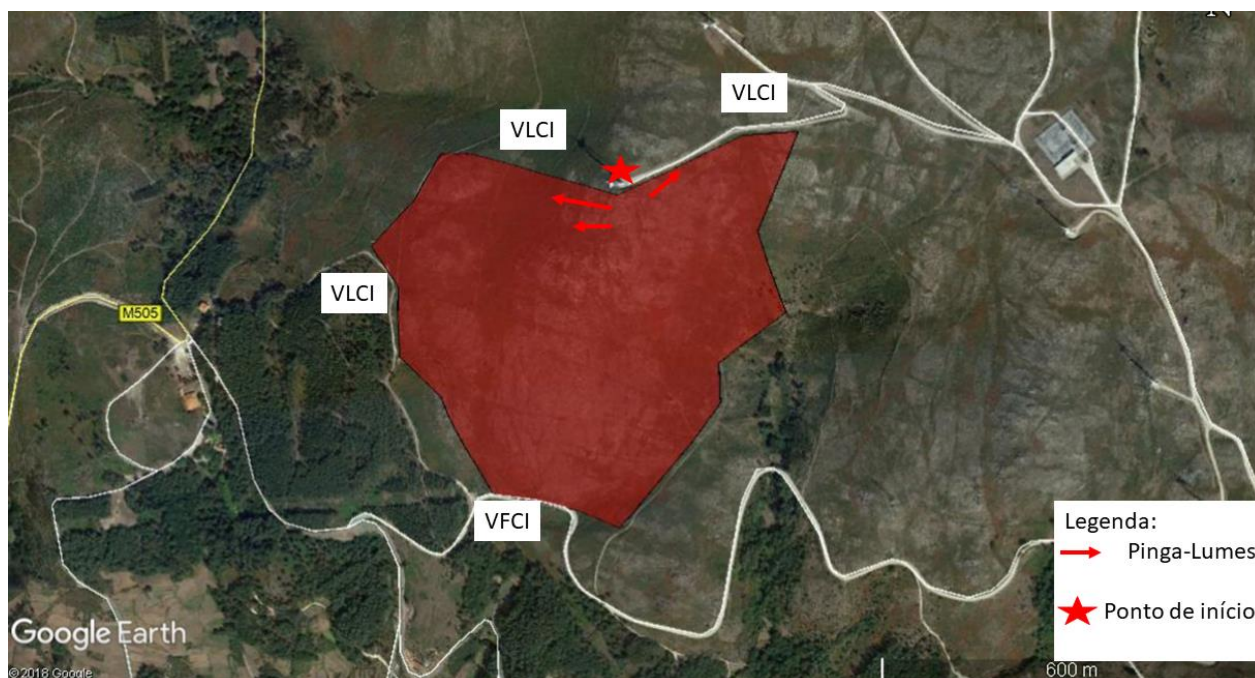


FIGURA 20 - ESQUEMA DE QUEIMA DA PARCELA 3 (FEB)

O objetivo final da realização desta operação vai ao encontro do plano municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI) do município de Monção tendo em conta a defesa da floresta contra incêndios.

Para operacionalizar a operação de queima foram envolvidos os seguintes meios;

- 2 Técnicos;
- 1 Operacional de Queima;
- 16 Formandos do curso de Operacional de Queima;
- 1 VFCI com 5 bombeiros;
- 1 VLCI com 5 sapadores florestais;
- 2 VLCI com 10 elementos da FEB.



FIGURA 21 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 3 (FEB)



FIGURA 22 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 3 (FEB)

Parcela 4

A parcela 4 situa-se na união de freguesias de Navió e Vitorino dos Piães, concelho de Ponte de Lima, Distrito de Viana do Castelo e apresenta uma área de 4,4 hectares.

Ao nível da ocupação do solo a parcela era constituída maioritariamente por áreas ardidadas não florestais, de acordo com a COS_10, sendo que as restantes classes ocupavam áreas residuais (tabela 7).

No que concerne à altimetria esta parcela situa-se entre os 280 e os 420 metros de altitude.

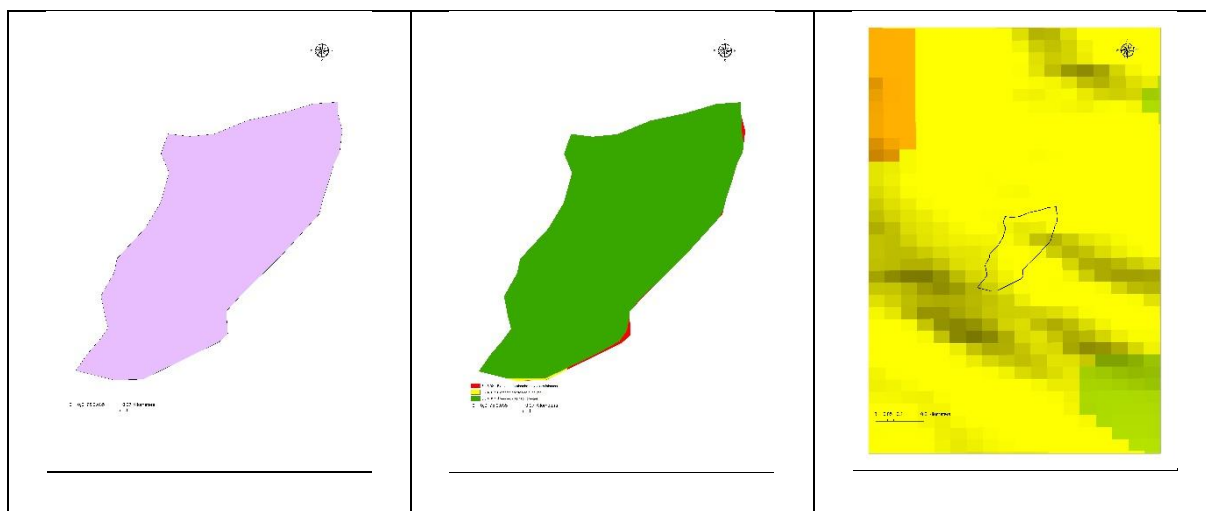


FIGURA 23 - DADOS ESPACIAIS DA PARCELA 4

COS_Cod	Descrição	Área (ha)
3.1.3.02.1	Florestas de pinheiro bravo com folhosas	0,029
3.2.4.01.5	Florestas abertas de eucalipto	0,014
3.3.4.01.1	Áreas ardidas não florestais	4,324
		4,4

TABELA 7 - COS DA PARCELA 4

Hora	Temp (°)	Vento km/h)	Dir. Vento (°)	Humidade (%)
9:00	5	5	270	72
11:00	12	5	270	71
12:00	15	5	270	70

TABELA 8 - DADOS METEOROLÓGICOS DA PARCELA 4

A operação de fogo controlado nesta parcela realizou-se no dia 08 de Dezembro de 2017, tendo a mesma decorrido entre as 09h00 e as 12h00. O tipo de ignição escolhido para a realização a condução do fogo na parcela foi o fogo descendente contra o vento.



O objetivo final da realização desta operação vai ao encontro do plano municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI) do município de Ponte de Lima tendo em conta a defesa da floresta contra incêndios.

Para operacionalizar a operação de queima foram envolvidos os seguintes meios;

- 3 Técnicos;
- 1 Operacional de Queima;
- 16 Formandos do curso de Operacional de Queima;
- 1 VFCI com 5 bombeiros;
- 3 VLCI com 15 sapadores florestais;



FIGURA 24 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 4 (FEB)



FIGURA 25 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 4 (FEB)

Parcela 5

A parcela 5 situa-se na confluência de três freguesias. Para facilitar a sua caracterização, e observando a área ocupada, foi considerada que esta pertenceria à união de freguesias de Navió e Vitorino dos Piães, concelho de Ponte de Lima, Distrito de Viana do Castelo e apresenta uma área de 21,1 hectares.

Ao nível da ocupação do solo a parcela era constituída maioritariamente por áreas ardidadas não florestais, de acordo com a COS_10, sendo que a restante classe ocupava uma área residual (tabela 9).

No que concerne à altimetria esta parcela situa-se entre os 420 e os 560 metros de altitude (figura 26).

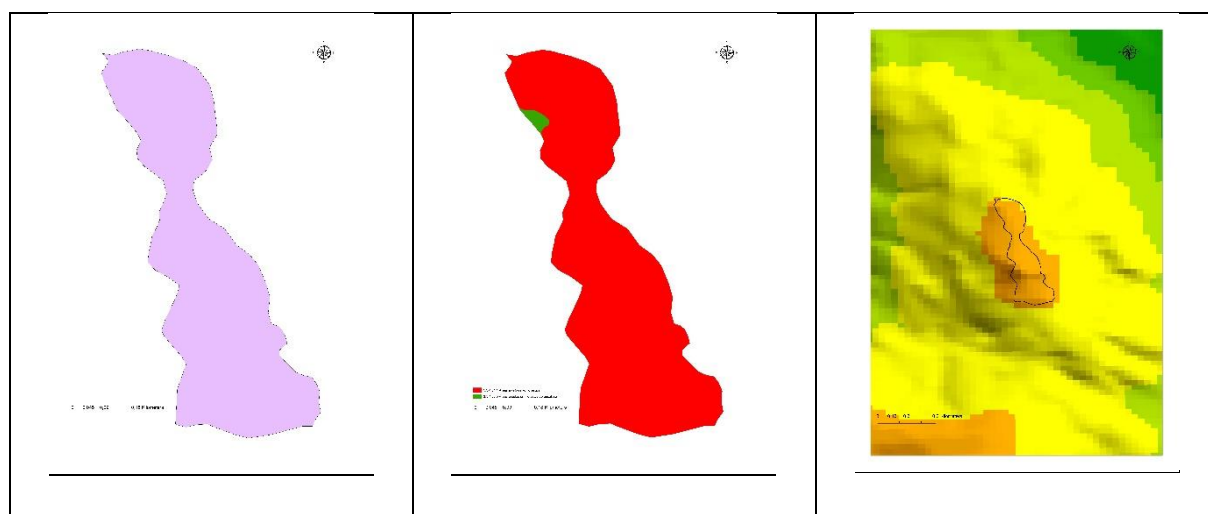


FIGURA 26 - DADOS ESPACIAIS DA PARCELA 5

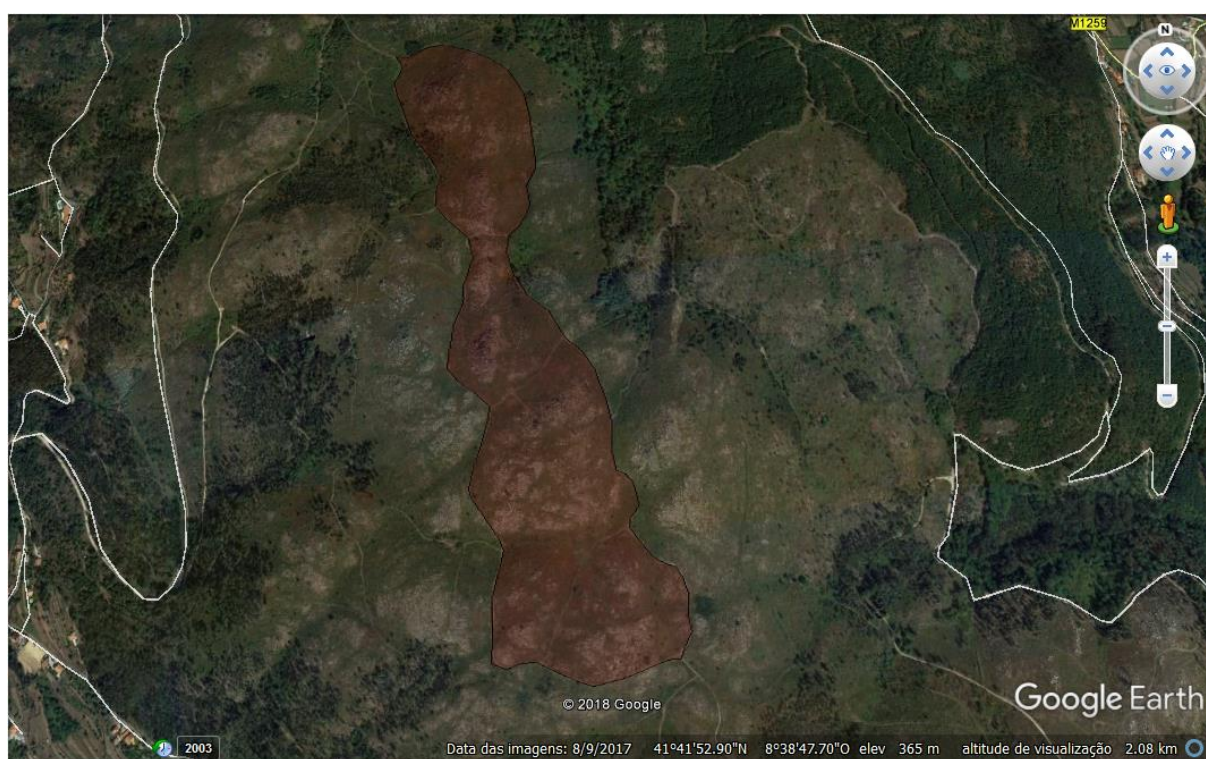
COS_Cod	Descrição	Área (ha)
3.3.4.01.1	Áreas ardidadas não florestais	20,9
3.3.4.02.5	Áreas ardidadas em florestas de eucalipto	0,2
		21,1

TABELA 9 - COS DA PARCELA 5

Hora	Temp (°)	Vento (km/h)	Dir. Vento (°)	Humidade (%)
13:00	17	9,5	215	60
14:00	16	7	250	52
15:00	13	6	270	49

TABELA 10 - DADOS METEOROLÓGICOS DA PARCELA 5

A operação de fogo controlado nesta parcela realizou-se no dia 04 de Dezembro de 2017, tendo a mesma decorrido entre as 09h00 e as 18h00. O tipo de ignição escolhido para a condução do fogo foi o fogo descendente contra o vento.



O objetivo final da realização desta operação vai ao encontro do plano municipal de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI) do município de Ponte de Lima tendo em conta a defesa da floresta contra incêndios.

Para operacionalizar a operação de queima foram envolvidos os seguintes meios;

- 3 Técnicos;
- 1 Operacional de Queima;
- 16 Formandos do curso de Operacional de Queima;
- 1 VFCI com 5 bombeiros;
- 3 VLCI com 15 sapadores florestais;



FIGURA 27 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 5



FIGURA 28 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 5



FIGURA 29 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 5



FIGURA 30 - EXECUÇÃO DO FOGO CONTROLADO NA PARCELA 5

➤ Dados

Foram descarregadas duas imagens do Sentinel-2 (tabela 11) correspondentes à área do Norte de Portugal no portal Copernicus “Open Access Hub” da ESA, onde foram retiradas as imagens relativas às datas de pós-incêndio e pré-incêndio de modo a ser possível fazer uma comparação.

Desta forma, e mediante disponibilidade de imagens no portal, sabendo que o satélite Sentinel-2 tem um período de revisita de 5 dias sob os mesmos ângulos e que por vezes as imagens podem estar afetadas com nuvens ou fumo, foram descarregadas imagens das datas 14/11/2017 (novembro) para pré-incêndio e 24/12/2017 (dezembro) para pós incêndio. Ambas as imagens tinham a mesma dimensão.

Imagem Pré-incêndios: 14/11/2017
Instrumento: MSI
Satélite: Sentinel-2
Tipo de produto: S2_MSI_Level-2A
Dimensões originais: 40980 pixéis x 30978 pixéis
Imagem Pós-incêndios: 24/12/2017
Instrumento: MSI
Satélite: Sentinel-2
Tipo de produto: S2_MSI_Level-2A
Dimensões originais: 40980 pixéis x 30978 pixéis

TABELA 11 - INFORMAÇÃO DAS IMAGENS RECOLHIDAS

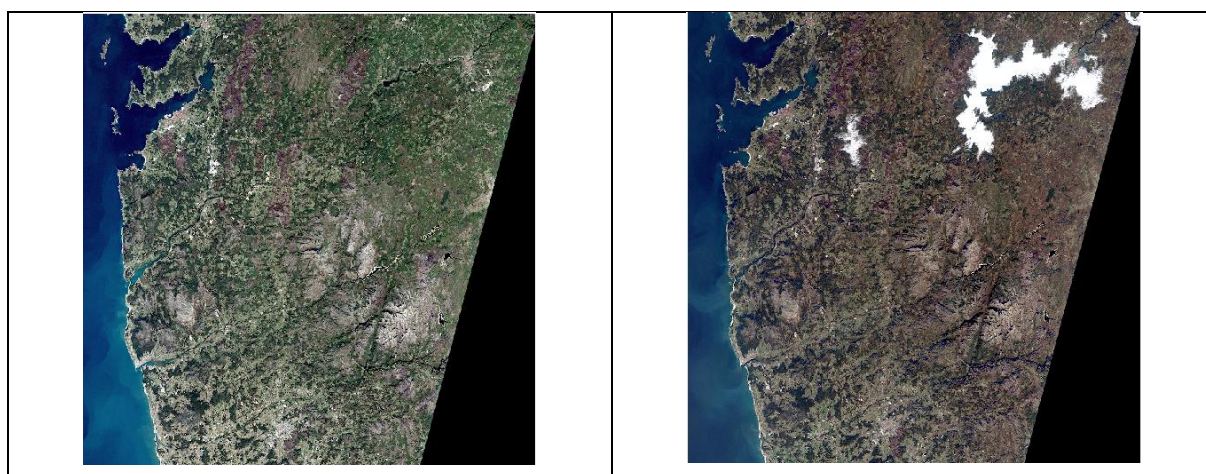


FIGURA 31 - IMAGENS SENTINEL-2 DE NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2017

Este trabalho foi essencialmente focado na investigação da severidade de áreas geridas com fogo controlado, a partir do cálculo dNBR com dados da missão Sentinels, com o apoio de um sistema de informação geográfico, e fundamentado bibliograficamente em investigações desenvolvidas para o cálculo da severidade provocada pelo fogo.

Para a realização do trabalho foi necessário fazer uma pesquisa exaustiva, recorrendo às mais variadas fontes de informação, tais como, artigos científicos, livros, informação disponível na web, entre outros.

A pesquisa relacionada com a utilização dos dados Sentinel-2 para calcular a severidade foi dificultada devido à falta de informação disponível pois a severidade é calculada normalmente a partir de dados da missão Landsat.

Após pesquisa de dados Sentinel, fez-se uma comparação da amplitude de frequências das bandas coletadas pelos satélites Sentinel-2 e Landsat, tal como é apresentado na (figura 32).

Landsat 8 has a 16-day revisit time, with generous overlap between scenes which results in an 8-day revisit time for those areas; Sentinel-2A & 2B has a combined 5-day revisit time (2A & 2B averages are listed below). CW and wavelength are calculated differently for Landsat 8 and Sentinel-2 - see below for description.

L8 Band		CW (µm)	Wavelength (lower-upper)	Bandwidth	Res. (m)	S2 Band		CW (µm)	Wavelength (min-max)	Bandwidth	Res. (m)	
1	C/A	0.443	0.435 - 0.451	0.016	30	C/A	1	0.443	0.421 - 0.457	0.036	60	
2	Blue	0.482	0.452 - 0.512	0.060	30	Blue	2	0.494	0.439 - 0.535	0.096	10	
3	Green	0.561	0.533 - 0.590	0.057	30	Green	3	0.560	0.537 - 0.582	0.045	10	
4	Red	0.655	0.636 - 0.673	0.037	30	Red	4	0.665	0.646 - 0.685	0.039	10	
							5	VRE	0.704	0.694 - 0.714	0.020	20
							6	VRE	0.740	0.731 - 0.749	0.018	20
							7	VRE	0.781	0.768 - 0.796	0.028	20
							8	NIR	0.834	0.767 - 0.908	0.141	10
5	NIR	0.865	0.851 - 0.879	0.028	30	NIR	8a	0.864	0.848 - 0.881	0.033	20	
							9	WV	0.944	0.931 - 0.958	0.027	60
9	Cirrus	1.373	1.363 - 1.384	0.020	30	Cirrus	10	1.375	1.338 - 1.414	0.076	60	
6	SWIR	1.609	1.567 - 1.651	0.085	30	SWIR	11	1.612	1.539 - 1.681	0.142	20	
7	SWIR	2.201	2.107 - 2.294	0.187	30	SWIR	12	2.194	2.072 - 2.312	0.240	20	
8	Pan	0.590	0.503 - 0.676	0.172	15							
10	TIRS	10.895	10.60 - 11.19	0.590	100 *							
11	TIRS	12.005	11.50 - 12.51	1.010	100 *							

* Acquired at 100 meter resolution and resampled to 30 meters.

L8 is Landsat 8; **S2** is the average of Sentinel-2A and Sentinel-2B (values are very similar for each; the largest proportional difference is the bandwidth for Band 1, which is .027 for 2A and .045 for 2B); **CW** is band Central Wavelength in micrometers (see below for calculation methods); **Res. (m)** is Square Pixel Side Length in meters; **C/A** is Coastal/Aerosol (also known as Ultra Blue); **NIR** is Near Infrared; **SWIR** is Shortwave Infrared; **Pan** is Panchromatic; **TIRS** is Thermal Infrared; **VRE** is Vegetation Red Edge (the spectral zone where reflectance abruptly increases from red to infrared); **WV** is water vapor.

Landsat 8 values are from NASA (2017). For Landsat 8, NASA calculates center wavelength with the full width at half maximum (FWHM) method, which essentially uses the average from a large percent of the centered distribution. The "lower and upper" values are FWHM boundaries.

Sentinel-2A and 2B values are the average from the metadata files of each satellite (ESA, 2017a). Sentinel-2 metadata shows the "min", "max", and "central" value of each bands. We have not been able to verify the calculation method for the central value, but is not the midpoint between the "min" and "max" values. Based on our search, it is likely a weighted average (but this cannot be confirmed). Similar values can also be found at ESA (2017b).

FIGURA 32 - COMPARAÇÃO DAS BANDAS LANDSAT E SENTINEL-2

Todas as imagens usadas são produto padrão do Sentinels-2, obtidos a partir da ESA (European Space Agency). Os ficheiros são descarregados a partir da base de dados Web da ESA num compósito de ficheiros, constituídos por orto-imagens de 100x100 km² com um modelo de coordenadas UTM / WGS84.

As bandas necessárias para realização do trabalho foram NIR (banda infravermelha próximo) e SWIR (banda infravermelha curta) com uma resolução espacial de 20 metros. A amplitude espectral da banda NIR é de 0.767-0.881 nm, e a banda SWIR com uma amplitude espectral de 1.539-2.312 nm, o que corresponde à banda 8 e 8A e à banda 11 e 12, tal como representa a (figura 33).

Sentinel-2 has a planned 5-day revisit time. Sentinel-2 Level 1C processed imagery (free) is in Top of Atmosphere (TOA) reflectance, so conversion to surface reflectance is a simpler process than with Landsat in digital number (DN) format. It is important to realize that Sentinel bands have different pixel resolution, varying from 10 to 60 meters. Bandwidths and band center wavelengths are listed in the [Sentinel-2 User Handbook](#) (PDF; opens in new tab) starting on page 53, and are the same as in the graphics below except for band 9 which is shown as 940 nm below but is listed as 945 in the User Handbook. **As is the case with Landsat, Sentinel-2 is outstanding free imagery that should be made use of.**

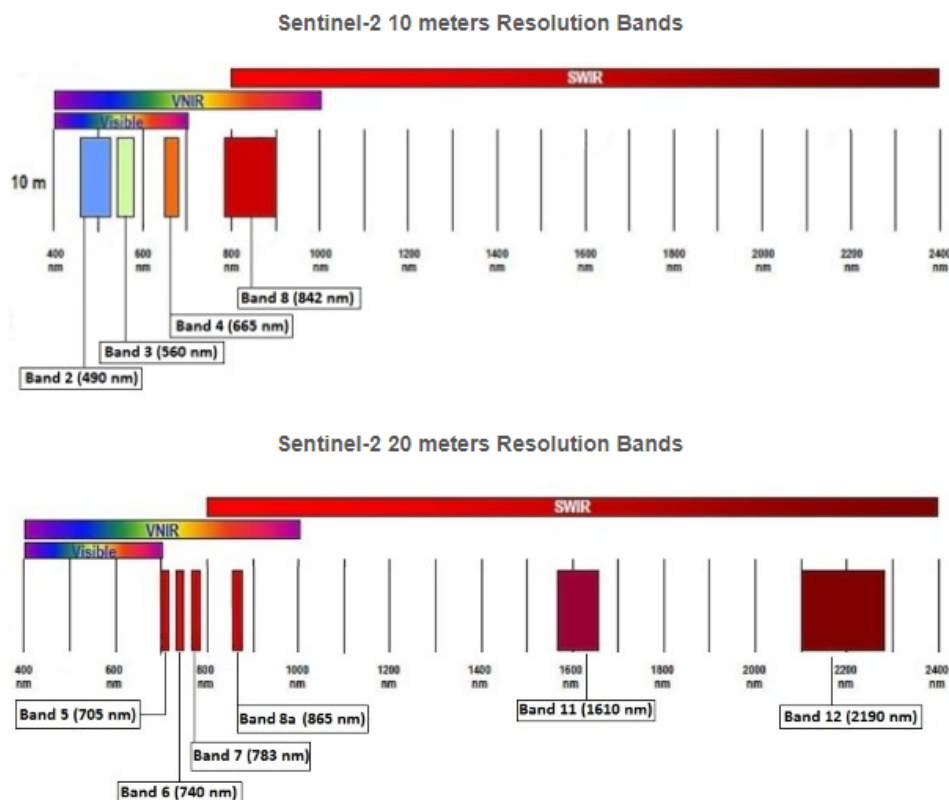


FIGURA 33 - DESIGNAÇÃO DAS BANDAS SENTINEL-2

Para a realização do trabalho utilizaram-se diversas aplicações, nomeadamente, o ArcGis 10.4 para Análise Espacial, e o SNAP para tratamento das imagens satélite.



FIGURA 34 - APLICAÇÕES INFORMÁTICAS UTILIZADAS NO TRABALHO

➤ **Calculo dos índices**

Na etapa de processamento e tratamento dos dados para o cálculo dos índices de área ardida, em primeiro lugar usou-se o software SNAP, onde se selecionou para cada imagem pré e pós fogo as bandas que viriam a ser usadas no cálculo dos índices espectrais necessários (B8 e B12) removendo as restantes bandas, sendo de seguida efetuada a sua reamostragem para ficarem com uma resolução espacial de 10 metros.

Desta forma as bandas ficaram com dimensões e com resoluções iguais, sendo a partir deste momento possível calcular os índices espectrais, dado que ambas as

imagens estavam reamostradas e cortadas através de um processo de “Batch Processing”.

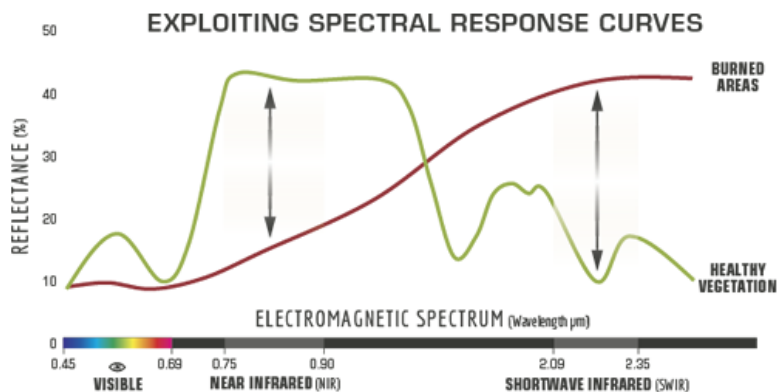
O índice NBR foi desenvolvido com base nas bandas TM e ETM + 4 e 7 do Landsat, mas funciona com qualquer sensor multiespectral com uma banda NIR entre 760 - 900 nm e uma banda SWIR entre 2080 - 2350 nm. Assim, este índice pode ser usado com os sensores Landsat 8, MODIS, Sentinel, entre outros.

De acordo com o trabalho de base, o índice (NBR) é utilizado para identificar áreas queimadas, e a sua fórmula é similar ao índice (NDVI), com a exceção de que este utiliza bandas do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR) do espectro eletromagnético (Key e Benson, 1995).

As plantas refletem fortemente na zona NIR do espectro, mas no espectro SWIR refletem muito menos, o que torna esta combinação poderosa para identificar as chamadas (burn scars) Em suma o NBR é um índice que permite perceber a extensão do fogo, uma vez que reflete o cálculo da diferença entre as condições pré e pós-incêndio.

Este índice torna-se menos eficaz se a imagem satélite pós fogo for muito tardia, uma vez que regeneração da vegetação pode iniciar-se logo após o incêndio. Caso o processo de regeneração da vegetação tenha começado de imediato após o fogo, a área afetada pelo fogo começará a refletir um sinal mais forte na zona NIR do espectro, uma vez que o surgimento de novas plantas começam a refletir novamente a energia eletromagnética.

Assim alerta-se para o fato que o índice NBR funciona melhor em áreas onde a regeneração de plantas ocorre de forma mais lenta, ou seja em áreas como os trópicos, que são húmidos e caracterizados por rápido crescimento, o NBR pode ser menos efetivo.



Plants reflect strongly in the NIR portion of the spectrum but reflect much less strongly in the SWIR portion which makes this combination powerful for identifying areas with standing dead stems (fire scarred wood / bark) and soil / earth.
Source: US Forest Service

As bandas utilizadas para este cálculo foram a B8 (que corresponde à banda NIR) e a B12 (que corresponde à banda SWIR), assim sendo, a expressão para o seu cálculo foi:

$$NBR = \frac{B8 - B12}{B8 + B12} * 1000$$

Salienta-se que o cálculo NBR teve de ser efetuado em diferentes datas, de modo a obter o valor “pre-fire”, e o valor “post-fire”.

$$NBR_{pre_fire} = \frac{B8_{pre} - B12_{pre}}{B8_{post} + B12_{post}} * 1000$$

$$NBR_{post_fire} = \frac{B8_{post} - B12_{post}}{B8_{post} + B12_{post}} * 1000$$

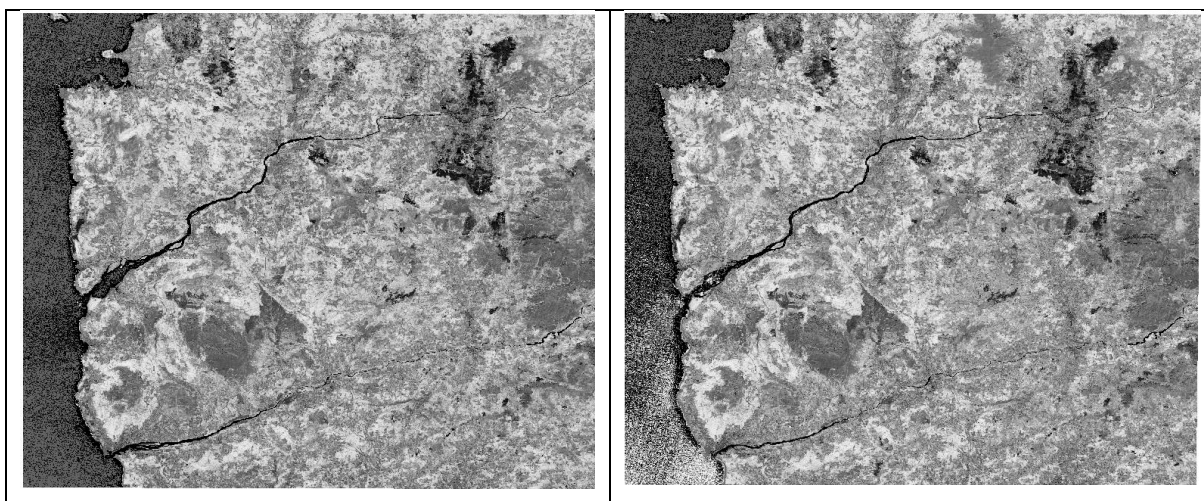


FIGURA 35 - IMAGENS NBR DE NOVEMBRO E DEZEMBRO

Após o cálculo do NBR, calculou-se o dNBR, de modo a destacar as áreas que sofreram mudanças provocadas pelo efeito do fogo, sendo desta forma possível observar a diferença entre as áreas queimadas e as áreas verdes.

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

O índice dNBR é uma ferramenta que permite perceber a extensão e a gravidade provocada pelo fogo uma vez que está relacionado com o cálculo da diferença entre as condições pré e pós-incêndio.

É importante ter em mente que a tabela da (figura 37) é uma interpretação das possíveis dos resultados dNBR, ou seja o termo “severidade” é um termo qualitativo que pode ser quantificado de formas diferentes.

Para que as abordagens de classificação representem o que realmente aconteceu em termos de severidade do fogo é necessário verificar as condições reais ao nível do solo. Este processo de confirmação dos valores obtidos a partir de dados de detecção remota chama-se de validação.

Após o cálculo do índice (dNBR) foi possível observar as cicatrizes no território, nesta altura o que observávamos eram áreas percorridas pelo fogo, neste caso por incêndios rurais ou por execução de fogo controlado.

A (figura 36) revela áreas afetadas por fogo em ambos os contextos através das manchas brancas visíveis no território.

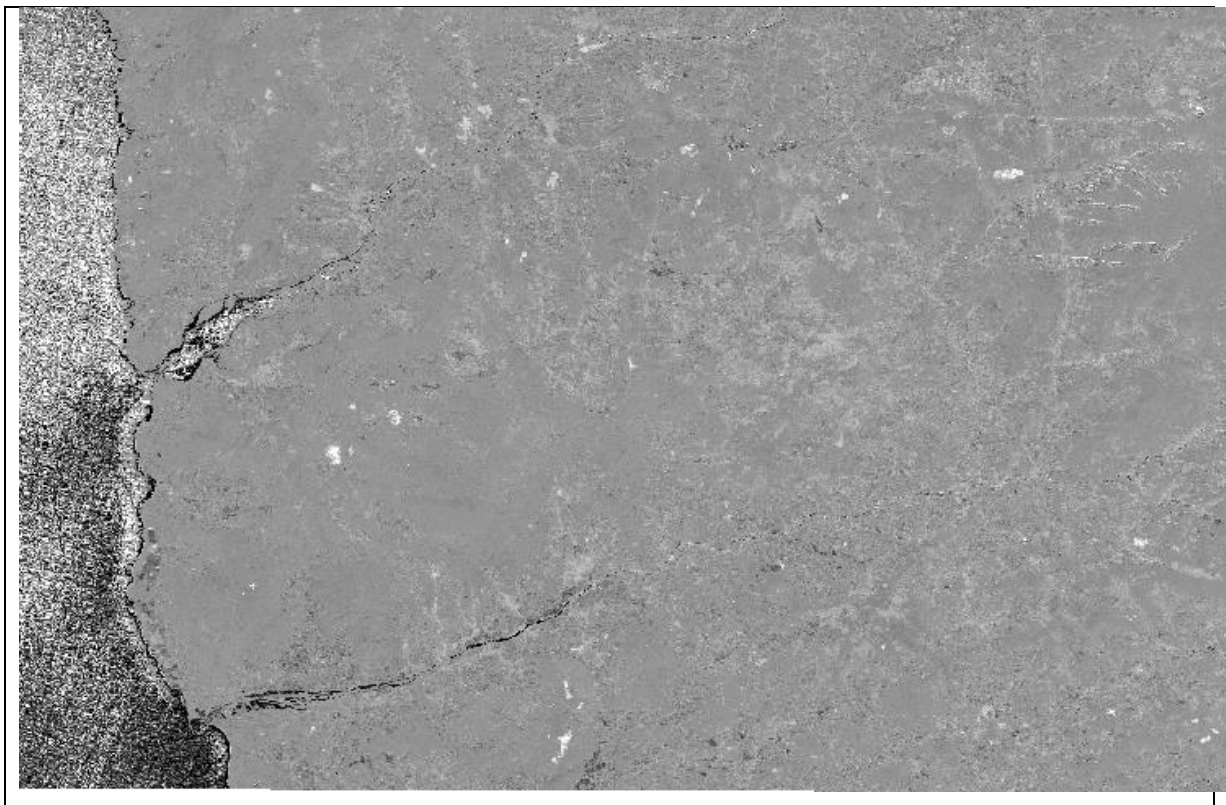


FIGURA 36 - IMAGEM DNBR

Por fim calculou-se o índice NDVI. Este índice tem sido usado para análise de deteção de mudanças na vegetação em muitos estudos (Huang e Siegert, 2006; Ahl et al., 2006; de Boer, 2000), e é calcula a partir da seguinte expressão;

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

O NDVI foi calculado seis meses após a execução do fogo controlado ter ocorrido. As expressões para o cálculo deste índice são apresentadas na tabela 3.

➤ **Classificação da severidade**

Depois de realizados os cálculos fazendo uso das equações anteriormente mencionadas foi necessário classificar os resultados segundo os níveis de severidade devolvidos.

A severidade do fogo é um termo que exprime o regime térmico sub-superficial que o fogo origina, e influencia grandemente os efeitos do fogo no solo e nas plantas.

A severidade está diretamente relacionada com o grau de aquecimento e/ou consumo da manta morta, e com o consumo de material lenhoso, especialmente o de maiores dimensões, e de acordo com o manual de formação técnica para fogo controlado elaborado pela UTAD pode ser classificada da seguinte forma;

- ✓ ***Não ardido***

- ✓ ***Severidade muito reduzida*** — folhagem amarelecida, chamuscamento ou queima ligeira da folhada e vegetação superficial.

- ✓ ***Severidade reduzida*** — combustível lenhoso mais fino é consumido parcialmente. A folhada superficial arde toda ou parcialmente, e o topo da folhada inferior pode ficar enegrecido. As partículas do combustível superficial, por exemplo as agulhas, podem ser reconhecíveis na sua forma original. Não há aquecimento do solo.

- ✓ **Severidade moderada** — a folhada superficial e a folhagem e rebentos finos do sub-bosque são totalmente consumidos. A manta morta inferior, lenha em decomposição e material lenhoso de maiores dimensões arde parcialmente. Um leito de cinzas e raízes e rizomas queimados são visíveis. Pode ocorrer algum aquecimento do solo mineral se a camada orgânica for pouco espessa.

- ✓ **Severidade elevada** — está presente uma camada espessa de cinzas, toda ou quase toda a matéria orgânica é removida, incluindo a vegetação do sub-bosque. O aquecimento do solo é importante onde haja consumo de material lenhoso de grande calibre ou de mantas mortas espessas.

Porém a metodologia seguida neste trabalho para classificar os níveis de severidade e definir os seus intervalos foi a proposta por Carl Key e Nathan Benson em (...Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio...) de acordo com a (figura 37).

Severity level	dNBR range
Enhanced regrowth, high	-500 to -251
Enhanced regrowth, lo	-250 to -101
Unburned	-100 to +99
Low severity	+100 to +269
Moderate-low severity	+270 to +439
Moderate-high severity	+440 to +659
High severity	+660 to +1300

(dNBR value ranges are flexible; scene-pair dependent; shifts in thresholds ± 100 points are possible. dNBR less than about -550, or greater than about +1,350 may also occur, but are *not* considered burned. Rather, they likely are anomalies caused by misregistration, clouds, or other factors not related to real land cover differences.)

FIGURA 37 - INTERVALO DE DADOS DNBR

O conjunto de dados obtidos nas operações de cálculo foram assim definidos por níveis de severidade e respectivos intervalos para que fosse possível simplificar a sua compreensão e facilitar a sua comparação. Key e Benson utilizam uma configuração de sete níveis, mas neste trabalho apenas foram considerados (5) níveis entre (Unburned e High severity).

Os intervalos dos valores do dNBR variam entre as suas classes. Valores inferiores a (-500), ou superiores a (+1.300) podem surgir com alguma frequência. Quando surgem estes valores, os mesmos não são considerados como pixels queimados, uma vez que estes valores são considerados como anomalias causadas por erros de registo.

Salienta-se igualmente que os níveis de severidade mais baixos futuramente vão refletir áreas de maior regeneração no “pós fogo”, e ocorrem quase exclusivamente em comunidades herbáceas onde o dNBR geralmente é negativo.

A utilização dos intervalos de definição dos níveis de severidade são extremamente úteis para diferentes propósitos, tais como;

- Análise estatística
- Elaboração mapas de severidade

Para efetuar a divisão e para classificar os intervalos recorreu-se á ferramenta “reclassify” para que fosse possível criar uma divisão ordinária relacionada com os níveis de severidade. Como resultado final obtiveram-se os dados definitivos que vão permitir efetuar uma análise mais apurada dos efeitos do fogo nas parcelas em estudo.

De seguida foi necessário calcular a estatística zonal por parcela para que fosse possível obter dados discriminados por níveis severidade tendo em conta a

ocupação do solo (COS_10) para ser possível efetuar uma análise cuidada do efeito do fogo nas parcelas. Para tal recorreu-se à ferramenta “tabulate area”. A utilização desta ferramenta permite efetuar a contagem de todos os pixéis de acordo com os níveis de severidade (figura 39).

A partir deste momento obteve-se uma tabela de atributos onde é possível comparar os níveis de severidade (nesta figura ainda representados pelas colunas value), face á área queimada por ocupação do solo. Voltaremos á demonstração destes dados no capítulo dos resultados.

Rowid	DESCRICAO	VALUE 1	VALUE 2	VALUE 3	VALUE 4	VALUE 5
1	3.1.1.02.3 Florestas de outros carvalhos com folhosas	2600	300	0	0	0
2	3.2.2.01.1 Matos densos	82200	45900	53500	76100	96600
3	3.2.2.02.1 Matos pouco densos	113800	31700	9900	3600	100
4	3.3.4.01.1 Áreas ardidas não florestais	200	0	0	0	0

FIGURA 38 - EXECUÇÃO DA FERRAMENTA "TABULATE AREA"

De forma simplificada o organograma abaixo representa os passos necessários desde a recolha das imagens Sentinel 2, até à elaboração do relatório final.

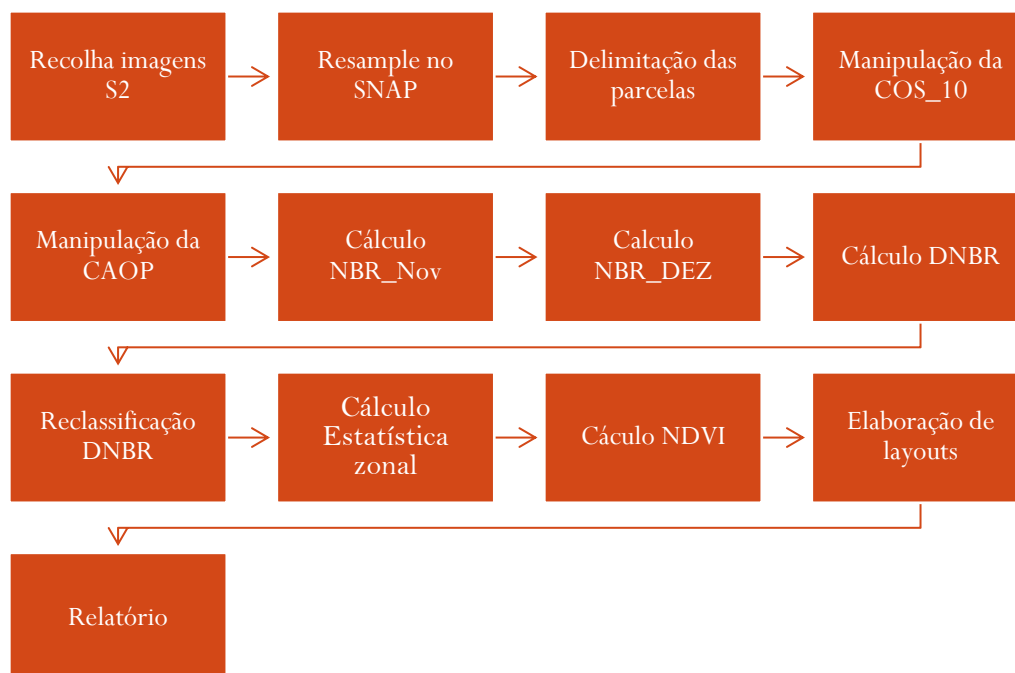


FIGURA 39 - ORGANOGAMA MANIPULAÇÃO DOS DADOS

➤ Resultados

Como referido anteriormente, neste trabalho, estudou-se a severidade causada pelo uso do fogo na gestão de combustíveis em âmbito de defesa da floresta contra incêndios, e na gestão de habitats através da técnica de deteção remota.

A parcela (1) foi queimada no dia 06 de Dezembro de 2017, no distrito de Viana do Castelo, no concelho de Caminha, na freguesia de Arga de São João. A partir do intervalo dos dados obtidos foi possível classificar a severidade nos diferentes níveis da seguinte forma;

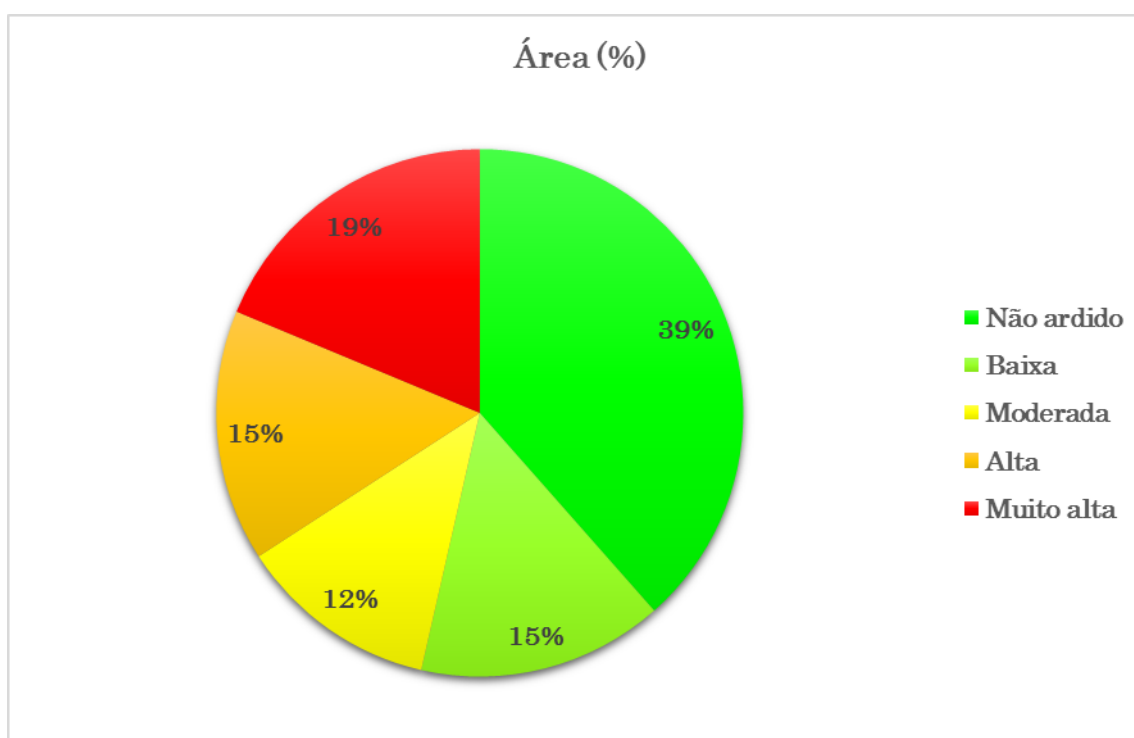


FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DA SEVERIDADE NA PARCELA 1

Assim, constata-se que cerca de 39% da área desta parcela foi considerada como não ardida, enquanto 15% foi classificada de baixa severidade. Ao invés 12% da área foi classificada de média severidade, 15% de alta e 19% de muito alta severidade, tal como podemos observar na (figura 41).

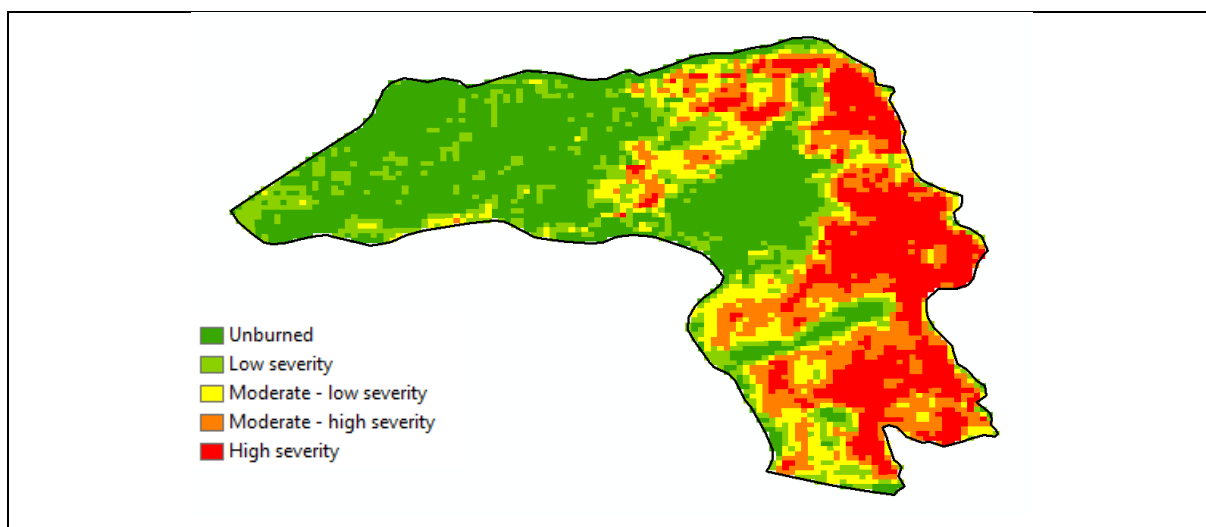


FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SEVERIDADE NA PARCELA 1

A parcela (2) foi queimada no dia 07 de Dezembro de 2017, no distrito de Viana do Castelo, no concelho de Monção, na freguesia de Merufe. A partir do intervalo dos dados obtidos foi possível classificar a severidade nos diferentes níveis da seguinte forma;

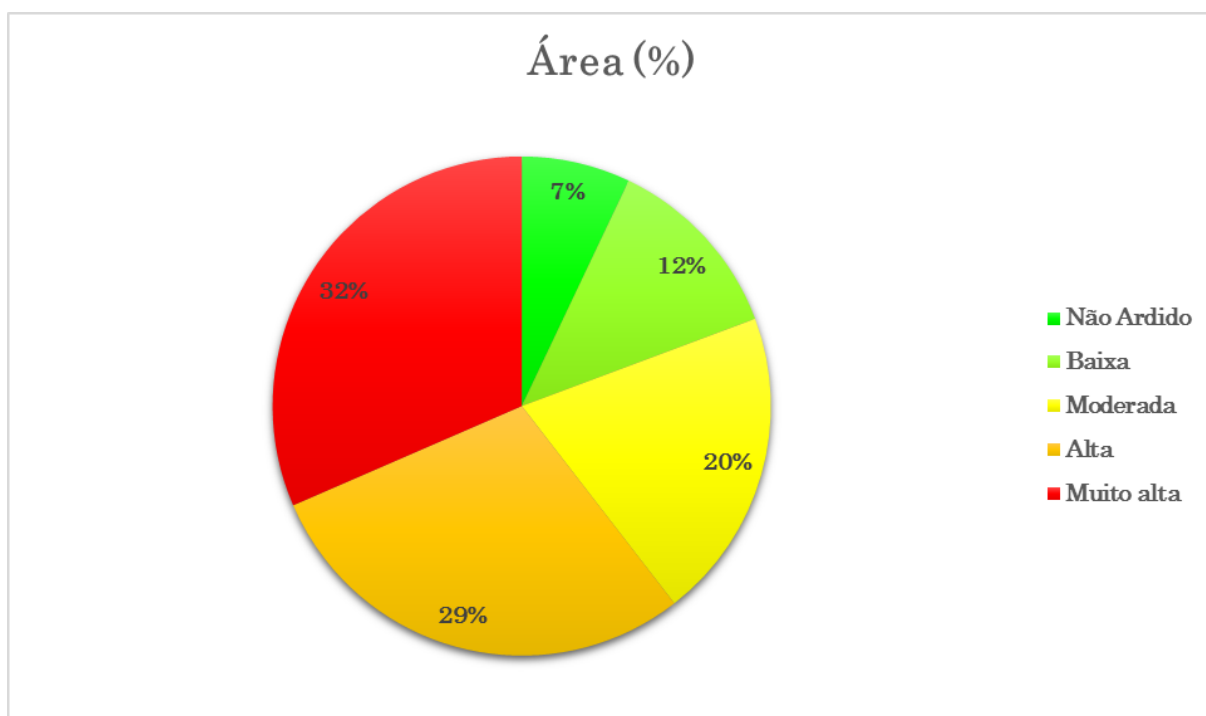


FIGURA 42 - DISTRIBUIÇÃO DA SEVERIDADE NA PARCELA

Assim, constata-se que 7% da área desta parcela foi considerada como não ardida, enquanto 12% foi classificada de baixa severidade. Ao invés 20% da área foi classificada de média severidade, 29% de alta e 32% de muito alta severidade, tal como podemos observar na (figura 43).

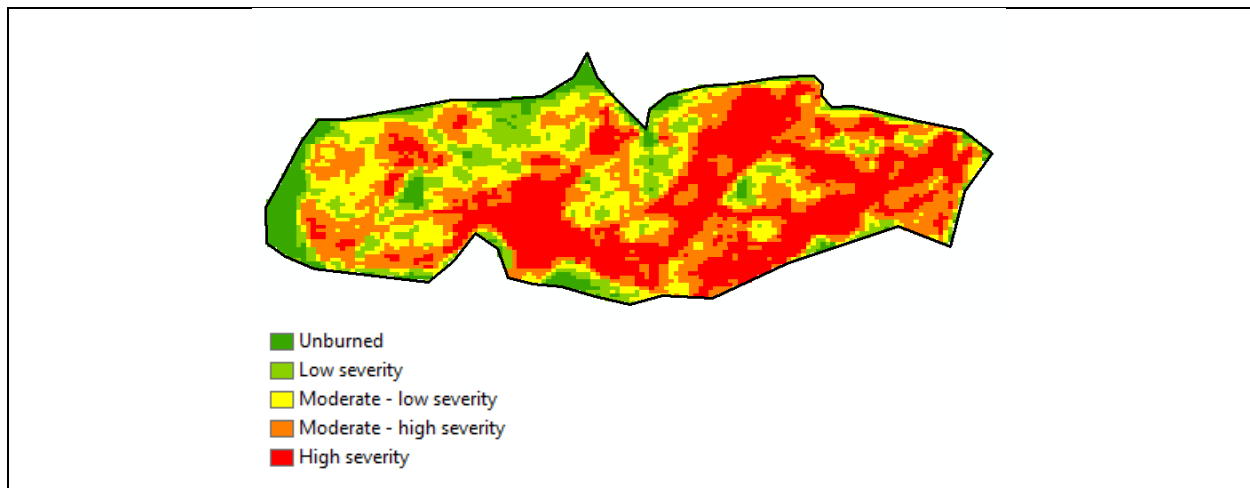


FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SEVERIDADE NA PARCELA 2

A parcela (3) foi queimada no dia 08 de Dezembro de 2017, no distrito de Viana do Castelo, no concelho de Monção, na freguesia Anhões. A partir do intervalo dos dados obtidos foi possível classificar a severidade nos diferentes níveis da seguinte forma;

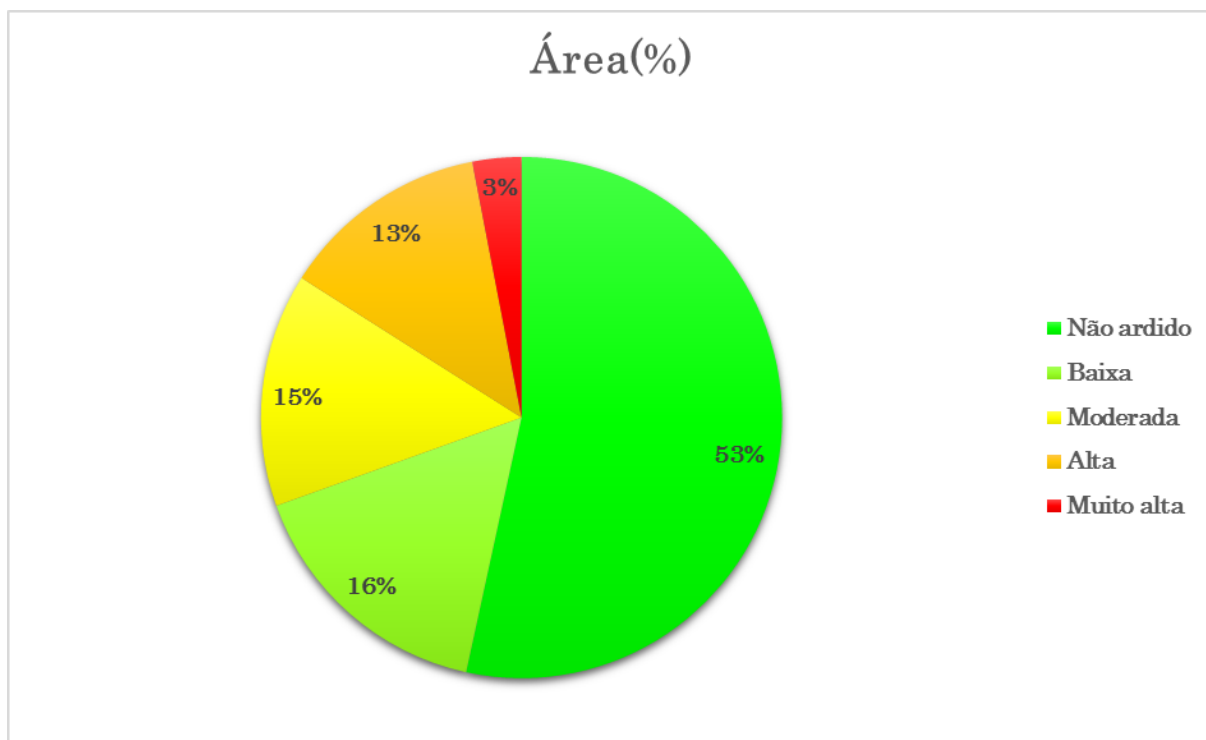


FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DA SEVERIDADE NA PARCELA 3

Assim, constata-se que cerca de 53% da área desta parcela foi considerada como não ardida, enquanto 16% foi classificada de baixa severidade. Ao invés 15% da área foi classificada de média severidade, 13% de alta e 3% de muito alta severidade, tal como podemos observar na (figura 45).

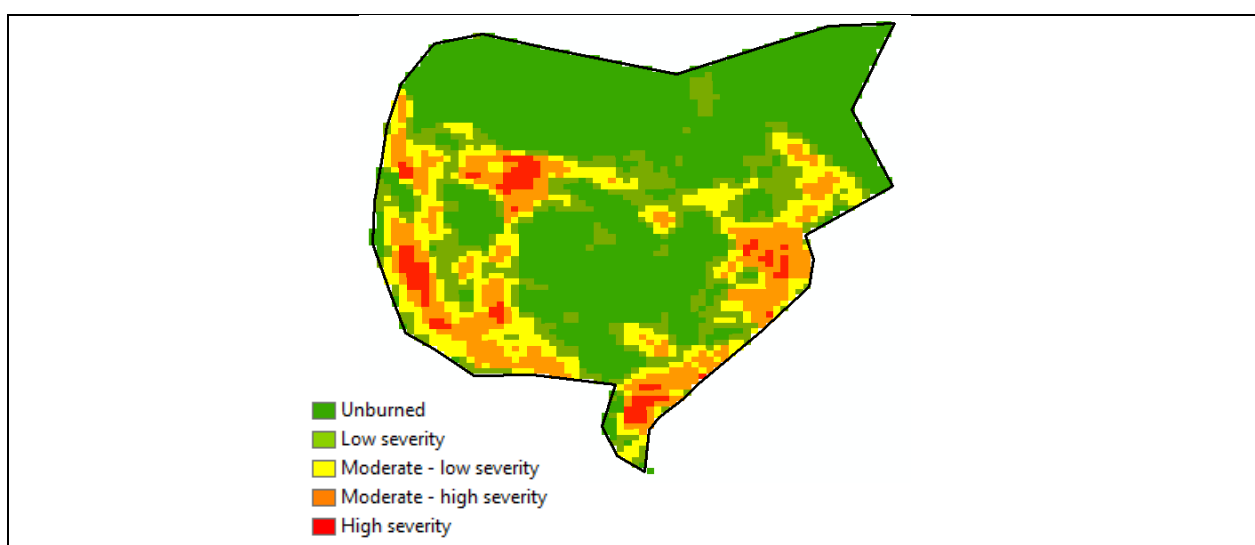


FIGURA 45 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SEVERIDADE NA PARCELA 3

A parcela (4) foi queimada no dia 08 de Dezembro de 2017, no distrito de Viana do Castelo, no concelho de Ponte de Lima, na freguesia de Navió. A partir do intervalo dos dados obtidos foi possível classificar a severidade nos diferentes níveis da seguinte forma;

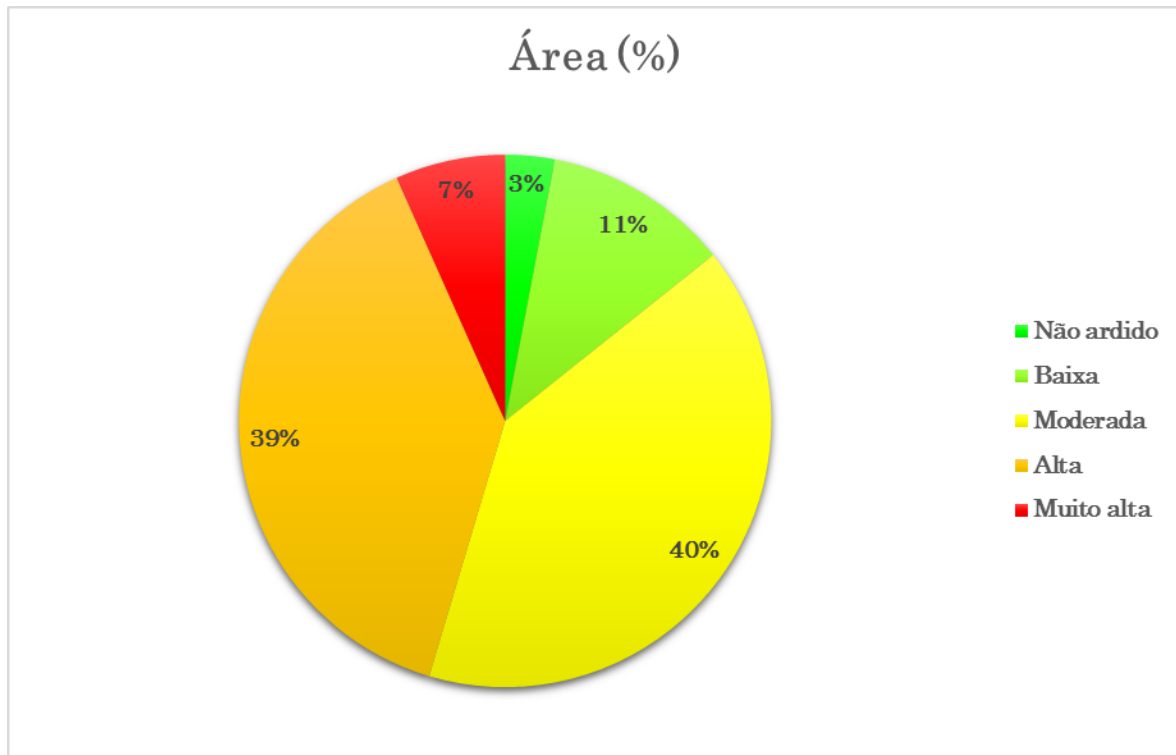


FIGURA 46 - DISTRIBUIÇÃO DA SEVERIDADE NA PARCELA 4

Assim, constata-se que cerca de 3% da área desta parcela foi considerada como não ardida, enquanto 11% foi classificada de baixa severidade. Ao invés 40% da área foi classificada de média severidade, 39% de alta e 7% de muito alta severidade, tal como podemos observar na (figura 47).

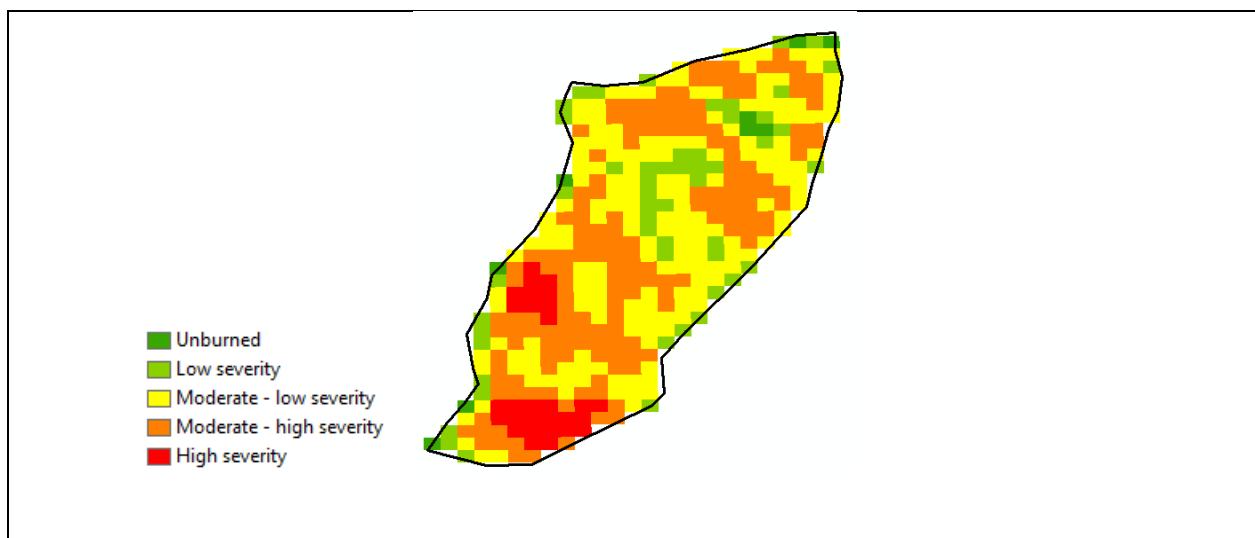


FIGURA 47 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SEVERIDADE NA PARCELA 4

A parcela (5) foi queimada no dia 04 de Dezembro de 2017, no distrito de Viana do Castelo, no concelho de Ponte de Lima, na freguesia de Navió. A partir do intervalo dos dados obtidos foi possível classificar a severidade nos diferentes níveis da seguinte forma;

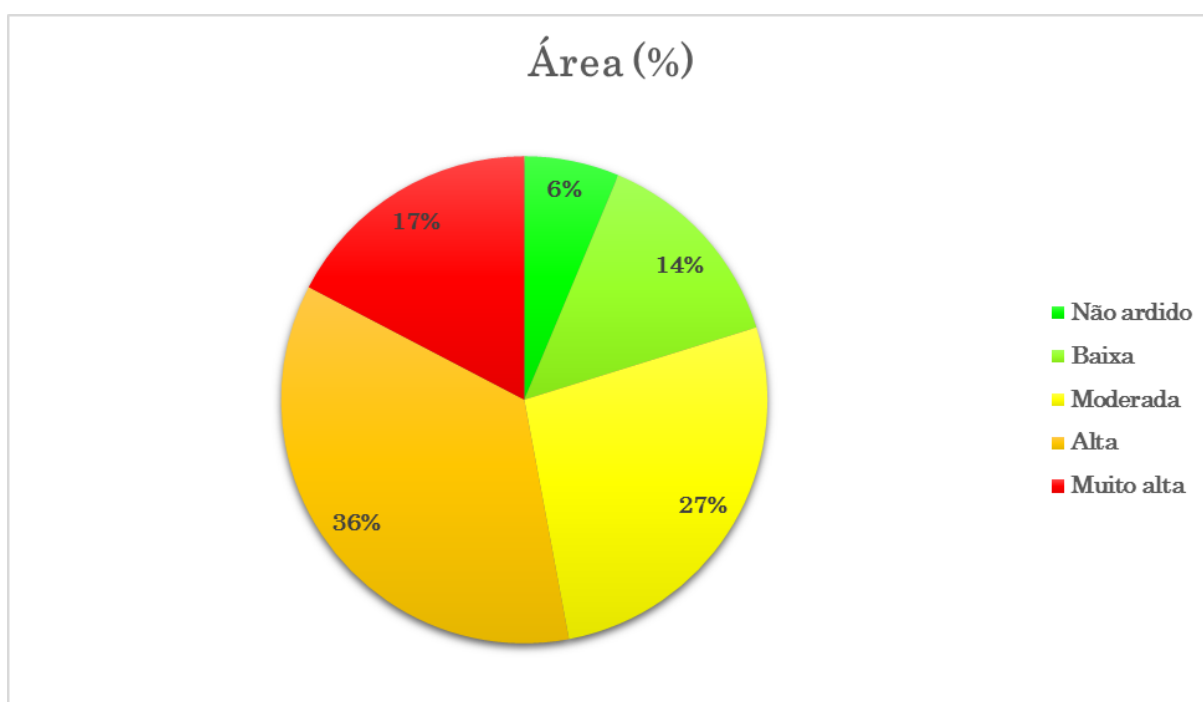


FIGURA 48 - DISTRIBUIÇÃO DA SEVERIDADE NA PARCELA 5

Assim, visualizou-se que cerca de 6% da área desta parcela sujeita ao fogo controlado foi considerada como não ardida, enquanto 14% foi classificada de baixa severidade. Ao invés 27% da área foi classificada de média severidade, 36%

de alta e 17% de muito alta severidade, tal como podemos observar na (figura 49).

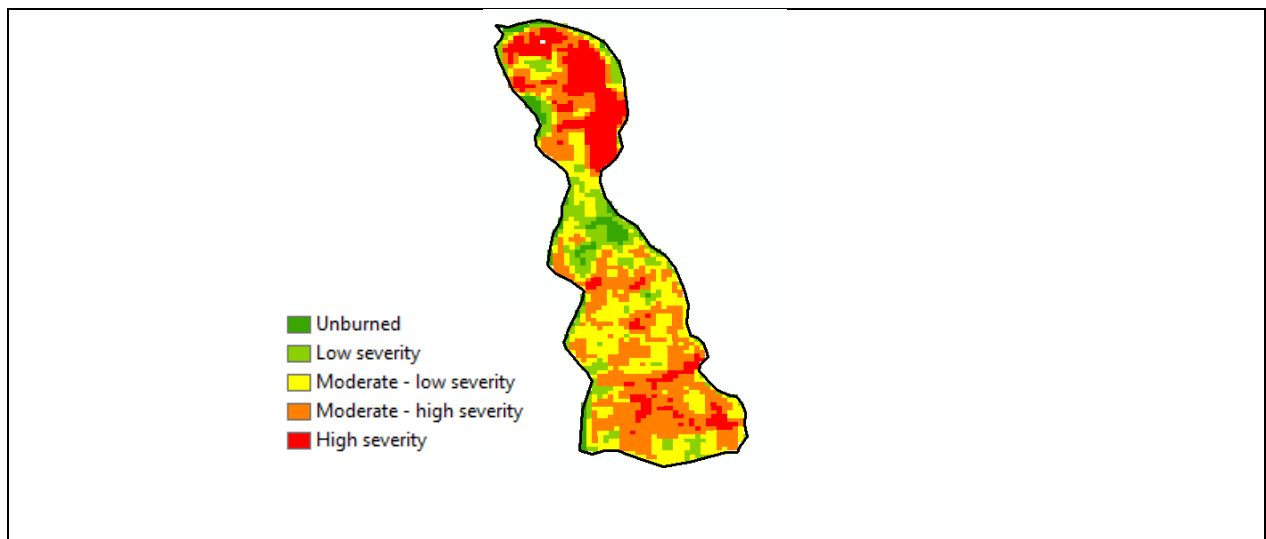


FIGURA 49 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SEVERIDADE NA PARCELA 5

➤ **Dados estatísticos**

Não obstante a análise efetuada anteriormente foi necessário explorar os dados numa vertente puramente estatística, dados que resultaram da operação de cálculo dos índices espectrais. Assim, foi possível compilar a estatística descritiva das parcelas em estudo tendo em conta os valores obtidos para os índices “NBR e NDVI”. Para realizar esta operação recorreu-se ao *software* de análise estatística SPSS®.

Na (tabela 12) é possível observar e comparar a estatística descritiva relativa a cada parcela tendo em conta o mês de novembro e de dezembro. Numa primeira análise é possível verificar que o valor do desvio padrão (*medida de dispersão em torno da média populacional*) em todas as parcelas apresenta um valor elevado, o que indica que os valores estão dispersos por uma gama ampla de valores.

Em relação ao índice espectral “NBR” salienta-se a P3_nov por apresentar valores menores quando comparados com as restantes parcelas. Estes valores

podem servir de justificação para que cerca de 50% desta parcela não tenha ardidado, uma vez que transparece que a vegetação nalgumas zonas desta parcela fosse diminuta a partir dos índices de refletividade registados.

	P1_nov	P1_dez	P2_nov	P2_dez	P3_nov	P3_dez	P4_nov	P4_dez	P5_nov	P5_dez
Média	266,1	-33,7	196,8	-310,0	-11,8	-165,6	228,2	-188,6	270,0	-187,0
Q1	123,4	-234,6	79,1	-428,2	-83,6	-308,7	152,6	-301,7	171,2	-344,1
Máximo	788,0	785,1	601,2	592,7	488,9	430,5	528,3	286,8	759,3	738,5
Mínimo	-620,6	-783,2	-293,0	-652,4	-597,0	-715,8	-0,8	-493,1	-468,1	-996,0
Q3	418,3	145,8	303,5	-253,7	149,4	-41,1	304,5	-106,0	368,4	-100,3
Desvio_p	198,4	261,4	143,1	182,0	224,3	175,1	100,2	160,2	142,8	250,4

TABELA 12 - DADOS DO ÍNDICE NBR

Para que os dados sejam mais fáceis de analisar e de sintetizar, vão ser apresentados sob a forma de “boxplot” com as cinco estatísticas (o mínimo, o primeiro quartil (Q1), a média, o terceiro quartil (Q3) e o máximo, ou seja o resumo dos cinco números para ambos os índices espectrais.

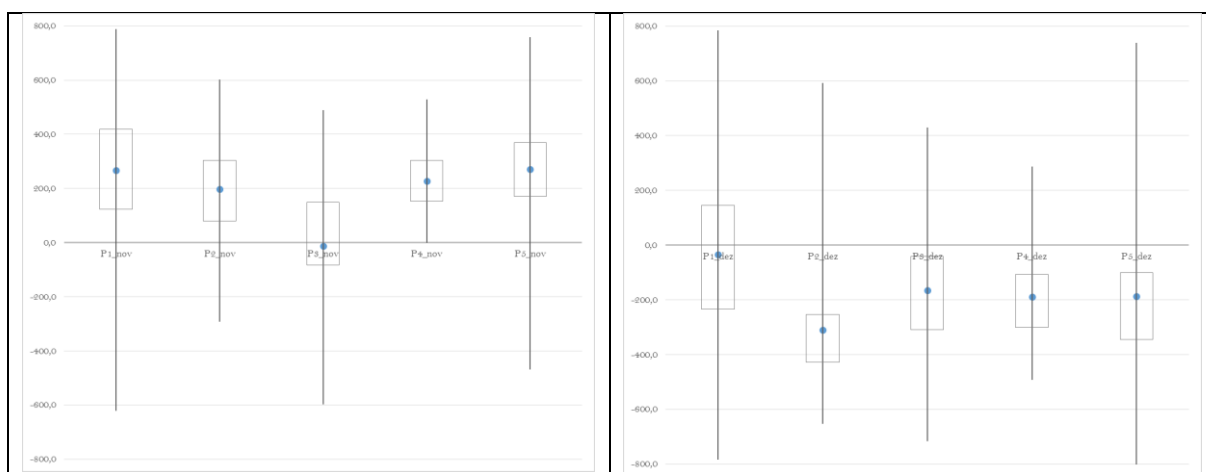


FIGURA 50 - BOXPLOT DADOS NBR PRÉ E PÓS FOGO

A tabela 12 reflete os dados do índice espectral “NDVI”. Realça-se novamente a parcela 3 no período pré-fogo, onde a diferença entre o quartil 1 e o quartil 3 (intervalo que representa 50% dos dados), apresenta valores menores em comparação com os restantes. Deste fato podemos admitir que a vegetação em algumas áreas desta parcela poderia ser descontínua.

	P1_nov	P1_dez	P2_nov	P2_dez	P3_nov	P3_dez	P4_nov	P4_dez	P5_nov	P5_dez
Média	727,0	590,6	599,6	290,9	468,4	379,7	644,8	321,4	669,2	380,3
Q1	629,9	426,9	502,1	226,3	357,0	300,6	569,6	235,0	575,8	242,0
Máximo	999,2	999,1	995,9	995,0	914,8	994,4	849,0	718,8	997,9	991,8
Mínimo	175,7	174,3	179,9	11,3	39,1	34,2	329,6	120,6	309,7	103,3
Q3	825,3	721,1	699,0	311,8	604,0	437,3	724,9	384,4	765,2	462,0
Desvio_p	140,4	203,4	126,2	109,6	160,3	109,9	104,6	117,7	135,2	192,3

TABELA 13 - DADOS DO ÍNDICE NDVI

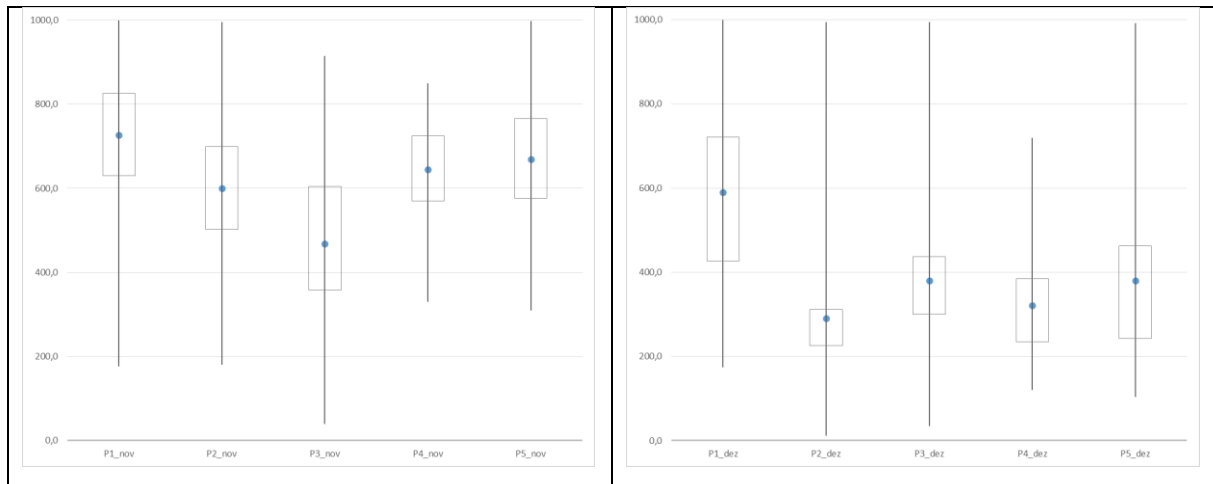


FIGURA 51 - BOXPLOT DOS DADOS NDVI PRÉ E PÓS FOGO

De forma geral, é possível verificar que os valores dos índices NBR e NDVI apresentam na imagem pré-fogo, com a exceção da parcela 3, valores de refletividade normais para este tipo de solos. Na imagem pós-fogo observa-se um decréscimo muito significativo do valor das estatísticas independentemente da parcela em questão, o que indica perda de refletividade eletromagnética por parte das plantas.

Quando analisados em conjunto os valores das estatísticas verifica-se que com exceção da parcela 3, os valores das restantes parcelas demonstram a presença de atividade clorofiliana muito elevada, o que exprime a existência de bastante vegetação nas parcelas em estudo.

Quando comparados os dados, na imagem pós-fogo observa-se uma diminuição muito significativa dos valores estatísticos. Salienta-se a continuação de valores

relativamente altos do índice NDVI na parcela 1, a qual parece não ter perdido muita atividade clorofiliana (39% da parcela não ardeu), ao invés a parcela 2 (é a que devolveu maiores níveis de severidade face ao fogo) é a que apresenta valores de NDVI menores, o que significa que perdeu bastante atividade clorofiliana.

De seguida foi necessário provar estatisticamente que existiam diferenças entre as imagens recolhidas em novembro e dezembro para ambos os índices espectrais. Para a realização dos testes recorreu-se ao programa estatístico SPSS®.

Em primeiro lugar realizou-se um teste de normalidade para definir se os dados em estudo apresentavam uma distribuição normal. Para o efeito realizou-se uma análise exploratória dos dados, ferramenta que engloba o teste de normalidade “Kolmogorov_Smirnov” para um valor de significância de 0,05.

As hipóteses definidas foram as seguintes;

H0: a distribuição de $P_{(x)}$ é normal

H1: a distribuição de $P_{(x)}$ não é normal

FIGURA 52 - TESTES DE NORMALIDADE

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de P1_Nov é normal com média 266,112 e desvio padrão 196,450.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
2	A distribuição de P2_Nov é normal com média 196,759 e desvio padrão 143,153.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
3	A distribuição de P3_Nov é normal com média -11,805 e desvio padrão 224,361.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
4	A distribuição de P4_Nov é normal com média 226,248 e desvio padrão 100,301.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,029 ¹	Rejeitar a hipótese nula
5	A distribuição de P5_Nov é normal com média 269,979 e desvio padrão 142,852.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,004 ¹	Rejeitar a hipótese nula

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

¹Lilliefors Corrigido

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de P1_Dez é normal com média -33,654 e desvio padrão 261,431.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
2	A distribuição de P2_Dez é normal com média -309,987 e desvio padrão 162,039.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
3	A distribuição de P3_Dez é normal com média -165,631 e desvio padrão 175,158.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
4	A distribuição de P4_Dez é normal com média -189,648 e desvio padrão 160,346.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula
5	A distribuição de P5_Dez é normal com média -186,986 e desvio padrão 250,503.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

¹Lilliefors Corrigido

Olhando para o nível de significância devolvido por todos os testes de normalidade efetuados rejeitamos na sua totalidade a hipótese H_0 , e aceitamos a H_1 . Assim podemos afirmar que os dados não seguem uma distribuição normal uma vez que os níveis de significância devolvidos foram todos inferiores a 0,05.

Na figura 53 podem ser observados os histogramas provenientes da distribuição de dados relativos ao índice espectral NBR, para os meses de novembro e dezembro.

Nenhum dos histogramas é simétrico, uma vez que isso conduziria a uma distribuição normal, ao invés encontramos histogramas distorcidos à direita e a esquerda, bimodais e multimodais.

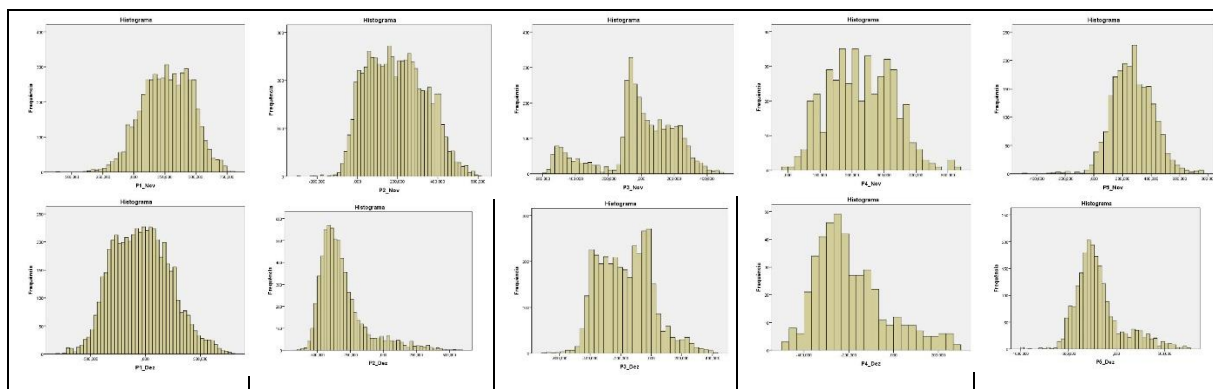


FIGURA 53 - HISTOGRAMAS ÍNDICE NBR PRÉ E PÓS FOGO

Por fim foi necessário demonstrar se existiam diferenças estatísticas entre as imagens da mesma parcela entre o mês de novembro e dezembro.

Para tal, e uma vez que os dados não seguiam uma distribuição normal recorreu-se ao teste dos sinais “duas amostras relacionadas”. Este teste utiliza-se quando se pretende analisar o efeito de determinado fator sobre a localização de uma distribuição contínua. Para realizar este teste usaram-se as duas amostras relacionadas relativas ao antes e ao depois, ou seja P1_nov e P1_dez, e assim sucessivamente, ou seja trata-se de um teste de diferença entre medianas para demonstrar se houve alteração de dados.

As hipóteses em teste foram;

H0: não existe diferença entre as medianas das parcelas de novembro e dezembro

H1: existe diferença entre as medianas das parcelas de novembro e dezembro



De acordo com o resultado dos testes realizados foi possível concluir que existem diferenças das medianas dos dados em confronto. Lembra-se que a mediana é o valor que separa a metade maior e a metade menor de uma amostra, uma população ou uma distribuição de probabilidade. Em termos genéricos, mediana pode ser o valor do meio de um conjunto de dados.

Assim fica demonstrado que os dados sofreram alterações no pós-fogo, fato que já havia sido observado nos histogramas, ou seja confirma-se agora que existiu um movimento significativo do conjunto de dados, ou seja o valor da mediana é diferente.

Os valores de significância devolvidos em todos os testes foram inferiores a 0,05.

FIGURA 54 - TESTE DE HIPÓTESE

Para o índice NDVI foi desenvolvido o mesmo procedimento, ou seja foi efetuado um teste de normalidade para percebermos se os dados apresentavam uma distribuição normal, para um valor de 0,05 de significância.

FIGURA 55 - TESTES DE NORMALIDADE

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de P1_Dez é normal com média 590,594 e desvio padrão 203,389.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
2	A distribuição de P2_Dez é normal com média 290,920 e desvio padrão 109,619.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
3	A distribuição de P3_Dez é normal com média 379,889 e desvio padrão 109,947.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
4	A distribuição de P4_Dez é normal com média 321,439 e desvio padrão 117,818.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
5	A distribuição de P5_Dez é normal com média 380,292 e desvio padrão 192,343.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.
¹Lilliefors Corrigido

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de P1_Nov é normal com média 727,045 e desvio padrão 140,368.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
2	A distribuição de P2_Nov é normal com média 599,631 e desvio padrão 126,254.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
3	A distribuição de P3_Nov é normal com média 468,393 e desvio padrão 160,350.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
4	A distribuição de P4_Nov é normal com média 644,760 e desvio padrão 104,752.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.
5	A distribuição de P5_Nov é normal com média 669,211 e desvio padrão 135,208.	Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	,000 ¹	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.
¹Lilliefors Corrigido

As hipóteses eram definidas foram as seguintes;

H0: a distribuição de P_(x) é normal

H1: a distribuição de P_(x) não é normal

A partir do nível de significância devolvido por todos os testes de normalidade efetuados rejeitamos para todas as parcelas a hipótese 0, e aceitamos a H1. No seguimento do índice NBR podemos afirmar que os dados do índice NDVI não seguem uma distribuição normal uma vez que os níveis de significância devolvidos foram todos inferiores a 0,05.

Na (figura 56) podem ser observados os histogramas provenientes da distribuição de dados relativos ao índice espectral NDVI, para os meses de novembro e dezembro.

Como anteriormente, nenhum dos histogramas é simétrico, e encontramos mais uma vez histogramas distorcidos à direita e a esquerda, bimodais e multimodais.

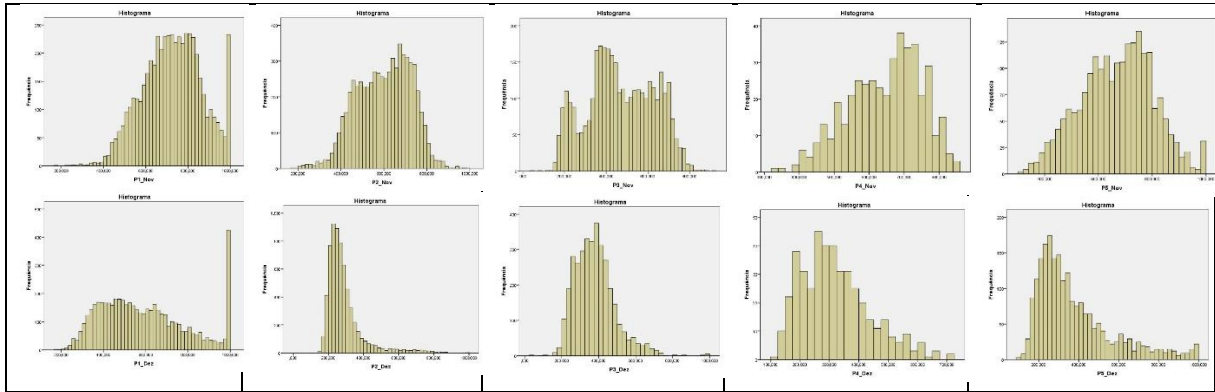


FIGURA 56 - HISTOGRAMAS ÍNDICE NDVI PRÉ E PÓS FOGO

Seguindo a mesma metodologia foi necessário demonstrar que existiam diferenças entre as imagens da mesma parcela para os meses de novembro e dezembro.

As hipóteses em teste foram;

H0: não existe diferença entre as medianas das parcelas de novembro e dezembro

H1: existe diferença entre as medianas das parcelas de novembro e dezembro

Sumarização de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A mediana das diferenças entre P1_Nov e P1_Dez é igual a 0.	Teste de Sinal de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A mediana das diferenças entre P1_Nov e P1_Dez é igual a 0.	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Sumarização de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A mediana das diferenças entre P2_Nov e P2_Dez é igual a 0.	Teste de Sinal de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A mediana das diferenças entre P2_Nov e P2_Dez é igual a 0.	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Sumarização de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A mediana das diferenças entre P3_Nov e P3_Dez é igual a 0.	Teste de Sinal de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A mediana das diferenças entre P3_Nov e P3_Dez é igual a 0.	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Sumarização de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A mediana das diferenças entre P4_Nov e P4_Dez é igual a 0.	Teste de Sinal de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A mediana das diferenças entre P4_Nov e P4_Dez é igual a 0.	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Sumarização de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A mediana das diferenças entre P5_Nov e P5_Dez é igual a 0.	Teste de Sinal de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A mediana das diferenças entre P5_Nov e P5_Dez é igual a 0.	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon de Amostras Relacionadas	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

De acordo com o resultado dos testes realizados foi possível concluir que existem novamente diferenças das medianas dos dados em confronto.

Através dos testes realizados ficou demonstrado que os dados deste índice sofreram alterações no pós-fogo, fato que já havia sido observado nos histogramas, ou seja demonstra-se que existiu um movimento significativo do conjunto de dados uma vez que as medianas são diferentes.

Os valores de significância devolvidos em todos os testes foram inferiores a 0,05.

FIGURA 57 - TESTE DE HIPÓTESES

➤ Discussão

Como foi possível verificar anteriormente foi possível apurar que as ações de fogo controlado seguiram padrões de intensidade muito diferentes e distintos uma vez que os resultados obtidos a partir da classificação da severidade não é uniforme. Evidencia-se que o tamanho das áreas em estudo eram igualmente díspares, como é possível ver no quadro abaixo.

Descrição	Área (ha)
Parcela_1 Área (ha)	51,65
Parcela_2 Área (ha)	64,52
Parcela_3 Área (ha)	35,25
Parcela_4 Área (ha)	4,34
Parcela_5 Área (ha)	21,04

FIGURA 58 - DIMENSÃO DAS PARCELAS

Assim, a parcela (2) era a de maior dimensão com uma área de 64.52 (ha), e ao invés a parcela (4) era a de menor dimensão com uma área de apenas 4.34 (ha).

A figura abaixo revela um quadro onde é possível comparar as áreas atingidas por (ha) e por (%) por classe de severidade.

Descrição	Não ardido	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta
Parcela_1 Área (ha)	19,88	7,79	6,34	7,97	9,67
Parcela_2 Área (ha)	4,56	7,90	13,03	18,70	20,33
Parcela_3 Área (ha)	18,83	5,67	5,11	4,57	1,07
Parcela_4 Área (ha)	0,13	0,49	1,75	1,68	0,29
Parcela_5 Área (ha)	1,33	2,92	5,65	7,49	3,65
Parcela_1 Área (%)	38%	15%	12%	15%	19%
Parcela_2 Área (%)	7%	12%	20%	29%	32%
Parcela_3 Área (%)	53%	16%	14%	13%	3%
Parcela_4 Área (%)	3%	11%	40%	39%	7%
Parcela_5 Área (%)	6%	14%	27%	36%	17%

FIGURA 59 - DADOS DAS PARCELAS POR NÍVEL DE SEVERIDADE

De forma clara (figura 52) é possível observar que as parcela (1 e 3) são as que apresentam maiores áreas na classe “não ardido” com 38% e 53% respectivamente. A explicação para este acontecimento pode ser encontrada na pouca disponibilidade dos combustíveis existentes nas parcelas, ou pela sua descontinuidade no terreno o que não permitiu manter um ambiente de fogo contínuo.

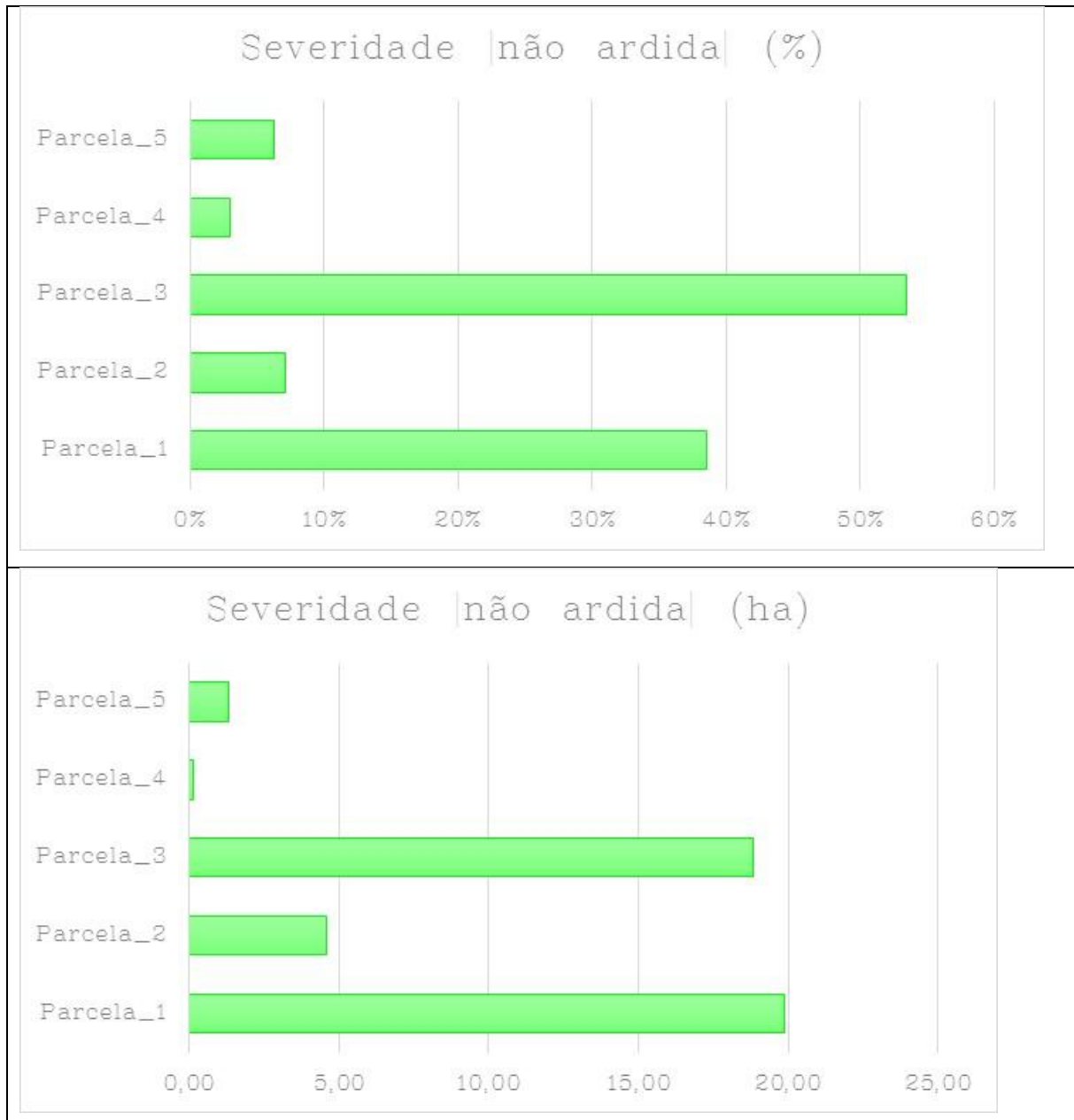


FIGURA 60 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE SEVERIDADE |NÃO ARDIDA|

Na classe de severidade “baixa” observa-se um certo equilíbrio entre todas as parcelas tendo em conta as percentagens observadas (figura 53).

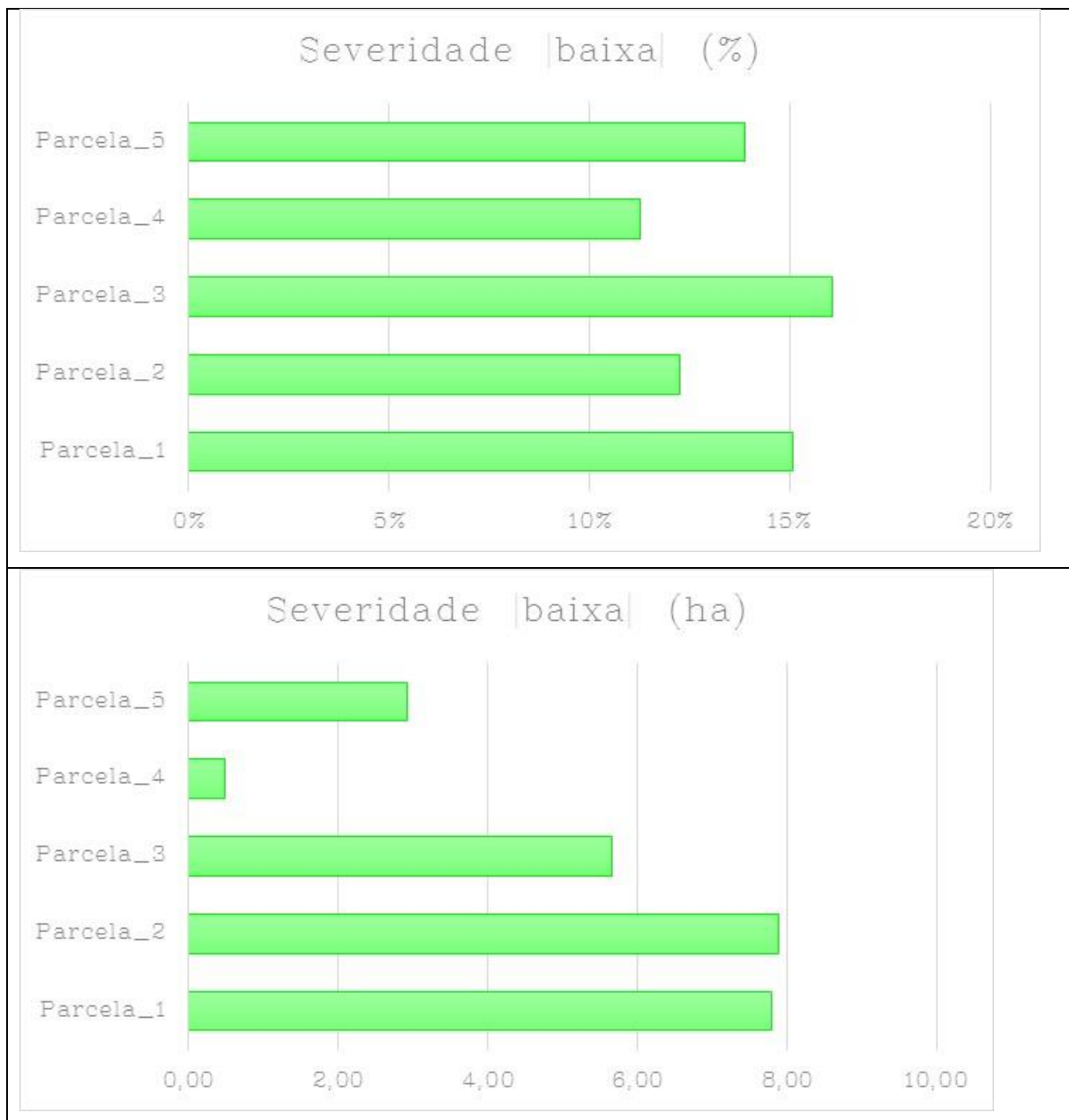


FIGURA 61 - DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE SEVERIDADE |BAIXA|

Na classe de severidade moderada a parcela (4) é aquela que apresenta valores mais expressivos, tendo cerca de 40% desta sido consumida nesta classe, salienta-se novamente que esta parcela era a de menor dimensão, e a área em causa corresponde apenas a 1,75 (ha). Quando comparada com a parcela (5) que é a que

apresenta o segundo maior valor em percentagem nesta classe, 27%, a área consumida ascende aos 5,65 (ha). No entanto a maior área em (ha) consumida nesta classe pertence à parcela 2.

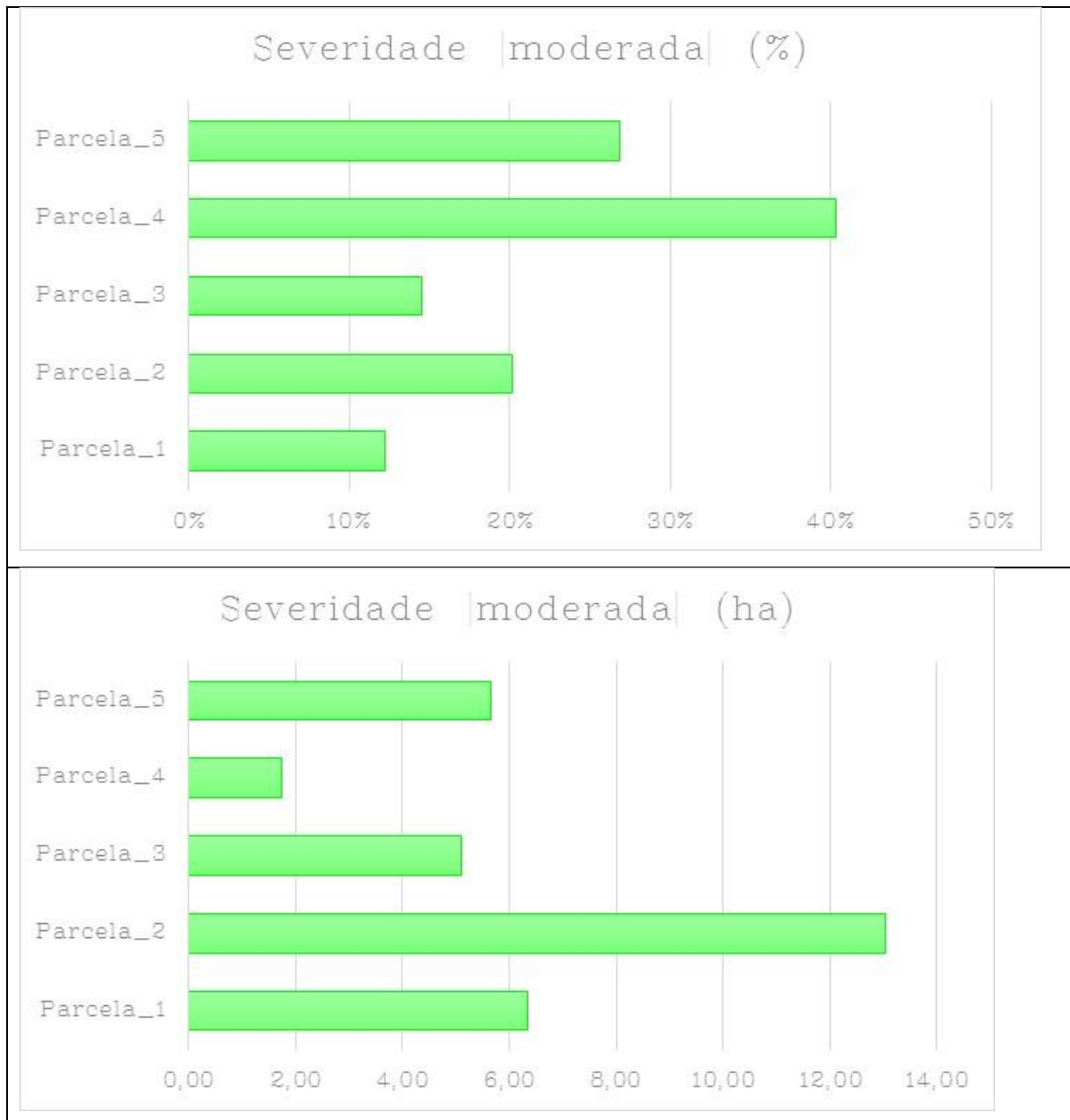


FIGURA 62 - DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE SEVERIDADE |MODERADA|

Na classe de severidade “Alta” surgem três valores que merecem alguma atenção. Novamente a parcela (4) com 39%, mas apenas com 1,68 (ha), a parcela (5) com

36%, e com uma área de 7,49 (ha), e por fim a parcela (2) com 29%, e com uma área de 18,70 (ha).

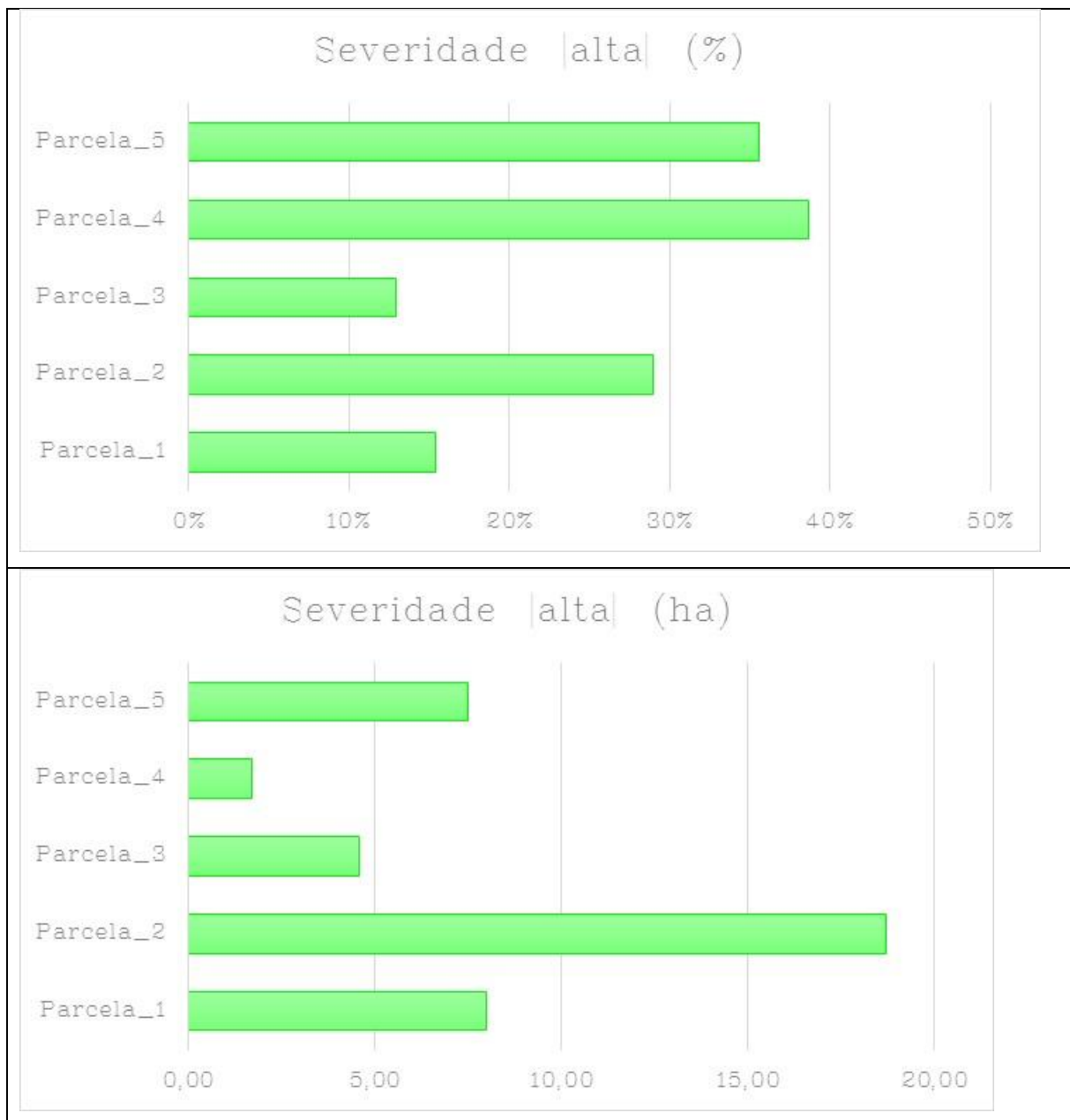


FIGURA 63 - DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE D SEVERIDADE |ALTA|

Na classe de severidade “Muito Alta” a parcela (2) e a parcela (1) são aquelas que apresentam maiores valores absolutos quer em percentagem, 32% e 19% respectivamente, quer em área consumida, 20,33 (ha) e 9,67 (ha) valores que parecem elevados para este tipo de severidade.

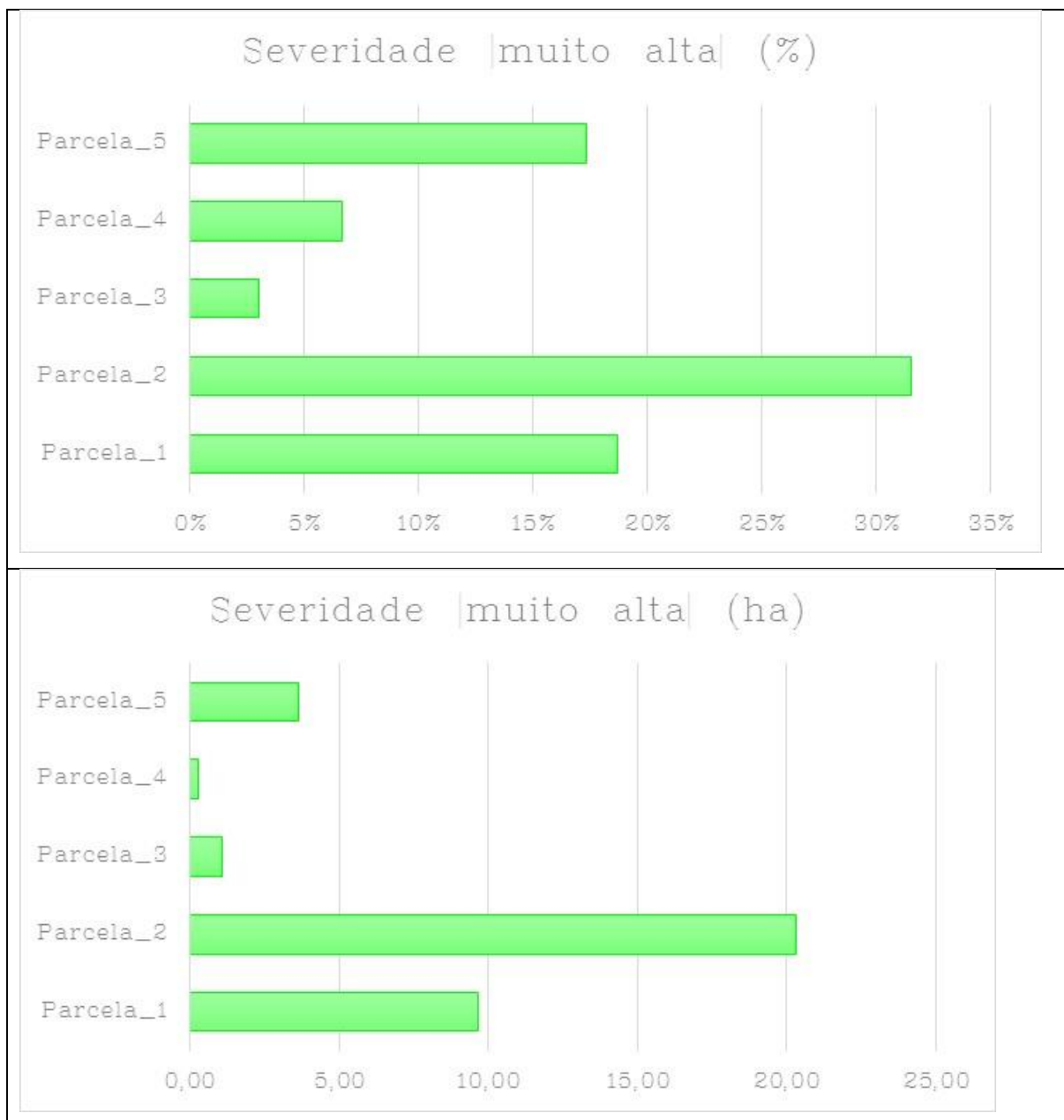


FIGURA 64 - DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE SEVERIDADE |MUITO ALTA|

Olhando para as áreas em estudo, a partir de outro formato, é igualmente possível concluir que a parcela 2, a parcela 4 e a parcela 5 foram aquelas que sofreram maior severidade quando sujeitas ao uso do fogo uma vez que são as que apresentam maior percentagem de área consumida dentro dos níveis de severidade mais elevados (moderado, alto e muito alto).

Ao invés as parcelas (3) e (1) foram aquelas onde se verificou a maior percentagem de área não ardida, muito provavelmente devido a fatores como a pouca disponibilidade dos combustíveis devido á sua elevada densidade, ou devido à sua descontinuidade. Salienta-se que a ocupação do solo era idêntica para ambas as parcelas (matos densos).

Ainda em relação ao tipo de combustíveis que compunham a ocupação do solo nas parcelas em estudo não existem grandes diferenças entre as mesmas, relembra-se que estas eram compostas maioritariamente por matos densos e pouco densos e por áreas ardidadas não florestais.

A técnica de ignição utilizada para conduzir o fogo dentro das parcelas foi o “fogo descendente contra o vento” com exceção da parcela 2 onde a técnica de ignição e condução utilizada foi o “fogo por linhas sucessivas”.

A utilização desta técnica pode ter contribuído para que a severidade classificada como “muito alta” na parcela (2) fosse em termos percentuais mais elevada do que nas restantes parcelas. Esta técnica é útil em condições de propagação mais marginais, incluindo a não sustentabilidade de um fogo "contra", ou seja a intensidade do fogo é controlável pelo espaçamento entre as linhas de ignição.

A ignição por linhas sucessivas é adequada ao tratamento de áreas desarborizadas, uma vez que gera uma libertação de energia consideravelmente maior (Manual de formação para a técnica de fogo controlado).



FIGURA 65 - TÉCNICAS DE IGNIÇÃO E CONDUÇÃO DO FOGO

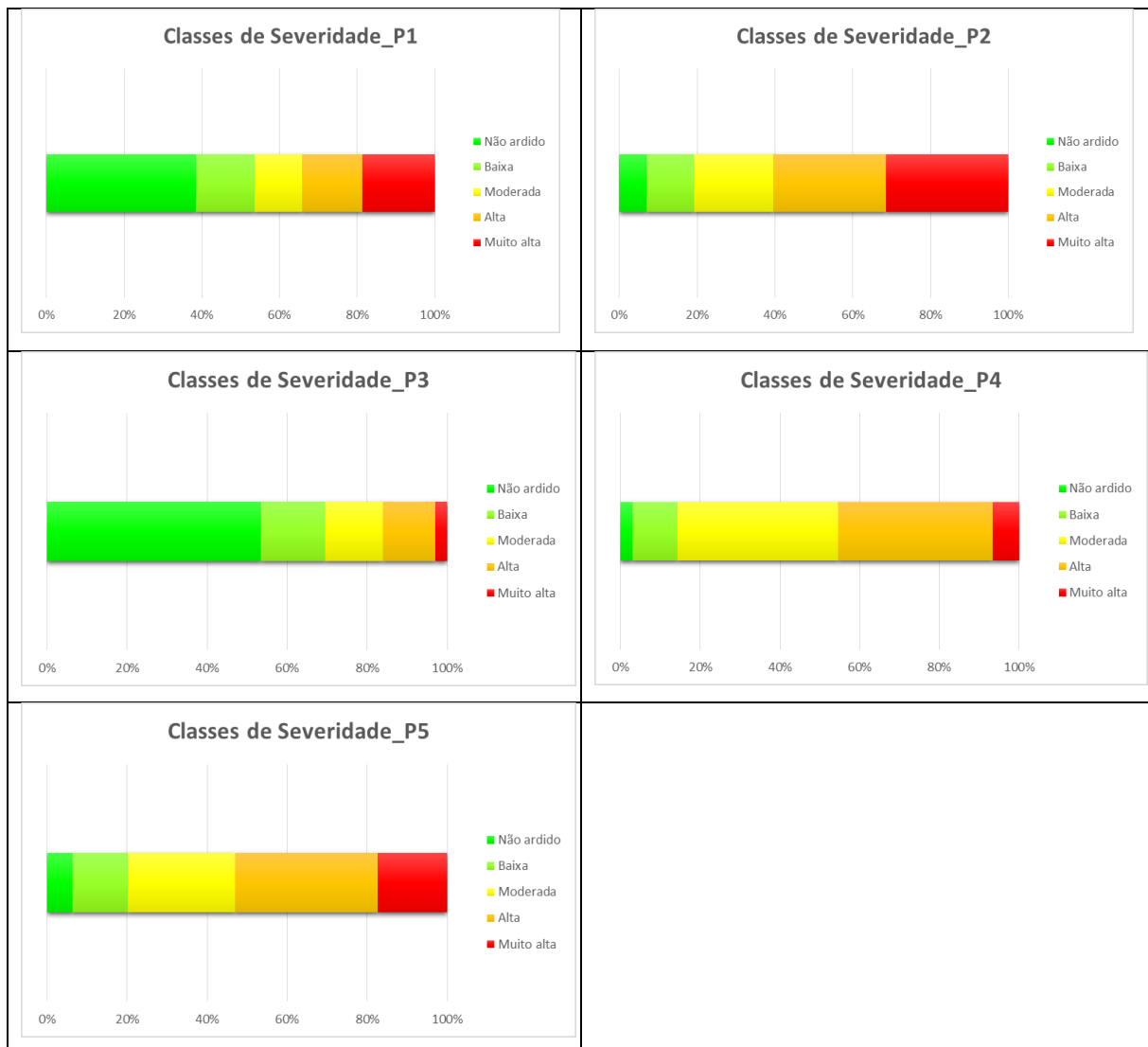


FIGURA 66 - NÍVEIS DE SEVERIDADE POR PARCELA

Por fim efetuou-se uma comparação entre os valores (dNBR) e os valores (NDVI) para perceber se os níveis de severidade mais elevados estariam a influenciar ou se teriam tido algum efeito adverso na regeneração das plantas. Assim a imagem do Sentinel-2 usada para calcular o (NDVI) remonta ao final do mês de Abril de 2018, sensivelmente cinco meses após as ações de fogo controlado.

Após análise das imagens é possível verificar um padrão comum, que está relacionado com a maior severidade das ações de fogo controlado. As áreas das parcelas onde o nível de severidade foi mais elevada são aquelas em que a regeneração apresenta valores baixos, e ao contrário as áreas das parcelas onde o nível de severidade foi menor apresentam valores elevados, os quais indiciam a existência de vegetação. Esta situação parece perfeitamente normal face ao tempo decorrido, tendo em conta que os níveis de severidade mais elevados terão destruído grande parte da vegetação.

Salienta-se as parcelas (2) e (3) as quais apresentam valores de regeneração muito baixos, pese embora se tratem de áreas de dimensão residual. Na generalidade as parcelas apresentam valores aceitáveis de regeneração tendo em conta o espaço temporal que decorreu desde a execução do fogo controlado.

No que concerne às áreas consideradas como não ardidas, estas devolveram valores altos relativos ao índice (NDVI) o que significa que existe vegetação exuberante naquelas áreas.

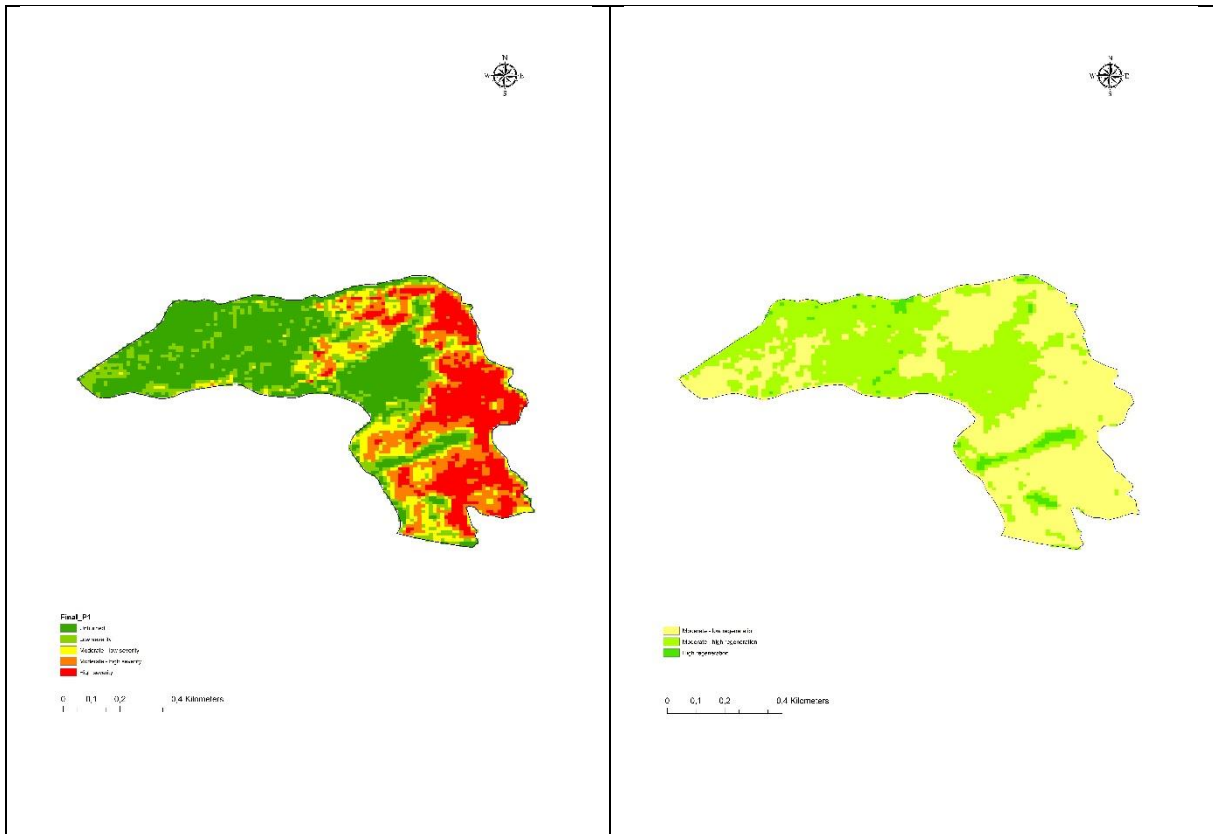


FIGURA 67 - NDVI PARCELA 1

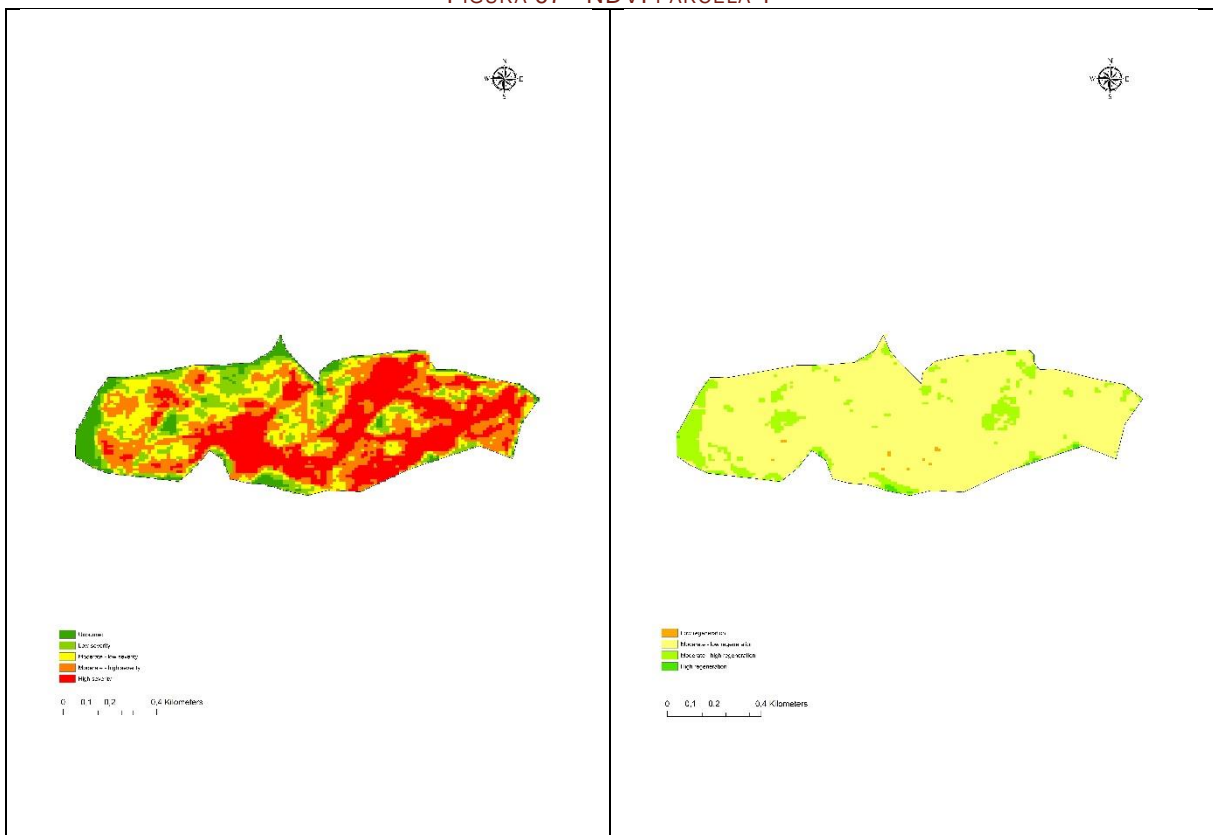


FIGURA 68 - NDVI PARCELA 2

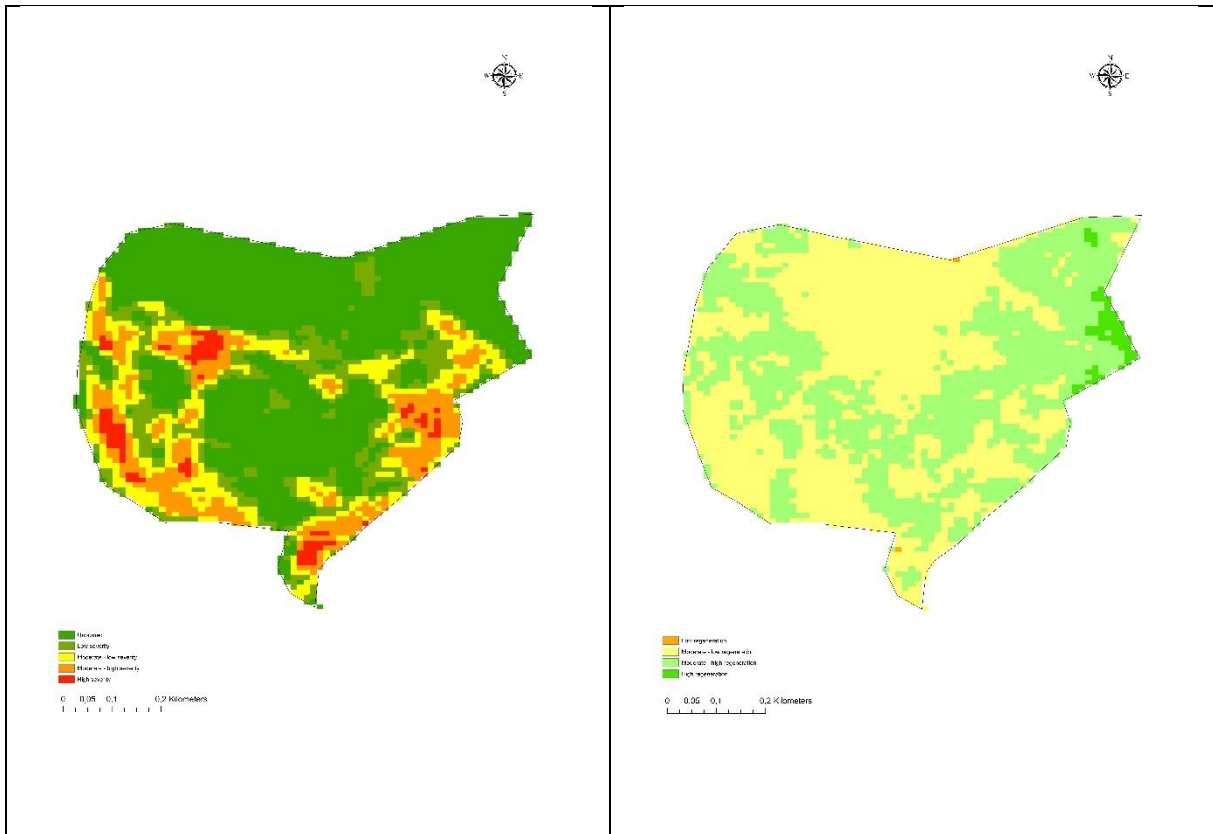


FIGURA 69 - NDVI PARCELA 3

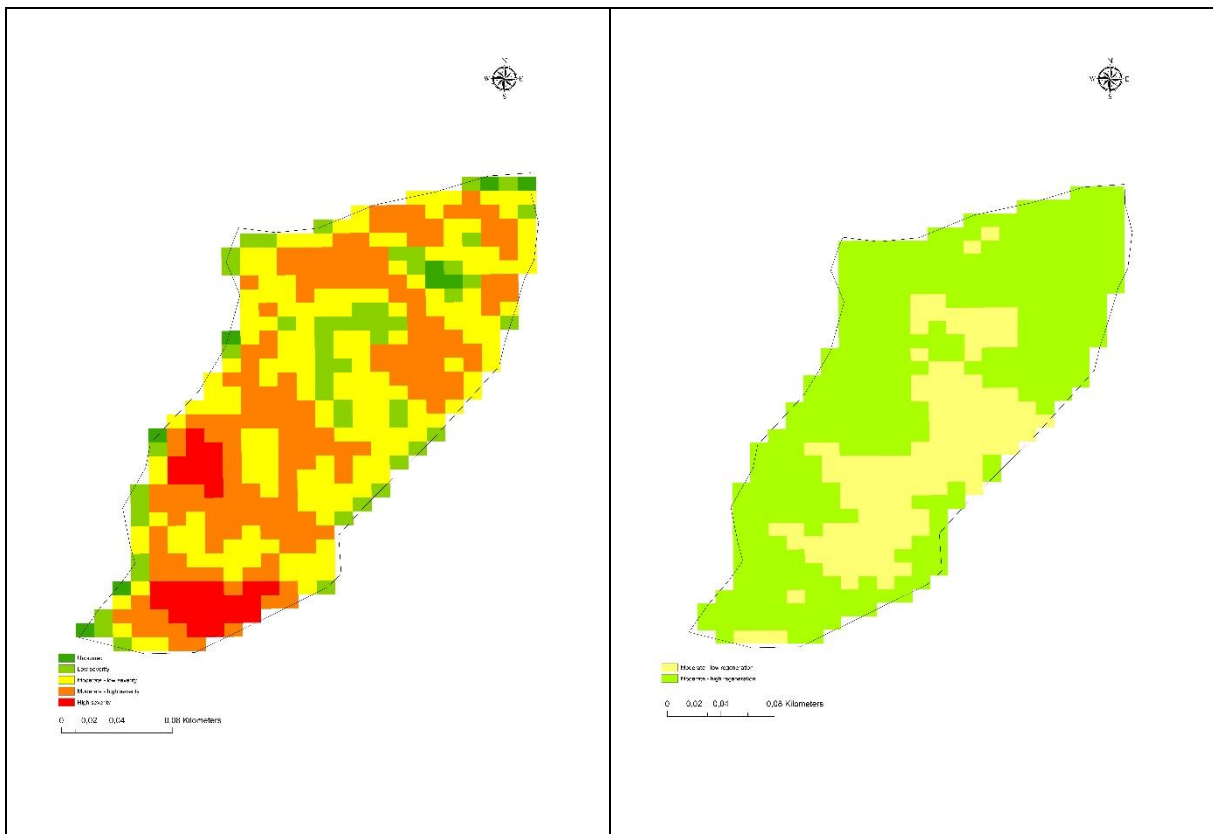


FIGURA 70 - NDVI PARCELA 4

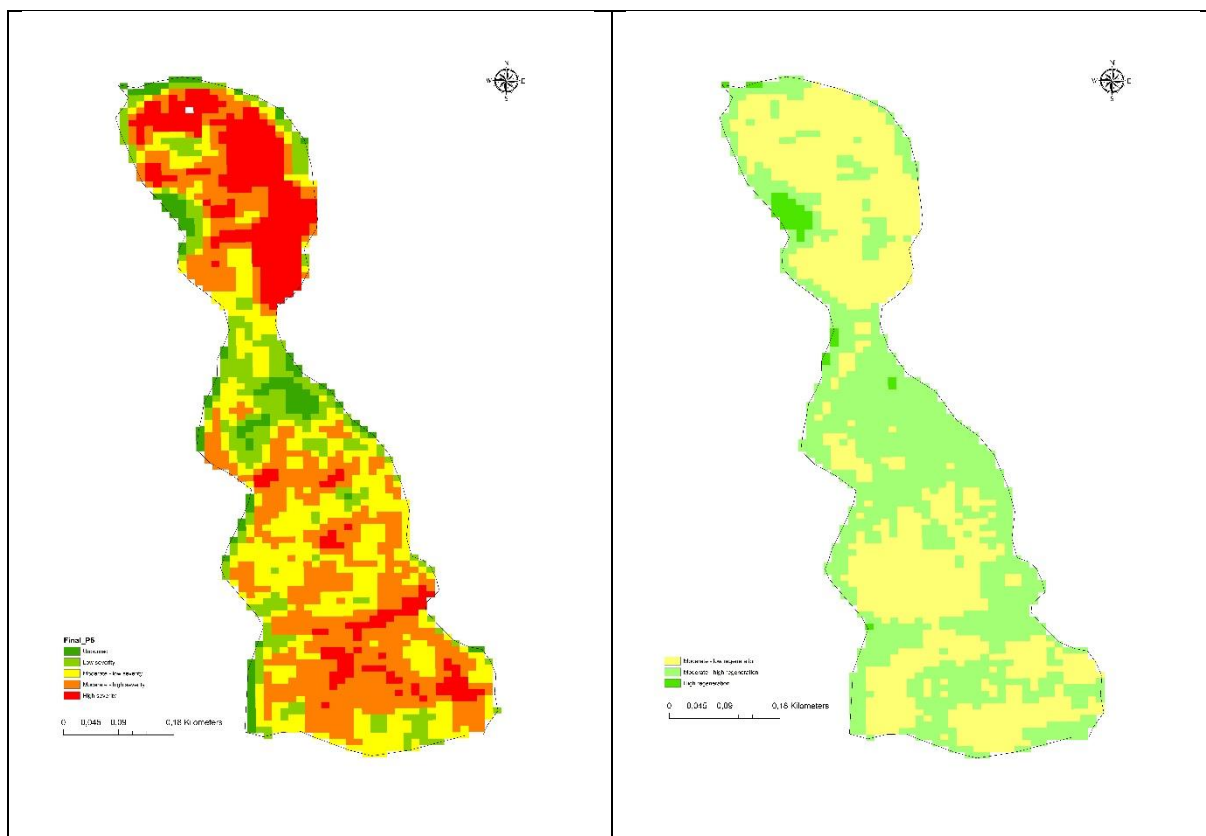


FIGURA 71 - NDVI PARCELA 5

➤ Conclusão e perspectivas futuras

Este trabalho abordou a funcionalidade do novo satélite Sentinel-2 para avaliar os índices de severidade do fogo, neste caso, em parcelas de fogo controlado.

Os índices NBR e NDVI usados neste trabalho foram utilizados para calcular o mapa de severidade do fogo nas áreas em estudo. Todas as informações relacionadas com a vegetação e com o meio ambiente podem atualmente ser obtidas a partir de dados de detecção remota e podem ser incorporadas em algoritmos para melhorar a precisão do registo de áreas queimadas e posteriormente da sua recuperação.

A metodologia usada para a identificação das áreas ardidas propostas por Benson & Key adequou-se ao objetivo deste trabalho (utilização das imagens satélite na

monitorização do impacto do fogo controlado na vegetação, delimitação de parcelas tratadas com fogo controlado, classificação da sua severidade e avaliação e recuperação das áreas tratadas.

Os índices espectrais utilizados permitiram no seu conjunto delimitar e identificar as áreas queimadas, e os critérios da classificação permitiram compilar cartografia final de áreas ardidas com diferentes exatidões que permitiram identificar quais as parcelas, e as respetivas áreas, que foram mais afetadas, sendo possível concluir que para a distinção de áreas ardidas o índice dNBR adequa-se na perfeição.

Conclui-se também que a disponibilização de forma gratuita de imagens multiespectrais como as do Sentinel-2 configuram um salto enorme neste tipo de trabalhos, e o desenvolvimento de cartografia com base na deteção remota pode a partir deste momento crescer exponencialmente, não apenas nesta mas em múltiplas áreas.

Perspetivas Futuras:

No que concerne à identificação de áreas afetadas por fogo, uma vez que esta técnica permite efetuar a cartografia e a classificação da severidade de forma simples, permite inclusive cruzar a severidade com a carta de ocupação do solo, e relacionar o padrão de recuperação da regeneração entre períodos temporais, salvo melhor opinião, esta metodologia pode vir a substituir ou complementar o atual sistema de cartografia de áreas ardidas (assente em levantamentos GPS, e levantamentos visuais efetuados no terreno), e assim ser adotada pelas entidades competentes como técnica fiável, a partir da qual todas as áreas ardidas superiores a 100 (ha) possam ser cartografadas.

Outro aspeto que se julga relevante prende-se com a facilidade do cálculo da severidade do fogo no território afetado através dos índices espectrais mais

adequados à situação para que seja possível identificar as áreas mais afetadas do ponto de vista dos solos e das plantas. Se esta informação for combinada com outras variáveis é possível identificar as zonas mais vulneráveis ao fenómeno erosão, e assim implementar medidas de antecipação.

O acesso à deteção remota por parte dos técnicos de fogo controlado, permitir-lhes-á futuramente efetuar uma análise de forma célere e fidedigna do fogo que realizaram, podendo desta forma testar modelos de ignição que melhorem a técnica utilizada para conduzir o fogo tendo em conta os níveis de severidade devolvidos pelos índices espectrais, para que seja possível reduzir as áreas afetadas pelas classes mais altas de severidade.

Entender as questões do efeito do fogo, e ao mesmo tempo o impacto das alterações climáticas na função ecológica reveste-se de enorme interesse ao nível das comunidades. Neste sentido, os dados das observações satélite são extremamente importantes em conjunto com as técnicas de deteção remota. No fundo estamos perante um conjunto de novas ferramentas ao nível da gestão da sustentabilidade onde todos devem apostar uma vez que estamos em constante mudança, e onde os desafios globais, como a avaliação, o planeamento e a recuperação dos danos se revestem cada vez mais de maior importância.

➤ Bibliografía

Barbosa, P. M., Grégoire, J. M., & Pereira, J. M. C. (1999). An algorithm for extracting burned areas from time series of AVHRR GAC data applied at a continental scale. *Remote Sensing of Environment*, 69(3), 253-263.

Bastarrika, A., Chuvieco, E., & Martín, M. P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1003-1012.

Carvalho, A., Flannigan, M. D., Logan, K. A., Gowman, L. M., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2010). The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change. *Climatic Change*, 98(1), 177-197.

Chipman, J. W., Kiefer, R. W., & Lillesand, T. M. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. New York.

Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*,

Cihlar, J., Xiao, Q., Chen, J., Beaubien, J., Fung, K., & Latifovic, R. (1998). Classification by progressive generalization: A new automated methodology for remote sensing multichannel data. *International Journal of Remote Sensing*

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Meygret, A. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*,

Escuin, S., Navarro, R., & Fernandez, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*,

Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., ... & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*,

Kaufman, Y. J., Tanré, D., Remer, L. A., Vermote, E. F., Chu, A., & Holben, B. N. (1997). Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,

Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery Gabriel Navarro*, Isabel Caballero, Gustavo Silva, Pedro-Cecilio Parra, Águeda Vázquez, Rui Caldeira

Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images S. ESCUIN*, R. NAVARRO and P. FERNANDEZ Department of Forestry Engineering, ETSI Agronomos y Montes, University of Cordoba, Mene´ndez Pidal s/n, 14080 Co´rdoba, Spain

ASSESSMENT OF FIRE SEVERITY AND POST-FIRE REGENERATION BASED ON TOPOGRAPHICAL FEATURES USING MULTITEMPORAL LANDSAT IMAGERY: A CASE STUDY in MERSIN, TURKEY, H.Tonbul, T. Kavzoglu, S. Kaya Dept. of Geodetic and Photogrammetric Engineering, Gebze Technical University, Turkey

Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California, USA, BECKY L. ESTES, ERIC E. KNAPP, CARL N. SKINNER, JAY D. MILLER AND HAIGANOUSH K. PREISLER Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Redding, California 96002 US

Evaluating Prescribed Fires Kevin C. Ryan Nonan V. Noste, Utah State University

Pattern and process of prescribed fires influence effectiveness at reducing wildfire severity in dry coniferous forests Robert S. Arkle a , David S. Pilliod, Justin L. Welty a aU.S. Geological Survey, Forest and Rangeland Ecosystem Science Center, Snake River Field Station, 970 Lusk St., Boise, ID 83706, USA