

Dissertação de Mestrado
Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território

Estudo da influência do relevo na orientação dos ventos à superfície em contexto de incêndio florestal

Adelino Jorge Eiras Pereira

M

2018



Adelino Jorge Eiras Pereira

**Estudo da influência do relevo na orientação dos ventos à
superfície em contexto de incêndio florestal**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Carlos Valdir Meneses Bateira

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

setembro de 2018

Estudo da influência do relevo na orientação dos ventos à superfície em contexto de incêndio florestal

Adelino Jorge Eiras Pereira

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Carlos Valdir Meneses Bateira

Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro Machado Soares
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Professor Doutor Paulo Alexandre Martins Fernandes
Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Professor Doutor Carlos Valdir de Meneses Bateira
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Classificação obtida: 17 valores

“O pessimista vê dificuldade em todas as oportunidades, o otimista vê oportunidade em todas as dificuldades.”

Winston Leonard Spencer Churchill

Índice

Capítulo I	1
1. Introdução.....	3
2. Estado da arte	4
3. Descrição da área	6
3.1. Geomorfologia e ocupação do solo	6
3.2. Caracterização climática	8
4. O problema.....	9
Capítulo II.....	11
5. Metodologia	13
5.1. Estudo de caso.....	14
5.2. Análise de dados à escala sinótica.....	15
5.3. Análise de dados à mesoescala.....	16
5.4. Análise de dados à microescala.....	17
Capítulo III.....	21
6. Análise dos dados.....	23
6.1. Análise do vento à escala sinótica.....	23
6.2. Análise do rumo do vento à mesoescala	26
6.2.1. Análise de dados em ciclos diários de 24 horas.....	27
6.2.2 Frequência da velocidade de vento	31
6.3. Análise de vento à microescala	32
6.4. Interpretação dos dados observados à microescala	35
6.5. Modelação do vento	35
Capítulo IV	41
7. Incêndio de Valdosende - 7 de agosto de 2015	43
7.1. Incêndios florestais.....	43

7.2.	Histórico de incêndios na área.....	44
7.3.	Topografia, meteorologia e combustível.....	45
7.4.	A topografia	45
7.5.	As condições meteorológicas	46
7.6.	O combustível	48
7.7.	Desenvolvimento do incêndio.....	49
7.8.	A modelação do incêndio.....	51
7.9.	A análise da severidade e intensidade do incêndio	53
	Capítulo V.....	57
8.	Síntese e conclusões	59
9.	Referências:.....	63
	Anexo I - Cartas sinóticas (grandes incêndios).....	67
	Anexo II - Cartas sinóticas (levantamentos de campo).....	73
	Anexo III - Registos de vento do incêndio de 2015 (SNIRH).....	75
	Anexo IV - Análise de dados à mesoescala	77
	Anexo V - Correlação vetorial à microescala	85
	Anexo VI - Severidade do incêndio de 2015	87
	Anexo VII - Mapas de apoio.....	89

Declaração de honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

[Porto, 30 de setembro de 2018]

[Adelino Jorge Eiras Pereira]

Agradecimentos:

A primeira nota de agradecimento vai para todos aqueles que generosamente têm contribuído para a minha formação, essencialmente, os que contribuem para educar a minha forma de ver e de pensar. De todos retenho o mais profundo sentimento de gratidão.

Ao Professor Doutor Carlos Bateira pela orientação, fez jus ao verdadeiro sentido da palavra, delineando o caminho para conseguir os objetivos e sempre que entendia oportuno, indicou as melhores alternativas com a sapiência de quem tem como credo, a verdade científica.

Aos meus amigos Orlando, Dinis e Samuel, pelo apoio incondicional e estímulo nas horas mais difíceis.

E por último, os mais importantes, à minha família, à Isabel e à Sara. Pelos sacrifícios, pelo apoio e pelo carinho que eu tenho a sorte de receber em todos os momentos.

Resumo:

Os incêndios florestais têm-se revelado um flagelo para as sociedades do mundo rural e do interface urbano com avultadas perdas socioeconómicas e ambientais, destes resultaram nos últimos 17 anos centenas de feridos e pereceram 213 pessoas, mais de metade (115) registaram-se no ano de 2017 (CTI, 2017). O meio académico tem um papel preponderante, com o compromisso de apresentar soluções possíveis seguindo a génese da verdade científica.

Este trabalho desenvolve-se no sentido de contribuir para uma melhor interpretação da influência da orografia no movimento atmosférico junto à superfície, apresentando um estudo completo sobre o vale da albufeira da Caniçada. Como é sabido, o vento é uma variável importante na propagação dos incêndios florestais com maior capacidade de destruição, interferindo diretamente na sua intensidade e velocidade de propagação. Seguindo esta súpula, interpretou-se o movimento do ar atmosférico a várias escalas, para que isso fosse efetivo, apresentou-se o estudo das normais climatológicas da velocidade e direção do vento em sete cidades de Portugal continental distribuídas espacialmente de forma a melhor interpretar a realidade do nosso território a esse nível. São estudados os dados registados nas 4 estações da rede do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) colocadas no vale da Caniçada e nas cumeadas entre 2004 e 2017 com leitura a 10 metros. Como o estudo é direcionado para contexto dos incêndios florestais, selecionaram-se os dados relativos aos dias em que estavam reunidas condições para a ocorrência de incêndios. Como normalmente a interação do movimento atmosférico para o desenvolvimento dos incêndios ocorre abaixo dos 10 metros, são tratados e estudados dados atmosféricos recolhidos a 2 metros da superfície, recolhidos nas cumeadas, a meia encosta e nos fundos de vale da área de estudo.

É apresentado um estudo completo relativo ao último grande incêndio, são interpretadas as variáveis associadas ao seu desenvolvimento com recurso aos dados sinóticos exibidos nas cartas meteorológicas, aos dados registados nas estações meteorológicas da rede SNIRH, dados recolhidos junto dos operacionais que estiveram no terreno e das populações que presenciaram o desenvolvimento do incêndio. Através de dados de deteção remota captados pelos sensores do satélite Landsat 8, antes e após a passagem do fogo, é representada a severidade do incêndio nas fases do seu desenvolvimento. Para melhor compreensão do desenvolvimento do incêndio, foi simulada a sua propagação em Farsite, recorrendo aos *input's* disponíveis e desta forma foi testado o seu rigor no tipo de orografia da área de estudo.

No final, são apresentadas propostas para melhor interpretar os incêndios na área estudada demonstrando-se que estes tipos de estudos são essenciais para compreender as dinâmicas associadas ao lugar, nomeadamente, em regiões de orografia complexa. Como a prevenção deve sempre ser privilegiada, atendendo às dinâmicas estudadas e conclusões daí tiradas são apresentadas soluções preventivas com vista a melhorar a resposta em caso de incêndio.

Palavras Chave: Relevo, vento e Incêndio Florestal.

Abstract

Forest fires have been revealed a scourge to societies in the rural world and to the urban interface with heavy socioeconomic and environmental losses which resulted, in the last 17 years, in hundreds of injured and 213 deaths, more than half (115) were registered in the year 2017 (CTI, 2017). The academic environment has a preponderant role, with the commitment to present possible solutions according to the genesis of scientific truth.

This work develops in that way to contribute to a better reading of the orographic influence in the atmospheric movement near the surface, presenting a complete study about the Caniçada reservoir valley. As is well known, wind is an important variable in the propagation of forest fires with greater capacity of destruction, directly interfering in their intensity and propagation speed. Following this summary, the atmospheric air circulation was interpreted at various scales so that this can be achieved, the study of the normal climatological of wind velocity and direction is presented in seven cities of Portugal Continental spatially distributed in order to better interpret the reality of our territory at this level. The recorded data in the 4 stations of the National Hydrologic Network Information System (NHNIS) network placed in the Caniçada valley and in the ridges between 2004 and 2017 with reading at 10 meters were studied. Since the study is directed to the context of the forest fires, the data of the days with conditions for the occurrence of fires were collected and selected. As the interaction of the atmospheric movement for the development of fires normally occurs below 10 meters, atmospheric data collected at 2 meters from the surface, at the summits, at the half-slope and at the valley bottom of the study area are treated and studied.

A complete study of the last major fire is presented, the variables associated with its development are interpreted using the synoptic data shown in the meteorological charts, the data recorded in the SNIRH meteorological stations, data collected from the operational personnel that were on the ground and from the population that witnessed the development of the fire. Through remote sensing data captured by Landsat 8 satellite sensors, before and after the passage of fire, the fire severity is represented in the phases of its development. To better understand the development of the fire, it was simulated its propagation in Farsite, using the available inputs and in this way its accuracy in the orography type of the study area was tested.

In the end, proposals are presented to better interpret the fires in the studied area, demonstrating that these types of studies are essential to understand the dynamics associated with the place, namely in regions with complex orography. Since the prevention must always be privileged, given the dynamics studied and the conclusions drawn from it, preventive solutions are presented to improve the response in case of fire.

Keywords: Relief, Wind and Forest fire.

Índice de figuras

Figura 1 – Mapa de enquadramento.....	6
Figura 2 – Mapa de declives	7
Figura 3 – Mapa de exposições.....	7
Figura 4 – Mapa de ocupação do solo.....	8
Figura 5 – Gráfico termopluviométrico da estação de Braga	9
Figura 6 – Recorrência de incêndios.....	10
Figura 7 - Pinhal da Abadia	10
Figura 8 - Base de dados de informação do vento em Portugal continental	15
Figura 9 - Software WRPLOT View	16
Figura 10 - Estações da rede SNIRH	17
Figura 11 - Cartas sinóticas de superfície dos dias de levantamento de campo.....	18
Figura 12 - Equipamentos usados nas avaliações de campo.....	19
Figura 13 – Regime de ventos em Portugal continental	25
Figura 14 - Velocidade média mensal do vento.....	26
Figura 15 – Resultados a 10 m e pontos de observação a 2m.....	27
Figura 16 – Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Covide	28
Figura 17 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Ermida	28
Figura 18 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação do Penedo	29
Figura 19 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Salamonde	29
Figura 20 – Distribuição total das horas de vento nas 4 estações analisadas.....	30
Figura 21 – Velocidade média de vento em todas as estações analisadas	30
Figura 22 - Distribuição da velocidade do vento	31
Figura 23 - Equipamentos de medição de dados meteorológicos	32
Figura 24 - Exemplo de avaliação de dados de campo	33

Figura 25 – Exemplo da análise do ângulo entre o vetor do vento observado e os restantes vetores	34
Figura 26 – Observações e modelação de vento com o software WindNinja e resultados das observações a 2	37
Figura 27 - Interpretação do comportamento do vento de norte no perfil assinalado a vermelho no mapa	37
Figura 28 - Resultados da modelação de vento com o software WindNinja e resultados das observações a 2m	38
Figura 29 - Interpretação do perfil assinalado a vermelho no mapa	38
Figura 30 - Incêndio em Amur (Rússia) - 04/04/2018 Sentinel 2.....	40
Figura 31 - Configuração do desenvolvimento do incêndio florestal (de Castro, C.F. [et al., 2003)	43
Figura 32 – Declives da área do incêndio	45
Figura 33 – Exposições da área do incêndio.....	45
Figura 34 - Imagem do incêndio no dia 8 de agosto (sentinel 2).....	46
Figura 35 - Rumo e velocidade do vento (Salamonde).....	47
Figura 36 - Estimativa da evolução do incêndio, data – hora	50
Figura 37 - Modelação Farsite	52
Figura 38 - Resultados de área ardida nas várias simulações	52
Figura 39 - Mapa de intensidade e severidade do incêndio	54
Figura 40 - Distribuição da severidade pela utilização do solo	55

Índice de quadros e tabelas

Tabela 1 – Caracterização das estações meteorológicas estudadas	26
Tabela 2 - Tabela de cossenos	34
Tabela 3 - Valores da função cosseno definidos para avaliar o alinhamento dos vetores ...	34
Tabela 4 - Análise de dados de campo.....	35
Tabela 5 - Recorrência de incêndios, 2001 - 2017.....	44
Tabela 6 Análise Campbell Prediction System (CPS)	47
Tabela 7 - Tipos de combustível.....	48
Tabela 8 - Quadro de meios	49

Acrónimos:

ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
ATA	Ataque Ampliado
ATI	Ataque Inicial
CDOS	Comando Distrital de Operações de Socorro
COS 07	Carta de Ocupação de Solo de 2007
CPS	<i>Campbell Prediction System</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
METAR	<i>Meteorological Aerodrome Report</i>
NFFL	<i>Northern Forest Fire Laboratory</i>
NOOA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PDSI	<i>Palmer Drought Severity Index</i>
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

Capítulo I

1. Introdução

Nos incêndios florestais, a topografia, o coberto vegetal e a meteorologia são os três elementos fundamentais para a caracterização da evolução do incêndio florestal (Viegas, D.X. [et al.], 2011). O aumento da área ardida e severidade dos incêndios florestais contribuiu para o aumento significativo do estudo deste flagelo que continua a devastar as sociedades afetadas, atingindo um pico significativo no ano de 2017 (ICNF, 2017). Todos os elementos referidos que concorrem para a sua propagação têm a sua devida importância, no entanto, a topografia permanece praticamente estática e não é possível uma atuação que permita que esta seja alterada, tornando assim o seu estudo, redundante e intemporal. O coberto vegetal varia com a altitude, exposição das vertentes e precipitação, regiões que com valores de precipitação mais elevados apresentam maior carga de combustível. As vertentes voltadas a norte e oeste, apresentam mais vegetação devido à menor exposição solar e influência das brisas, as de oeste são mais húmidas, é nas zonas sombreadas e nos vales mais fechados que a humidade do solo é superior nas estações mais quentes (Gonçalves, A.B., 2007). O estado vegetativo das plantas é influenciado pela exposição das vertentes, que apresentam variações de humidade decorrentes da sazonalidade e dos períodos sem precipitação que normalmente, é maior nos meses de verão e menor nos meses de inverno, uma tendência que ultimamente tem sido quebrada, verificando-se alguns períodos de tempo quente sem precipitação no inverno, criando condições para a ocorrência de incêndios nesse período (DGRF, 2006). Esta condição que se tem verificado, será mais evidente nos próximos anos convergindo para o aumento do risco de incêndio (Bedia, J. [et al.], 2014). Já a meteorologia, continua a deter o conjunto de variáveis de mais difícil previsão, onde a longo e médio prazo não existem modelos preditivos capazes de apresentarem resultados com a fiabilidade que todos desejariam. A influência da escala e imprecisões dos *input's*, podem gerar erros que inviabilizam os modelos, por outro lado, escalas com demasiado pormenor, tornam o processamento da informação difícil, contribuindo para uma maior incerteza dos modelos de previsão (Coen, J.L., 2005).

Entre os valores meteorológicos, a precipitação, a temperatura, a humidade relativa do ar, o vento e a estabilidade atmosférica são os que têm uma influência mais direta no comportamento dos

incêndios. Em termos teóricos o movimento das massas de ar na atmosfera são sobejamente conhecidos mas, o seu comportamento à micro escala e junto à superfície, onde se desenvolve grande parte dos incêndios e onde todos começam, não têm existido muitos estudos relativos a esta peculiaridade importante, os poucos existentes provam essa necessidade para colmatar fenómenos específicos de determinadas áreas geográficas (Millan, M.M. [et al.], 1998), uma das razões para a elaboração do presente trabalho. Os estudos relativos ao comportamento de massas de ar junto à superfície incidem nas cotas dos dez metros e oitenta metros. Coincidentemente, aumentaram gradualmente nos últimos quarenta anos com a emergente utilização da energia eólica como energia renovável para a produção de energia elétrica. Contudo, este desenvolvimento desvia a sua aplicabilidade aos incêndios, urgindo mais desenvolvimentos neste tema, principalmente o conhecimento da sua interação com a superfície e influencia desta no seu comportamento. A complexidade do comportamento das massas de ar à superfície requiere estudos em vários cenários, pois as diversas formas de relevo inviabilizam uma teoria única, também é sabido que as diferenças de temperatura têm influência direta no movimento vertical do ar atmosférico. Este fenómeno tem sido muito abordado no comportamento de fenómenos meteorológicos extremos e menos estudada na sua influência circunstancial nos incêndios florestais. Contudo, saber o que se passa em altitude até à troposfera, é fundamental para interpretar o que se passa à superfície no que se refere à instabilidade responsável por fortes correntes convectivas.

Na propagação dos incêndios, são por vezes desvalorizadas algumas especificidades relativas aos ventos sinóticos nomeadamente, a quantidade de humidade que trazem em função da sua proveniência (Lourenço, L., 1988). Os ventos provenientes do norte de África não são muito frequentes, mas podem ocorrer em qualquer estação do ano, desmitificando muitas vezes o conceito de sazonalidade do fenómeno dos incêndios florestais, sabe-se que existe relação entre os Grandes Incêndios Florestais em Portugal e o padrão sinótico com os baixos valores de precipitação verificados nos meses da primavera e verão (Pereira, M.G. [et al.], 2005).

2. Estado da arte

O estudo do vento associado a fenómenos atmosféricos relacionados com tempestades, precipitação extrema e outros fenómenos atmosféricos têm vindo a ser estudados, principalmente pela geofísica. A influência do atrito gerado pela superfície terrestre na direção e velocidade do vento, têm-se intensificado nos últimos quarenta anos, muito devido à utilização do seu potencial energético, sendo criado o mapa médio da intensidade do vento aos 80 m de altura, referente ao atlas do potencial eólico de Portugal de 1999 (INEGI) e o Atlas Europeu do Vento. Estes estudos incidem nos ventos acima dos dez metros pois, são as cotas que são colocados os aerogeradores. Com o surgimento dos modelos numéricos preditivos da propagação de incêndios florestais, surgiu a

necessidade de criar tabelas de ajuste dos ventos gerais relativamente à superfície (Andrews, P.L., 2012). O estudo do vento associado aos incêndios florestais tem surgido devido ao ajuste dos modelos preditivos existentes, contudo, o atrito gerado à superfície e a orografia, multiplicam as variáveis, havendo a necessidade de modelação com rigor espacial que podem comprometer a capacidade de processamento e a sua viabilidade. Em determinadas situações as brisas no interior dos vales mais fechados sobrepõe-se aos ventos gerais, mesmo tendo intensidades mais baixas contribuem para a propagação do fogo enquanto este se encontra no interior do vale (Coen, J.L., 2005), este é apresentado como um dos problemas na elaboração dos modelos.

Estudos mais recentes, apresentam o tipo de povoamento florestal como uma condicionante à modelação. Nas correções constantes aplicadas ao sub-bosque, é considerado o tipo de povoamento, estando provado que existem variáveis complexas que as condicionam (Moon, K. [et al.], 2016), o rigor das cartas de utilização do solo, a variabilidade da quantidade de combustível e a sua distribuição, corroboram para as imprecisões que podem ser geradas por este *input*. Contudo, torna-se pertinente estudar as especificidades dos locais de maior risco, onde a leitura das condições do lugar se impõe à partida empiricamente mal explicadas pelas variáveis conhecidas. Os investimentos realizados em estudos de avaliação de risco, onde foram implementadas intervenções na paisagem e a nível sociológico, com o compromisso da sociedade na governança do risco tem revelado bons resultados (Oliveira, T.M. [et al.], 2016). Existem situações em que o conhecimento empírico não é de modo algum suficiente para interpretar alguns fenómenos, principalmente quando as características do terreno levam ao escoamento do ar atmosférico desalinhado com o vento sinótico, atingindo por vezes maior velocidade canalizando dessa forma o incêndio por um rumo não esperado (Sharples, J.J. [et al.], 2012), levando muitas vezes à ocorrência de grandes incêndios, com elevadas perdas, incluindo a perda de vidas humanas.

Atualmente, há referências às alterações climáticas e à acumulação de combustível como causa dos mega incêndios, contudo, as bases físicas que fundamentam esta teorias ainda não foram testadas. No incêndio que deflagrou na encosta ocidental da Serra Nevada na Califórnia em setembro de 2014, foram analisadas todas as variáveis relativas ao comportamento e duração do incêndio, com este estudo conclui-se que os ventos induzidos pelo fogo superavam os ventos sinóticos e os ventos locais não detetados pelas estações meteorológicas, sendo estes os responsáveis pelo rápido desenvolvimento do incêndio (Coen, J.L. [et al.], 2018). Um recente estudo realizado na bacia mediterrânica, concretamente na Catalunha, onde se concluí que os incêndios causados pelo vento eram influenciados por fatores topográficos e climáticos (Duane, A. [et al.], 2015). Estas conclusões tornam pertinente este estudo onde o elemento orografia pode ser importante. Pretende-se verificar se o mesmo ocorre na área de estudo.

3. Descrição da área

A área a estudar situa-se na bacia do rio Cávado, no vale da Barragem da Caniçada, incidindo na margem direita do Rio Cávado até à confluência com a Ribeira da Abadia. Nas zonas de maior altitude, encontramos solos mais pobres, áreas de pasto e matos, também predominam longos afloramentos graníticos, as encostas apresentam bastante densidade florestal com mais de 50% da área ocupada por povoamentos e nos fundos de vale com acesso a regadio, existe agricultura de minifúndio, muitas vezes na forma de socalcos. Localiza-se geograficamente junto ao limite sul do Parque Nacional da Peneda Gerês em zona da Rede Natura 2000 (Figura 1)

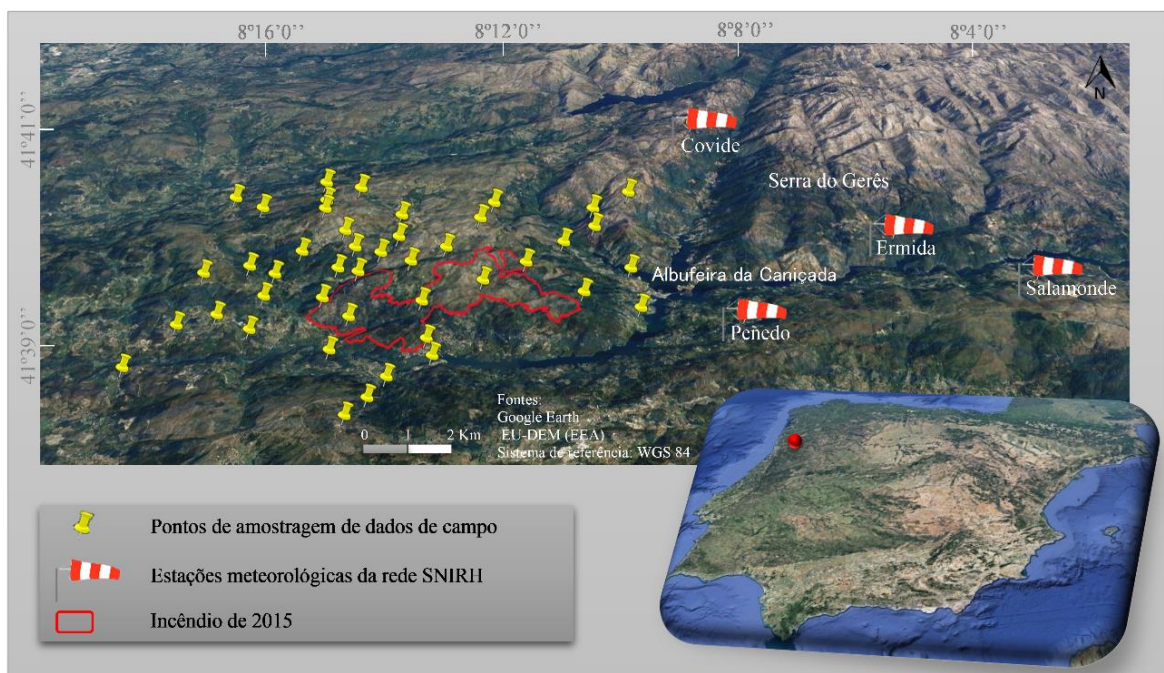


Figura 1 – Mapa de enquadramento

3.1. Geomorfologia e ocupação do solo

Geomorfologicamente, a área desenvolve-se entre as cotas dos 40 e dos 990 metros, com média de 405 metros. Mais de metade da área apresenta declives superiores a 20%, o declive máximo é de 337% (Figura 2). No substrato geológico predomina o granito com zonas de afloramento que aumentam com a altitude. A orografia abrupta com declives elevados e vales de fratura com orientação Bética e Hercínia, tornam a região extremamente acidentada, o que dificulta a mobilidade das pessoas (António, P. and Bruno, M., 2012). “O Minho é um amplo anfiteatro virado ao mar e drenado por alguns rios sensivelmente paralelos”, é desta forma que Feio, M. (1951) descreve a região que encontra como primeira barreira orográfica, a cordilheira montanhosa das serras da Peneda, Gerês, Cabreira e Marão.

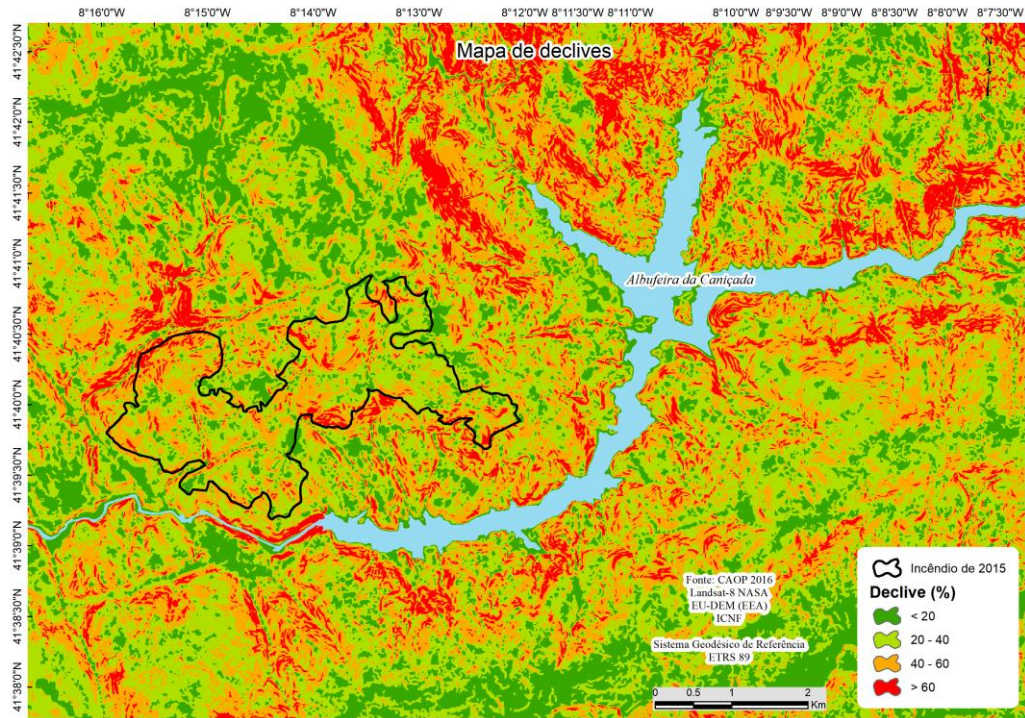


Figura 2 – Mapa de declives

A exposição das vertentes na zona central, onde ocorreu o último Grande Incêndio Florestal (GIF), são maioritariamente entre os quadrantes este, sul e oeste, representando aproximadamente dois terços das exposições. A exposição solar influencia na quantidade e disponibilidade de combustível e na humidade no solo (Figura 3).

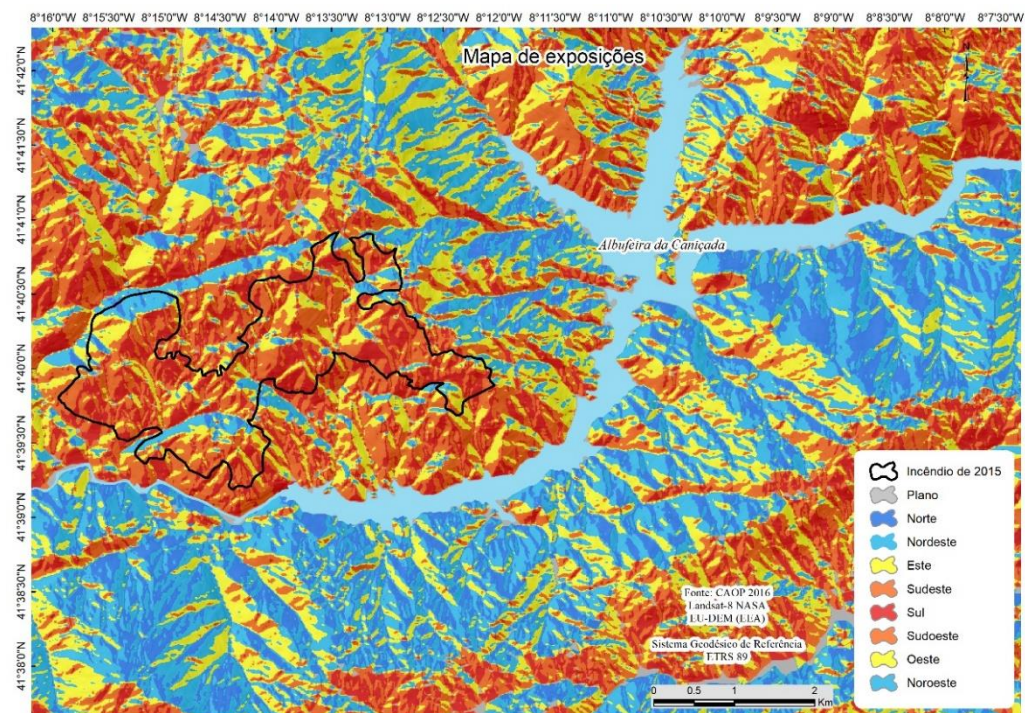


Figura 3 – Mapa de exposições

A ocupação de solo é dominada pelos matos e vegetação arbustiva, apresentando agricultura de minifúndio com povoamento disperso nas cotas mais baixas e junto às ribeiras, floresta nas cotas acima do 200 metros e matos acima dos 700 metros (Figura 4).

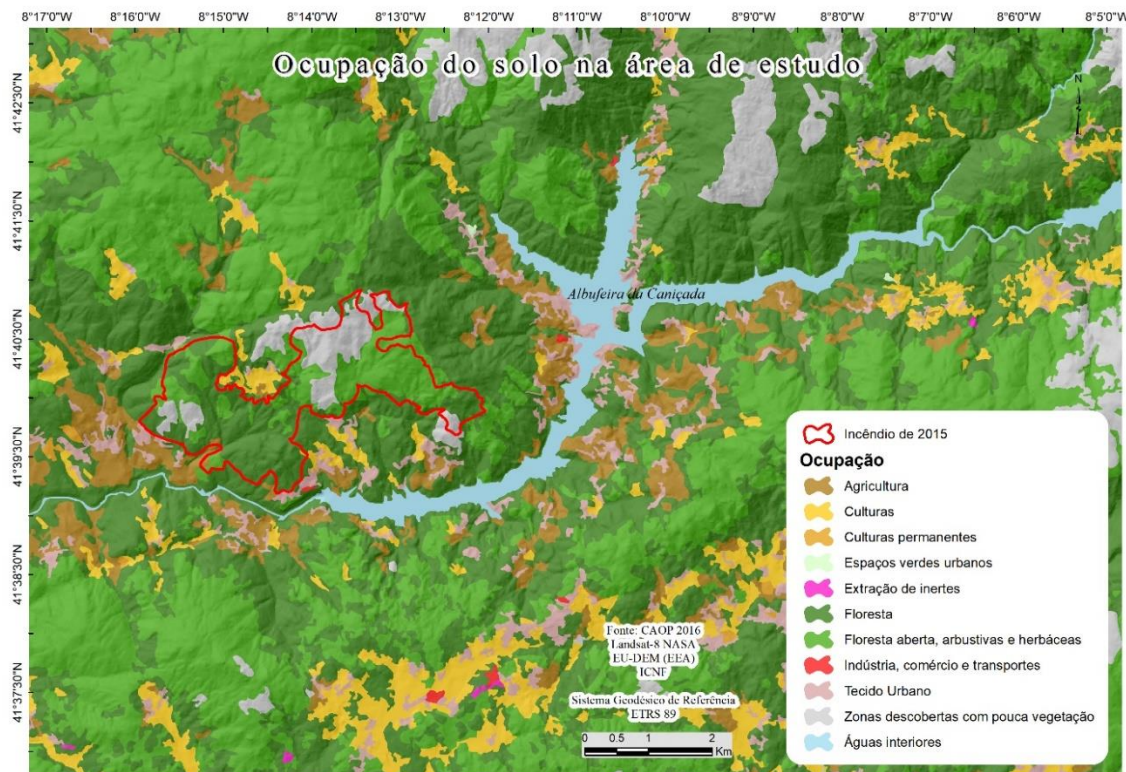


Figura 4 – Mapa de ocupação do solo

3.2. Caracterização climática

Portugal continental, localiza-se entre a latitude dos 37 e os 42 graus, na transição do campo estável da cintura de altas pressões subtropicais, das perturbações da frente polar e da migração meridiana de perturbações de gota-fria. O domínio das células subtropicais anticiclónicas nos meses mais quentes do ano condicionam o estado do tempo neste período do ano, enquanto a meteorologia no resto do ano é influenciada de forma descontinuada mas com recorrência, pela atividade polar e subpolar (Ganho, N., 2007).

A área geográfica em estudo, está inserida na região noroeste de Portugal continental, apresenta os valores mais elevados de precipitação registados no território, acima dos 1400 mm. Com mais de 125 dias de precipitação, a classificação climática de Köppen é “csb”, clima temperado com verão quente e seco (AEMET, I., 2011). A avaliação termopluiométrica entre 1981 e 2010 (Figura 5), pode-se observar que os meses de outubro a janeiro apresentam níveis médios de precipitação mais elevados e as temperaturas mais altas ocorrem entre junho e setembro segundo os dados observados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

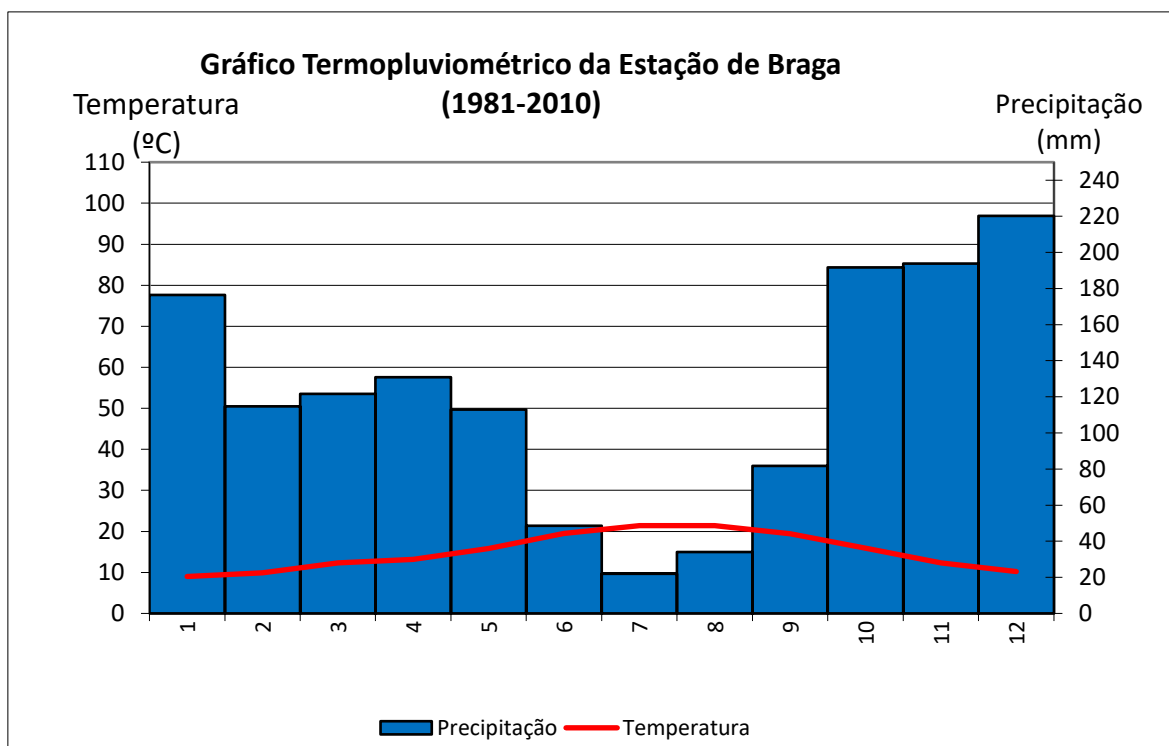


Figura 5 – Gráfico termopluviométrico da estação de Braga

4. O problema

Após a observação de algumas peculiaridades do comportamento dos incêndios nos últimos vinte e sete anos, na área de estudo, verificou-se que, os incêndios que passam de um hectare facilmente passam os 100 hectares (Figura 6), apresentam uma configuração geográfica relativamente semelhante na vertente voltada à barragem da Caniçada, apesar de nos dias dos incêndios o regime sinótico registado proporcionar ventos do quadrante leste, nenhum dos incêndios passou a ribeira da Abadia com orientação sudoeste-nordeste.

Pode observar-se nas cartas sinóticas referentes aos dias em que ocorreram os incêndios (anexo I), que o regime sinótico observado favorece a existência de ventos provenientes do quadrante leste. O vento, além de aumentar a taxa de evaporação da humidade dos combustíveis, contribui para a dissipação da humidade do ar (Collischonn, W. and TASSI, R., 2008) e aumenta o aporte de comburente que favorece a propagação do incêndio, também é frequentemente responsável pela dimensão e forma do perímetro dos incêndios (Fernandes, P., 2007). Mediante os pressupostos já conhecidas revela-se essencial realizar as análises necessárias para a prova explicativa dos fenómenos observados.

Na margem direita da ribeira da Abadia existe um pinhal denso pertencente ao perímetro florestal da Abadia com disponibilidade e continuidade de combustível, a exposição a sul e os

regimes de ventos de leste baixam a sua secura tornando-os ainda mais disponíveis para a combustão (Figura 7).

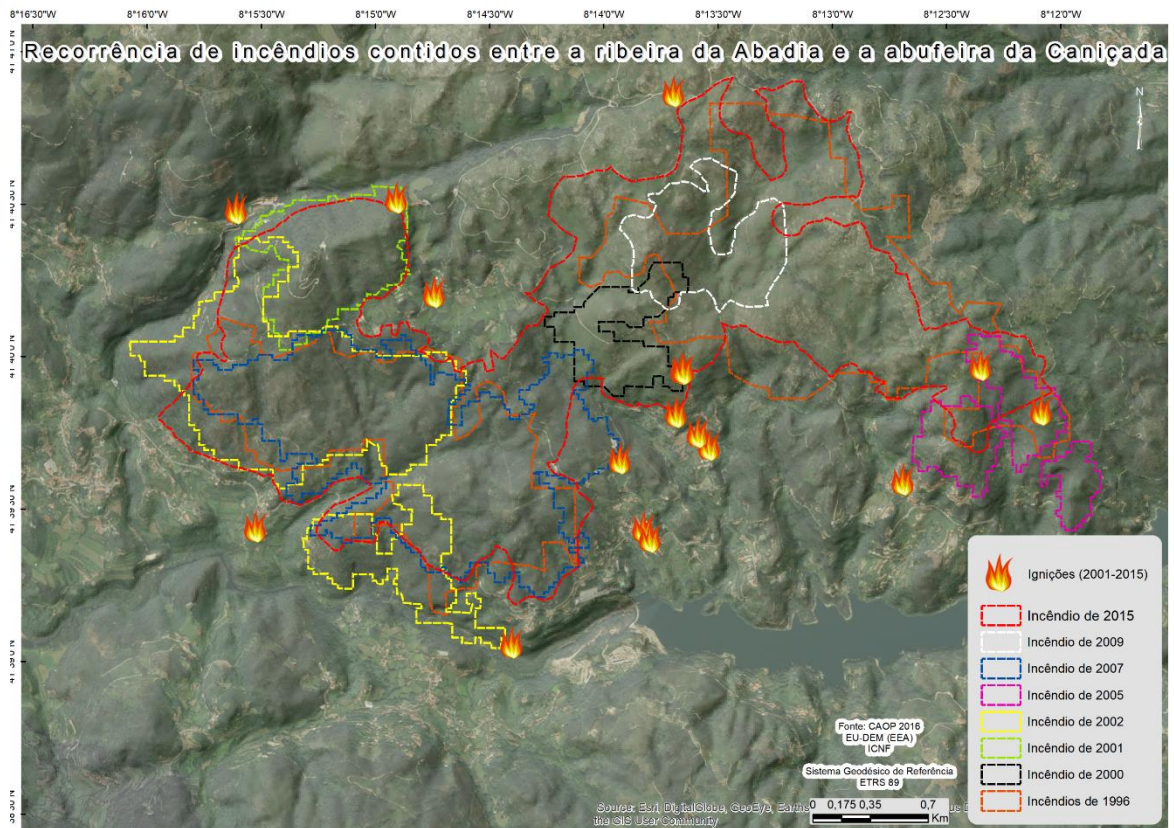


Figura 6 – Recorrência de incêndios



Figura 7 - Pinhal da Abadia

Capítulo II

5. Metodologia

A doutrina atual, estabelece como elementos fundamentais no estudo dos incêndios florestais, o combustível, a topografia e a meteorologia. Na meteorologia, a velocidade ou módulo e rumo do vento têm influência privilegiada no comportamento dos incêndios florestais, de alguma forma esta influência é semelhante ao efeito do relevo, favorecendo a inclinação da chama permitindo o pré-aquecimento do combustível adjacente promovido pela radiação. O vento favorece ainda o fluxo dos gases quentes, efeito da convecção (Rothermel, R.C., 1972). O relevo é um elemento com propriedades que se podem considerar estáticas, o que não acontece com o vento, a sua variação no espaço e no tempo é um processo de difícil previsão devido essencialmente ao número de variáveis que condicionam o seu escoamento, onde o próprio incêndio vem alterar as variáveis já existentes nomeadamente, nos valores de pressão e temperatura (Viegas, D.X. [et al.], 2011). Neste trabalho, onde se pretende avaliar a influência da orografia no comportamento do vento à superfície, será estudado o fenómeno nas seguintes escalas:

- Escala sinótica – as análises meteorológicas à escala sinótica ou regional variam na amplitude espacial entre os 2000 e os 10000 km e temporalmente, referem-se a dias ou semanas, focam essencialmente sistemas depressionários e sistemas frontais (IPMA, 2018), a escala global precede a escala sinótica contudo, não se revela relevante a sua abordagem neste trabalho.
- Mesoescala – o estudo da meteorologia à mesoescala (representa uma escala horizontal superior a 5 km e pode ir até aos 2000 km), este estudo explica essencialmente, as brisas, os fenómenos convectivos e a instabilidade, refere-se a um período temporal de horas ou dias (Pielke Sr, R.A., 2013). O movimento do ar atmosférico a esta escala é muito influenciado pela orografia e pelas diferenças de temperatura em regiões de vale e montanha com variações bruscas de altitude (Whiteman, C.D. and Doran, J.C., 1993).
- Microescala – é a escala mais reduzida das avaliações meteorológicas, é a esta escala que existe maior interação com a superfície, onde o relevo, as árvores, os edifícios e todas as estruturas físicas existentes à superfície podem interferir com a meteorologia e clima a esta escala (Wang, Y. [et al.], 2013). É também a esta escala que se verifica a interação do fogo com os movimentos de ar da atmosfera junto à superfície, contrariando as dinâmicas introduzidas pelas variáveis de outras escalas (Sharples, J.J. [et al.], 2012).

No estudo do fenómeno à microescala, além das observações realizadas no terreno, foram modelados para a área de estudo os valores apresentados nas cumeadas com recurso ao software WindNinja (Forthofer, J. [et al.], 2009) e geoestatística em SIG.

5.1. Estudo de caso

A realização deste trabalho direcionado para a influência da orografia no comportamento do vento em condições sinóticas de tempo quente e seco exigiu um estudo de caso para interpretar o fenómeno num contexto de incêndio. No estudo e análise de ocorrências de incêndios florestais é reconhecida a importância do estudo das particularidades do combustível, meteorologia, orografia e histórico de ocorrências (Stephens, S.L., 2005), a região noroeste de Portugal continental apresenta particularidades na dispersão do combustível e na formação orográfica, vales abertos no litoral e muito fechados no interior, descontinuidade de combustível devido à existência de afloramentos rochosos. Os solos pobres favorecem o aparecimento de espécies mais resistentes como os matos (Gonçalves, A.B., 2007).

Entre 2001 e 2017 ocorreram oito incêndios florestais com área significativa que variou entre os 55 e os 658 hectares. Para o estudo de caso foi selecionado o último grande incêndio, ocorreu a 7 de agosto de 2015 com a área de 658 ha, sendo o incêndio com maior área registado na encosta voltada à Barragem da Caniçada e com mais meios envolvidos (ICNF, 2018).

Para o estudo aprofundado do incêndio e da sua evolução foi solicitada à Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) a fita de tempo da ocorrência, à qual não foi obtida resposta em tempo útil. Nessa impossibilidade, para conseguir a informação necessária para o estudo de caso, foram entrevistados cinco operacionais que estiveram no combate e cinco habitantes distribuídos pela área do incêndio e que presenciaram o mesmo. A partir das 14h00 horas do dia 8 de agosto até à ao domínio do incêndio eu presenciei o desenvolvimento do incêndio.

Ações para estudo de caso:

- ✓ Entrevistas de operacionais envolvidos nas operações de combate e habitantes da zona do incêndio que presenciaram o seu desenvolvimento. Foram elaborados vários resumos validados pelo cruzamento da informação recolhida;
- ✓ Análise meteorológica da situação sinótica verificada nos dias do incêndio;
- ✓ Análise de dados meteorológicos horários registados nas estações estudadas durante o incêndio e os dados observados pelos operacionais entrevistados;
- ✓ Estudo do desenvolvimento do incêndio dividido por 4 fases;
- ✓ Modelação do incêndio com recurso ao simulador Farsite para comparação da evolução real do incêndio e a evolução simulada;

- ✓ Estudo da severidade do incêndio com recurso a análise de dados obtidos através de detecção remota pelo satélite Landsat 8.

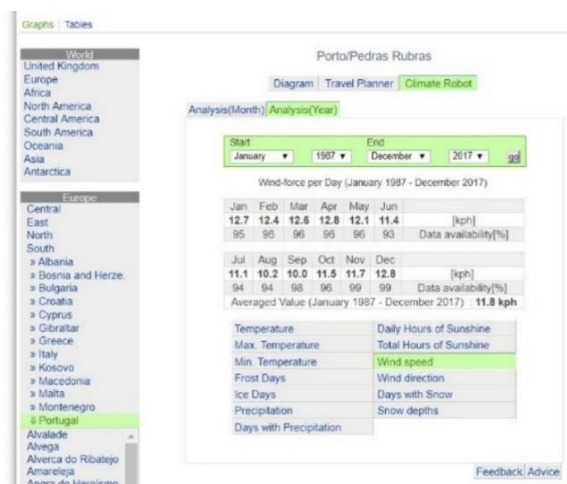
5.2. Análise de dados à escala sinótica

A análise de vento à escala sinótica é basilar. As outras escalas são suas subsidiárias e a esta escala já é observada a influência da orografia bem como outras variáveis associadas ao lugar. As movimentações do ar na atmosfera visam a compensação de desequilíbrios, nomeadamente de pressão e temperatura (Smith, R.B., 1982). Para apresentar resultados relativos a esta escala e na ausência de outras fontes, foram representadas as normais climatológicas referentes à velocidade e rumo do vento em Portugal continental no período compreendido entre 1 de janeiro de 1987 e 31 de dezembro de 2017. As observações expressas em normais climatológicas para um período de trinta anos, indicam o resultado estatístico referente à direção e velocidade média mensal referente ao mesmo período. São observações realizadas em estações fixas a 10 m. Foram selecionadas estações coincidentes com aeródromos ou aeroportos, pois os dados arquivados são decorrentes das informações conhecidas como *Meteorological Aerodrome Report* (METAR). Com recurso ao site <http://www.weatheronline.co.uk>, foram selecionados os dados armazenados referentes às estações dispersas por Portugal continental para melhor caracterizar a realidade de todo o país, para esse efeito, foram selecionadas as seguintes estações:

- Porto
- Bragança
- Coimbra
- Castelo Branco
- Lisboa
- Évora
- Faro

Foram representados graficamente a distribuição percentual da direção do vento em cada uma das estações e a velocidade média mensal (Figura 8).

Figura 8 - Base de dados de informação do vento em Portugal continental



5.3. Análise de dados à mesoescala

Neste trabalho, foram estudados os dados discretos da velocidade média horária de ventos registados nas estações automáticas da rede SNIRH a 10 metros do solo. Foram selecionados apenas os dados em dias sem precipitação, validados pelas seguintes condições:

- i. Dados relativos a mais de sete dias sem precipitação com temperaturas inferiores a 20°.
- ii. Dados relativos a mais de cinco dias sem precipitação com temperaturas superiores a 20°.
- iii. Foram verificados e removidos os dados que apresentassem atributos conotados com avaria do equipamento, valores nulos de velocidade ou direção repetida por um período de mais de 3 horas.
- iv. Os valores com velocidade de vento igual a zero foram apenas usados para determinar as horas com e sem vento sendo retirados de seguida. Não foi considerado o rumo de vento com velocidade igual a zero.
- v. Foram validados como dias com precipitação os que apresentavam valores acima dos dois milímetros médios diários registados em pelo menos duas das estações estudadas.

Os parâmetros definidos nos pontos i e ii, foram os mesmos que servem como limites de referência para a temperatura e dias sem chover na realização de fogo controlado (Fernandes, P. [et al.], 2002). Assim, só foram incluídos dados meteorológicos de vento em dias que estariam fora da prescrição para a realização de fogo controlado. Para o estudo detalhado dos dados observados, foram realizadas as análises estatísticas necessárias para a sua interpretação, recorrendo a folha de cálculo e ao software WRPLOT View - Lakes Environmental, Canada (Figura 9).

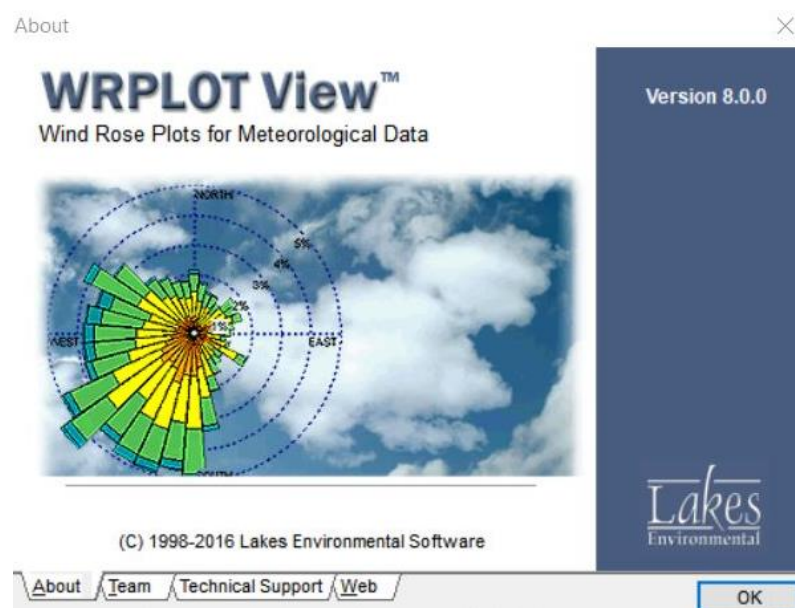


Figura 9 - Software WRPLOT View

O *software* foi criado para a modelação de ventos em contexto hidrológico, pois discrimina velocidades reduzidas de vento. Para que fossem considerados todos os valores da velocidade do vento registados nas estações, foram multiplicados todos os valores por dez e depois divididos os resultados finais, só assim foi possível modelar todos os valores da velocidade e rumo do vento.

Com recurso ao *WORL PLOT View*, foi possível representar graficamente e mapear a distribuição do rumo em intensidade do vento no espaço temporal entre 2004 e 2017. Foram seleccionadas as estações inseridas na área a estudar (Figura 10):

- Covide
- Ermida
- Penedo
- Salamonde

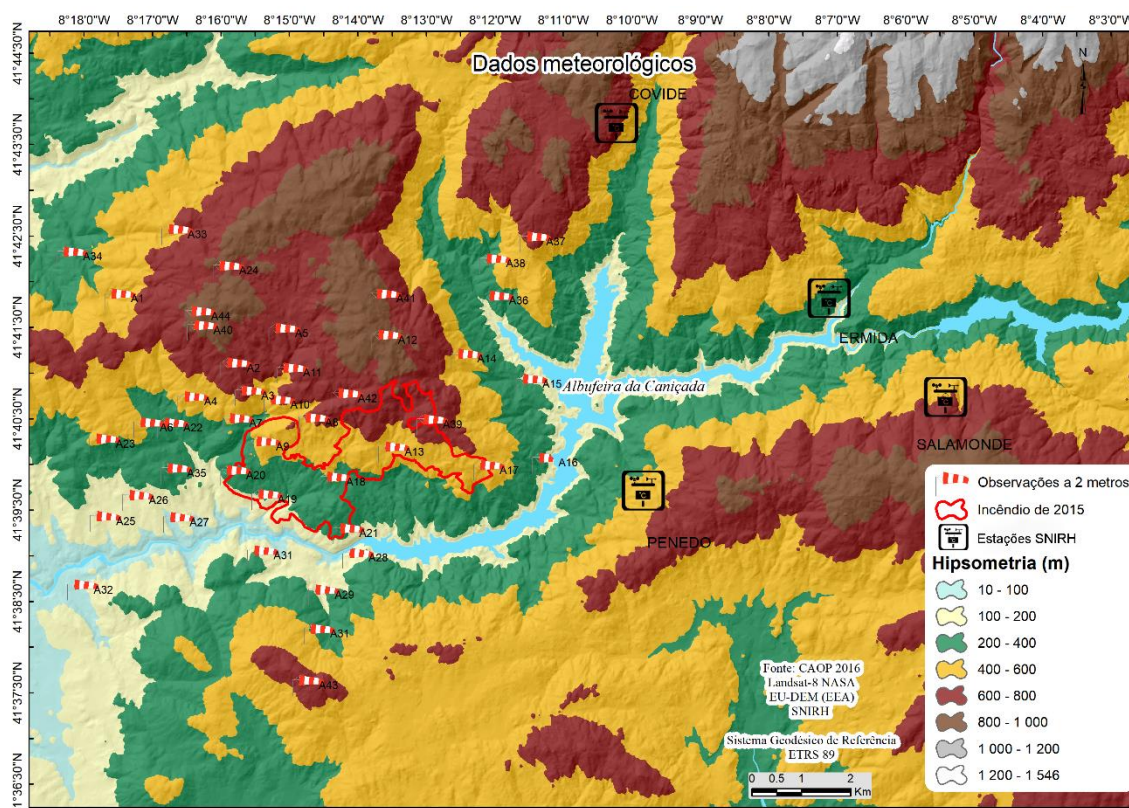


Figura 10 - Estações da rede SNIRH

No total, foram analisados 200866 dados horários e validadas 96275 horas que cumpriam as condições de seleção previamente estabelecidas.

5.4. Análise de dados à microescala

Para estudar e caracterizar o movimento de ar atmosférico na área de estudo à microescala foram realizados levantamentos de campo em quarenta e três pontos dispostos nas cumeadas, a meia

encosta e no fundo de vale. Foram selecionados dois dias, um com regime sinótico associado a ventos de norte (20 de fevereiro de 2018) e outro com vento de leste 29 de janeiro de 2018). Os ventos entre o quadrante sul e oeste não foram avaliados, na generalidade estes regimes de vento estão associados a condições de precipitação. Os incêndios com mais de 100 hectares de que há registo, ocorreram todos com regime sinótico associado a ventos de leste. Os ventos continentais provenientes de zonas mais altas secam adiabaticamente, criando condições favoráveis para a ocorrência incêndios mais difíceis de controlar (Gedalof, Z.e. [et al.], 2005), estas situações agravam-se quando são precedidas de períodos de seca *Palmer Drought Severity Index* PDCI (Palmer, W.C., 1965). Em Portugal existem estudos que correlacionam a situação sinótica observada no dia 29 de janeiro com a recorrência de grandes incêndios florestais (Ramos, C. and Ventura, J.E., 1992). Na Figura 11 são apresentadas as cartas sinóticas dos dias dos levantamentos de campo.

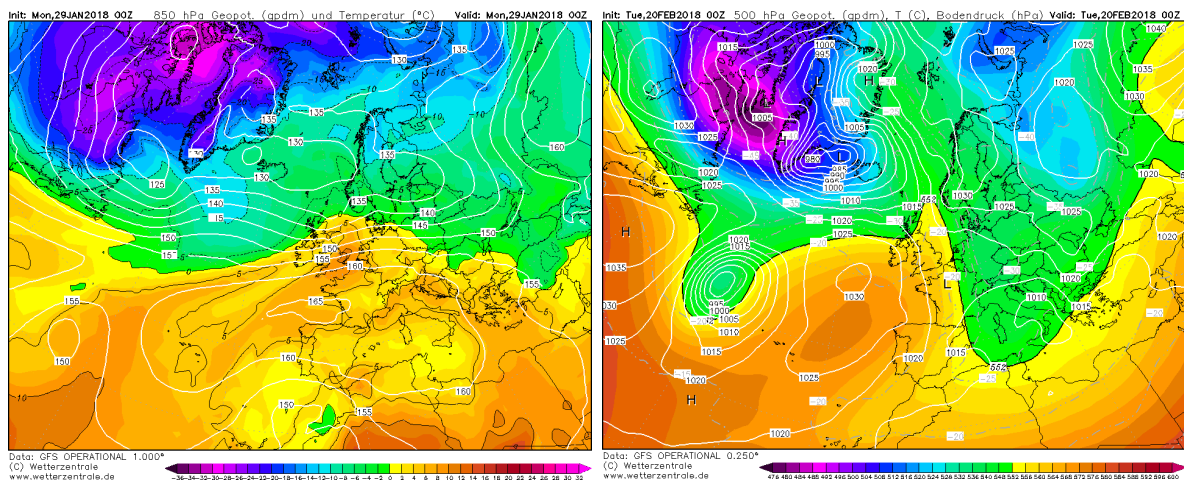


Figura 11 - Cartas sinóticas de superfície dos dias de levantamento de campo

Condições de levantamento dos dados de campo:

- i. Avaliações realizadas com estação meteorológica portátil a 2 metros do solo;
- ii. Foram recolhidos dados de temperatura, pressão atmosférica, rumo e velocidade do vento;
- iii. Os dados foram recolhidos entre as 08:00 e as 20:00 horas;
- iv. Os dados foram levantados com o mesmo regime de vento, sendo o ponto A44 a referência por se encontrar à cota mais elevada.

Equipamentos de medição usado nas avaliações (Figura 12):

- Estação fixa colocada no ponto mais elevado – Estação Auriol IAN 114435;
- Estação portátil utilizada para medições – Kestrel 3000;
- Equipamento GPS para avaliação de coordenadas dos pontos e rumo do vento – Garmin Montana.



Figura 12 - Equipamentos usados nas avaliações de campo

Capítulo III

6. Análise dos dados

O problema apresentado conduziu à necessidade de elaborar um estudo das características do vento em Portugal continental por não existir bibliografia disponível que o caracterizasse relativamente ao rumo e velocidade, pois como já foi referido, a comunidade científica tem dedicado muitos artigos ao estudo dos ventos à superfície e nas zonas de cumeada, estudos conduzidos pela imergente procura do seu potencial como energia renovável (da Silva Costa, P.A., 2004). Na existência desse vazio, procurou-se estudar e interpretar o fenómeno a uma escala mais pequena, no território continental, e à grande escala, na área de estudo. Para isso, contribuíram os dados do site <http://www.weatheronline.co.uk>.

Os dados das estações automáticas da rede do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) e os dados recolhidos no terreno permitiram o estudo à meso escala e microescala respetivamente. Os poucos estudos existentes provam que os processos apresentam particularidades dependentes da localização geográfica influenciadas pelas dinâmicas próprias relativas às condições de escoamento e com variação cíclica nos períodos diários, manhã, tarde e noite (Millan, M.M. [et al.], 1998). Para verificar se esta condição, já observada noutras regiões do planeta, se verifica na área de estudo, houve a necessidade de realizar uma análise completa de todos os valores apresentados, tais como:

- a) Representação gráfica e cartográfica da velocidade e rumo do vento de todos os dados observados nas estações;
- b) Análise gráfica do rumo de vento observado pela distribuição horária do ciclo das 24 horas diárias;
- c) Análise do número total de horas com vento e distribuição pelo ciclo diário de 24 horas;
- d) Distribuição da frequência de velocidades nos ciclos de 24 horas diárias;
- e) Representação gráfica da frequência da velocidade do vento registada;
- f) Representação gráfica das observações realizadas no terreno;
- g) Representação gráfica das modelações com recurso ao *software* WindNinja.

6.1. Análise do vento à escala sinótica

Os movimentos na atmosfera resultam do fluxo do ar atmosférico influenciada pela variação de pressão que, esta por sua vez, ocorre devido às trocas de calor e à força de Coriolis (Holton, J.R., 2004). A camada limite e a estabilidade atmosférica também representam variáveis importantes no escoamento do ar atmosférico à superfície e variam com a dimensão da zona montanhosa. Acima da camada limite domina o vento geostrófico (Smith, R.B., 1979). Além dos ventos, influenciados pelo regime sinótico, pelas diferenças de temperatura e pressão à superfície, pelo atrito da superfície e pelo efeito de coriolis, existem as brisas. As brisas formam-se devido à variação térmica da superfície

da terra, em zonas de montanha designam-se tecnicamente por anabáticas quando sobem a encosta e catabáticas quando descem as encostas (Sharples, J.J., 2009). São normalmente formadas à mesoescala e podem apresentar-se como:

- i. Brisa de montanha – formam-se devido ao aquecimento das cumeadas e normalmente ao início da manhã, fazem com que a circulação do ar se desloque em direção às cumeadas.
- ii. Brisa de vale – formam-se inversamente às brisas de montanha devido ao arrefecimento adiabático das superfícies mais elevadas, fazem com que a circulação do ar se desloque em direção ao vale.
- iii. Brisas marítimas – ocorre geralmente durante o dia com a subida do ar mais quente junto à superfície da terra e a descida do ar mais frio e húmido sobre a superfície do oceano.
- iv. Brisa terrestre – Ocorre normalmente durante a noite devido ao fenómeno inverso que provoca as brisas marítimas, manifesta-se através do movimento do ar em direção ao mar.

As avaliações climatológicas devem apresentar valores médios meteorológicos para um período de trinta anos - normais climatológicas - período definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) como ideal para avaliar tendências relativas a dados climáticos (IPMA, 2018) .

Tendencialmente, os ventos têm velocidade superior às brisas, no litoral a nortada aumenta durante a tarde, sendo mais característica nos meses mais quentes. O vento suão é a designação dada ao vento vindo de sul e de sueste, normalmente só se verifica no sul do país, mas em situações de exceção pode estender-se a latitudes mais a norte como ocorreu no dia 15 de outubro de 2017, estes ventos são quentes e secos. A nortada, é um regime de ventos de norte e noroeste que atinge a costa ocidental de Portugal continental.

A avaliação de um fenómeno à meso escala ou à microescala, deve ser precedida de um conhecimento aprofundado do fenómeno a outras escalas assim, perante o desconhecimento de uma abordagem a este nível para o território de Portugal continental, foi caracterizada a direção e velocidade do vento em sete cidades distribuídas geograficamente pelo território recorrendo aos dados do site: <http://www.weatheronline.co.uk>. Foram utilizados dados disponíveis das seguintes estações meteorológicas com dados dos últimos 30 anos:

- Porto
- Bragança
- Coimbra
- Castelo Branco
- Lisboa
- Évora
- Faro

No litoral norte observa-se uma grande incidência das brisas continentais, seguindo-se os registos cumulativos da nortada, ventos dos octantes norte e noroeste, o último coincidente com a deriva marítima, o vento de sul também apresenta alguma significância, estando relacionado com situações de precipitação (Figura 13).

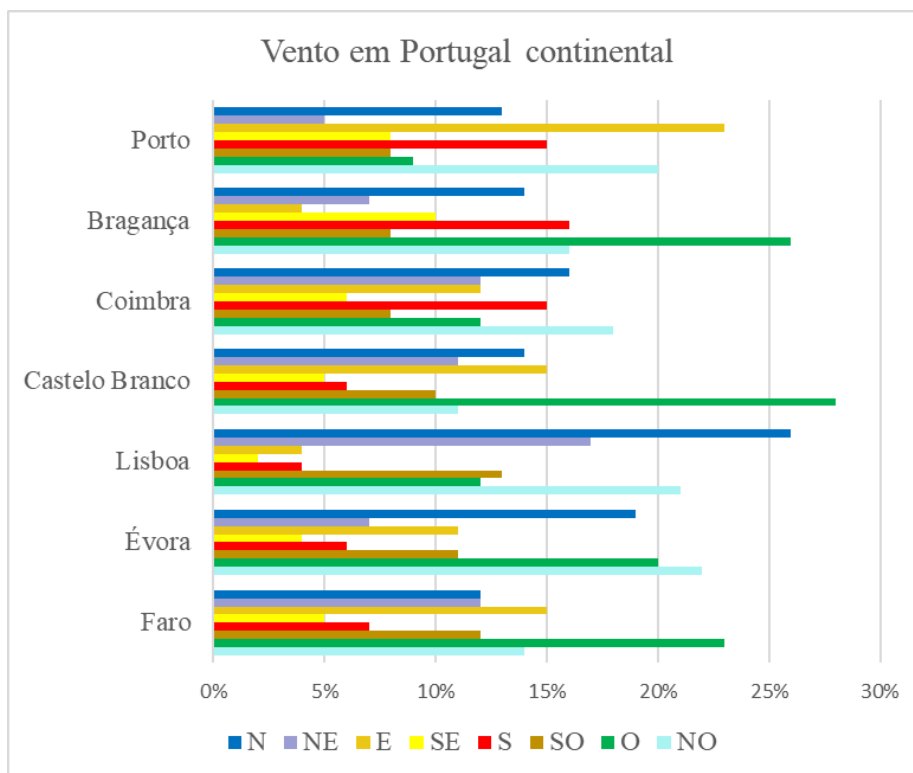


Figura 13 – Regime de ventos em Portugal continental

No interior centro e norte são predominantes os ventos de oeste, nesta longitude não apresentam os mesmos valores de humidade apresentados no litoral, podendo perder humidade com a altitude, quando influenciados por baixas pressões (Millan, M.M. [et al.], 1998), como ar húmido apresenta um gradiente adiabático diferente do ar seco, quando a massa de ar sobe as montanhas perde humidade, logo na vertente oposta desce com um gradiente adiabático maior aumentando a sua temperatura, que corresponde ao efeito *Föhn* (Lourenço, L., 1988).

A cidade de Lisboa apresenta maior evidência da nortada, já as cidades do interior e a cidade de Faro apresentam maior incidência de vento de oeste. Coimbra é a cidade que apresenta uma distribuição mais homogénea da direção do vento pelos octantes, no centro e sul o vento de sueste é o que ocorre em menor percentagem.

Relativamente à velocidade média do vento, as cidades de Coimbra e Bragança apresentam médias mais baixas, sendo em Coimbra a distribuição percentual pelos octantes a mais uniforme, denotando uma incidência de brisas. Tendencialmente, no litoral a velocidade média é mais elevada

nos meses mais frios, já no interior a velocidade média mais elevada ocorre nos meses mais quentes (Figura 14).

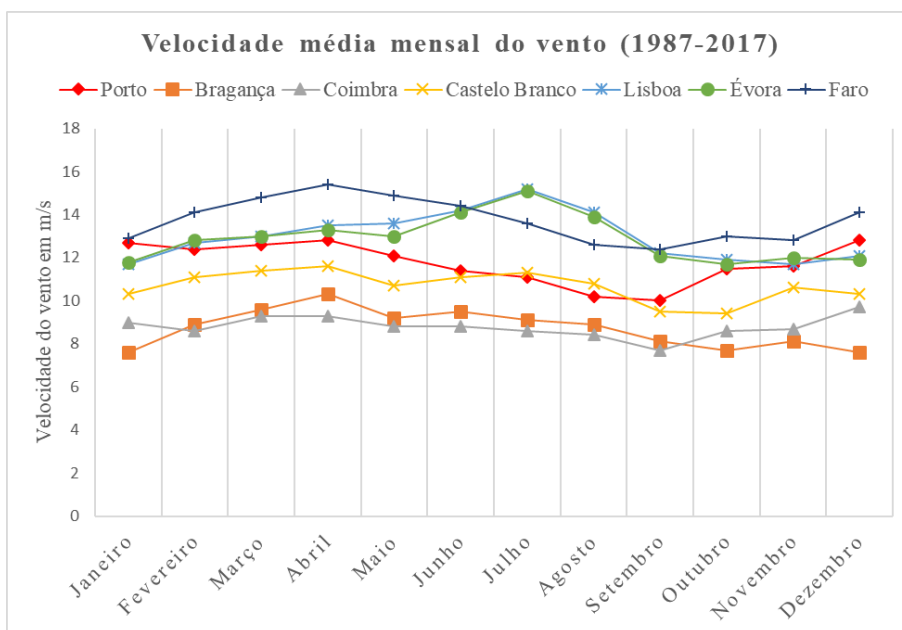


Figura 14 - Velocidade média mensal do vento

6.2. Análise do rumo do vento à mesoescala

O departamento de monitorização dos recursos hídricos da Agência Portuguesa do Ambiente gere uma rede de 790 estações meteorológicas automáticas em Portugal continental, com valores de vento observados a 10 metros. Recorrendo a esta rede de estações, foram analisadas as mais próximas da área de estudo, depois de uma seleção rigorosa dos dados válidos existentes entre o ano de 2004 e 2017 totalizando 96275 horas com vento e sem precipitação segundo os critérios apresentados.

Estações estudadas:

Tabela 1 – Caracterização das estações meteorológicas estudadas

Estação	Bacia hidrográfica	Altitude	Latitude (N)	Longitude (O)
Covide	Rio Gerês	895	41,74	08,17
Ermida	Rio Arado	337	41,69	08,11
Penedo	Rio Cávado	536	41,66	08,16
Salamonde	Rio Cávado	600	41,67	08,09

As estações estudadas localizam-se entre as cotas dos 337 e os 895 metros, como se pode observar na Tabela 1, das quatro estações avaliadas, duas estão na bacia do rio Cávado, uma na bacia do rio Gerês e a outra na bacia do rio Arado. Para facilitar a interpretação os dados foram

transformados os dados de direção do vento, em rumo do vento assim, verificou-se que na bacia maior o vento está alinhado com o vale o que não acontece nas bacias mais pequenas. Também os ventos mais fortes foram observados nas estações da bacia do Cávado e alinhados com o vale, com os ventos vindos de leste a ter maior representação e maiores velocidades com se pode observar no anexo VI. As estações da bacia do Cávado apresentam entre 5 e 6% de valores de velocidade superiores a 6 m/s, em Covide e Ermida a frequência da velocidade do vento superior a 6 m/s representa menos de 1% dos dados observados. Nas bacias do rio Gerês e Arado não há alinhamento do escoamento do fluxo de ar com o vale o que permite concluir que predominam as brisas de vale e de montanha (Figura 15).

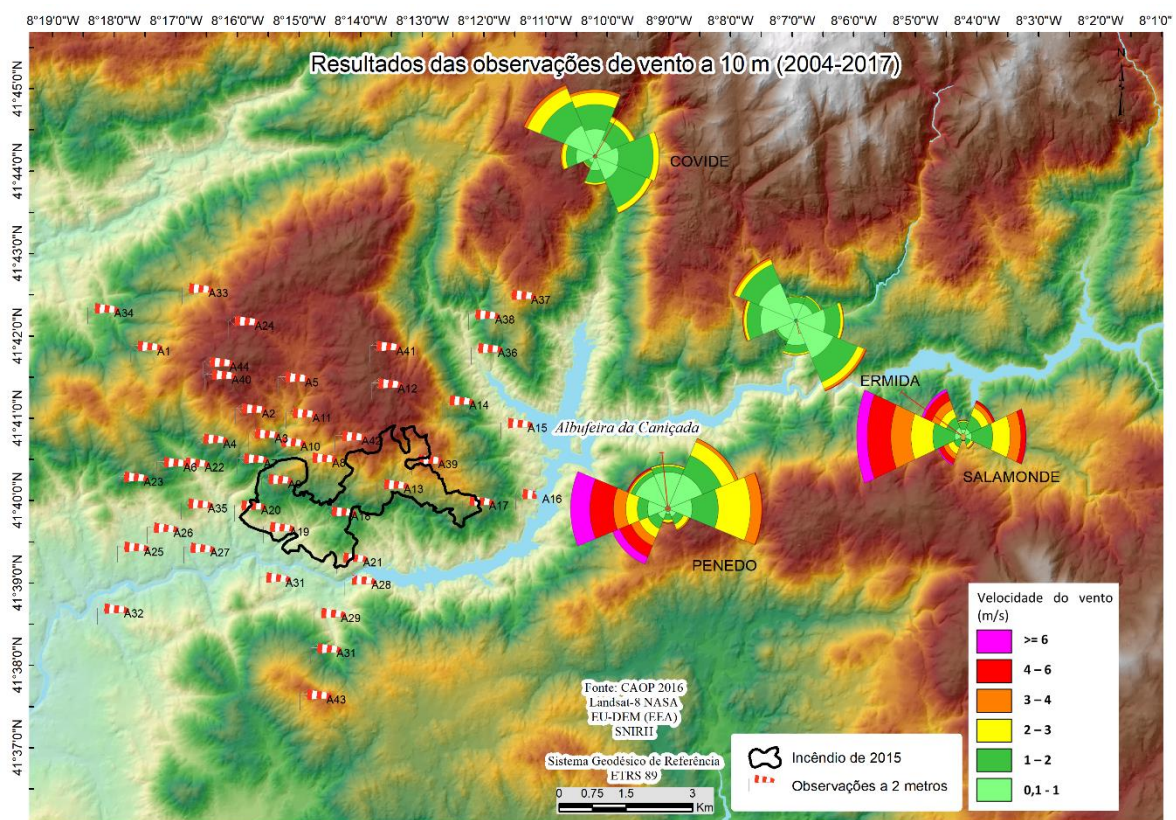


Figura 15 – Resultados a 10 m e pontos de observação a 2m

6.2.1. Análise de dados em ciclos diários de 24 horas

Na análise da distribuição do rumo do vento pelos ciclos diários de 24 horas e correlacionando-o com a situação sinótica do dia, observou-se que os ventos com mais velocidade e com rumo para noroeste acontece com o mesmo regime sinótico que traz vento de leste.

Em Covide, frequência horária referente aos ventos com rumo para este e sudeste, são essencialmente brisas que ocorrem durante a tarde com velocidade média de 1m/s (Figura 16).

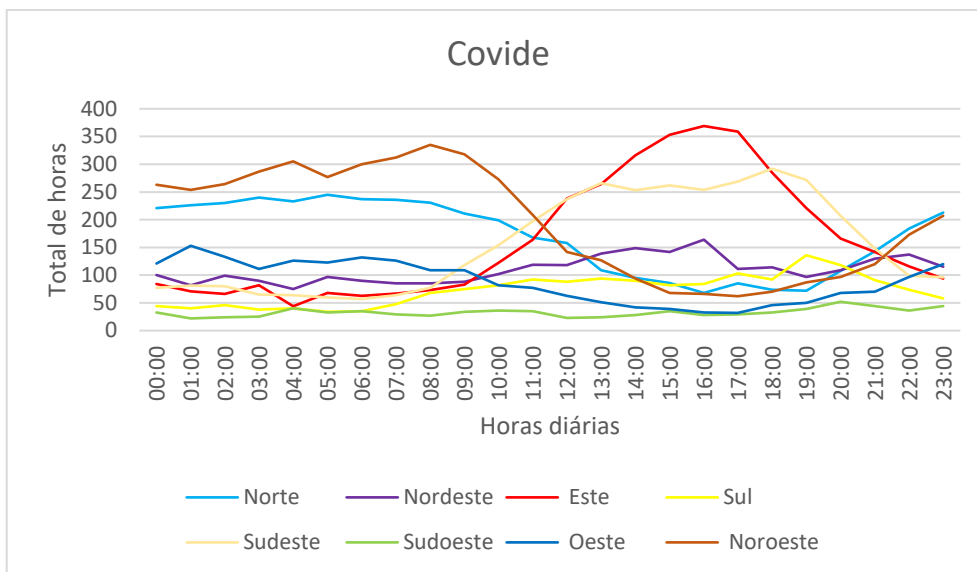


Figura 16 – Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Covide

Na estação da Ermida, os ventos com rumo de sudeste registaram-se com situação sinótica que trazem ventos de norte e noroeste. Todos os outros valores registados são maioritariamente brisas. O vale do rio Arado é bastante encaixado com alinhamento sudeste-nordeste, razão pela qual o vento geral dificilmente se sobrepõe às brisas mesmo a 10 metros do solo (Figura 17).

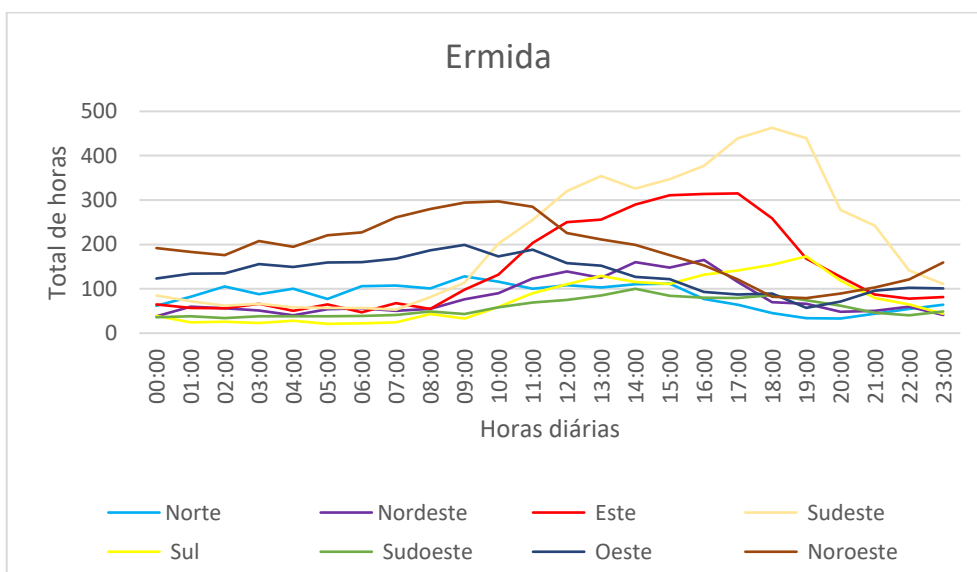


Figura 17 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Ermida

Na estação de Penedo as observações noturnas com rumo para oeste ocorrem com ventos de leste aproveitando o alinhamento do vale que canaliza e aumenta a velocidade do vento, também se registam brisas com menor velocidade com outros regimes sinóticos. Os ventos com rumo para leste são geralmente brisas que registam velocidades elevadas, em muitas situações passam os 4 m/s (Figura 18).

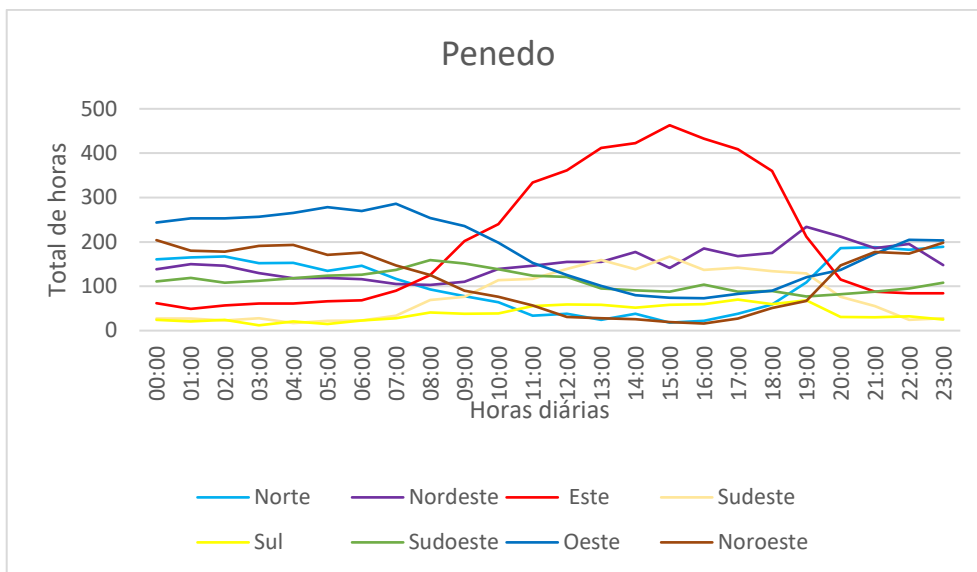


Figura 18 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação do Penedo

A observação registada na estação de Salamonde é muito semelhante à estação do Penedo. Reforçando assim os dados já analisados pois esta estação apresenta o maior número de horas registadas em condições de serem validades para o período temporal em análise (Figura 19).

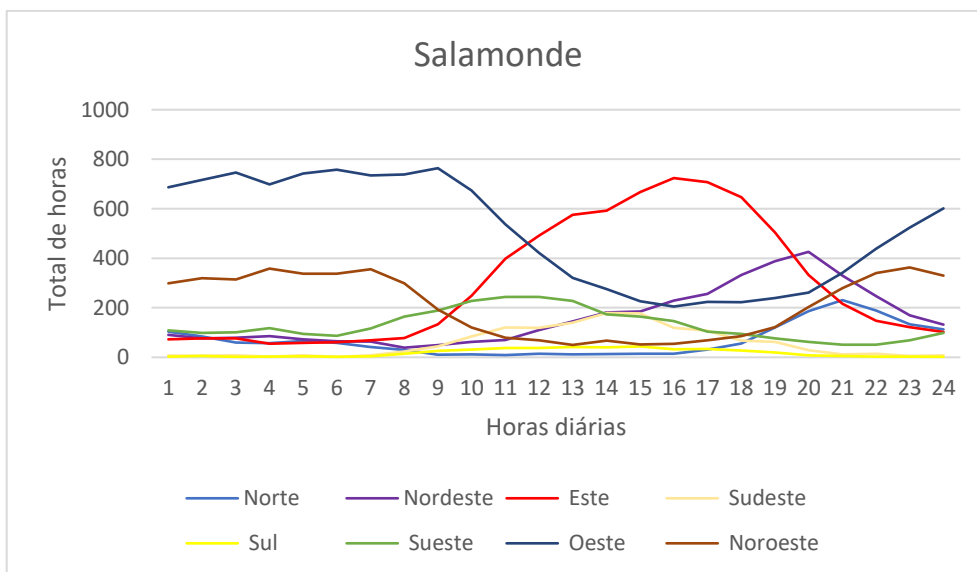


Figura 19 - Distribuição horária do rumo dos ventos na estação de Salamonde

Ao analisar a distribuição das horas com vento, verificou-se que existem mais horas com vento no período entre as 10 e as 20 horas, o que é facilmente explicado pelo aquecimento da superfície terrestre provocado pela irradiação solar. A distribuição destes valores pode ser representada por uma função polinomial de 3º grau que representa 89% dos valores observados (Figura 20).

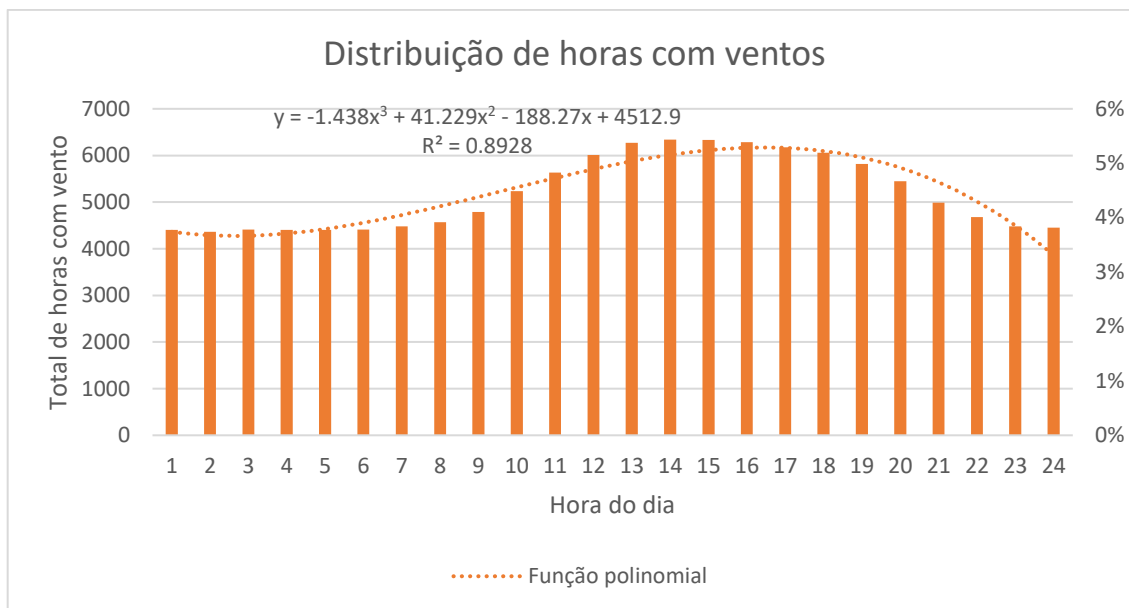


Figura 20 – Distribuição total das horas de vento nas 4 estações analisadas

O mesmo não se pode dizer relativamente à frequência horária da velocidade do vento, em que nos períodos noturnos apresentam velocidades relativamente mais elevadas que nos períodos diurnos. Tendo em consideração que no período noturno existem menos horas com ventos, pode-se concluir que existe menos horas de vento durante a noite e quando há vento, tende a ter maior velocidade do que de dia. Com os dados observados nos gráficos e na figura conclui-se que os ventos mais fortes que chegam à área de estudo são os ventos de leste e que existe a probabilidade que tenham velocidade superior durante a noite (Figura 21).



Figura 21 – Velocidade média de vento em todas as estações analisadas

6.2.2 Frequência da velocidade de vento

Ao analisar a distribuição da frequência das velocidades observadas verificou-se que a velocidade de vento com maior frequência foi de 0,3 m/s com 8039 horas, já a velocidade média do vento observada foi 1,6 m/s e registaram-se como velocidade máxima e mínima, 0,1 m/s e 15,6 m/s respetivamente (Figura 22).

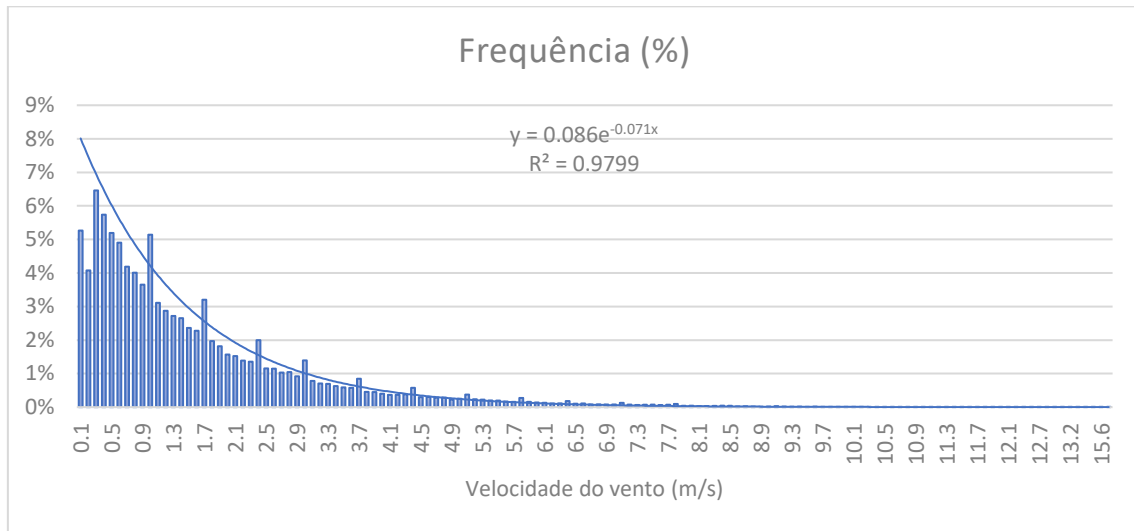


Figura 22 - Distribuição da velocidade do vento

A representação gráfica destes valores é dada pela equação exponencial negativa que explica 98% dos valores observados:

$$y = 0,086e^{-0,071x}$$

Observações da velocidade média horária do vento realizadas a oeste de Portugal continental no ano de 1997 em períodos diários contínuos, sem que fossem retirados os dados de vento em dias de precipitação, apresentaram uma distribuição logarítmica normal (Castro, R.M. [et al.], 2007), distribuição aproximada à da expressão mais usada para obter a densidade de probabilidade de Weibull (Weibull, W., 1951), que é a mais utilizada para a análise de vento como potencial energético. Para obter a probabilidade de distribuição da velocidade do vento é usada a expressão matemática:

$$f(\bar{u}) = \frac{k}{c} \left(\frac{\bar{u}}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left[\left(\frac{\bar{u}}{c}\right)^k\right]\right\}$$

Em que, \bar{u} é a velocidade média do vento, c é o parâmetro de escala com a velocidade média do vento em m/s e o k é o parâmetro da forma da dimensão que está relacionado diretamente com o desvio padrão.

Esta comparação reflete o domínio dos ventos gerais em zonas em que o relevo é menos ravinoso, apresentando velocidades médias e modas mais elevadas relativamente às zonas de vale mais encaixado em que, os ventos gerais só apresentam uma influência muito significativa quando a sua orientação permite o escoamento através do vale, ou seja, normalmente há um alinhamento entre a orientação do vale e o rumo do vento. Contudo, haverá diferenças se os dados representarem todos os valores anuais e não apenas os dados sem precipitação. Neste estudo apenas interessam os dados sem precipitação.

6.3. Análise de vento à microescala

Na análise de campo foram realizadas observações em quarenta e três pontos, nas cumeadas, a meia encosta e nos fundos de vale com recurso a duas estações meteorológicas, uma fixa, colocada no ponto mais elevado (ponto 44), utilizada como referência e outra móvel para recolher os dados de cada ponto (Figura 23).



Figura 23 - Equipamentos de medição de dados meteorológicos

As análises de vento no contexto dos incêndios florestais deve ser realizada à altura do meio da chama (Rothermel, R.C., 1983), como é difícil prever esse valor antes do incêndio ocorrer, os modelos preditivos atuais definiram-no como sendo de 1,5 a 2 m acima do solo (Fernandes, P. [et al.], 2002), neste estudo estabeleceu-se os 2 metros acima do solo. Em cada ponto foram avaliados os seguintes parâmetros:

- i. Velocidade e rumo do vento a 2 metros;
- ii. A cota a que se encontra cada ponto;
- iii. O aclave da encosta, dado pela exposição mais 180°;
- iv. Rumo do azimute do vale no sentido ascendente.

Os dados observados foram tratados para explicar o comportamento do movimento das massas de ar na área de estudo com o regime de vento sinótico com que ocorre a maioria dos incêndios na área de estudo e aqueles que tiveram maior dimensão, assim foram feitas duas leituras, com vento de norte e vento de leste.

Para o tratamento dos dados de vento observados foi avaliada a colinearidade vetorial do rumo de vento observado nos quarenta e quatro pontos, recorrendo ao método expedito usando a função cosseno para avaliar o ângulo entre os vetores. Assim, foi avaliada a colinearidade do rumo do vento observado com o vento geral, com a orientação do vale (azimute) observada no terreno e com o aclave da encosta dado pela exposição do ponto (°) +180 graus, pois o vetor que define a exposição tem orientação ao sentido ascendente da encosta e no presente estudo importa analisar a orientação ascendente da encosta e do vale como se exemplifica na Figura 24. Como já foi referido, o efeito do relevo aproxima a chama do combustível fazendo com que o fogo suba a encosta. Nesta análise, foi apenas considerado o rumo do vento, não foi encontrada base de prova científica para a área de estudo que permitisse dimensionar as variáveis para o cálculo do vetor resultante.

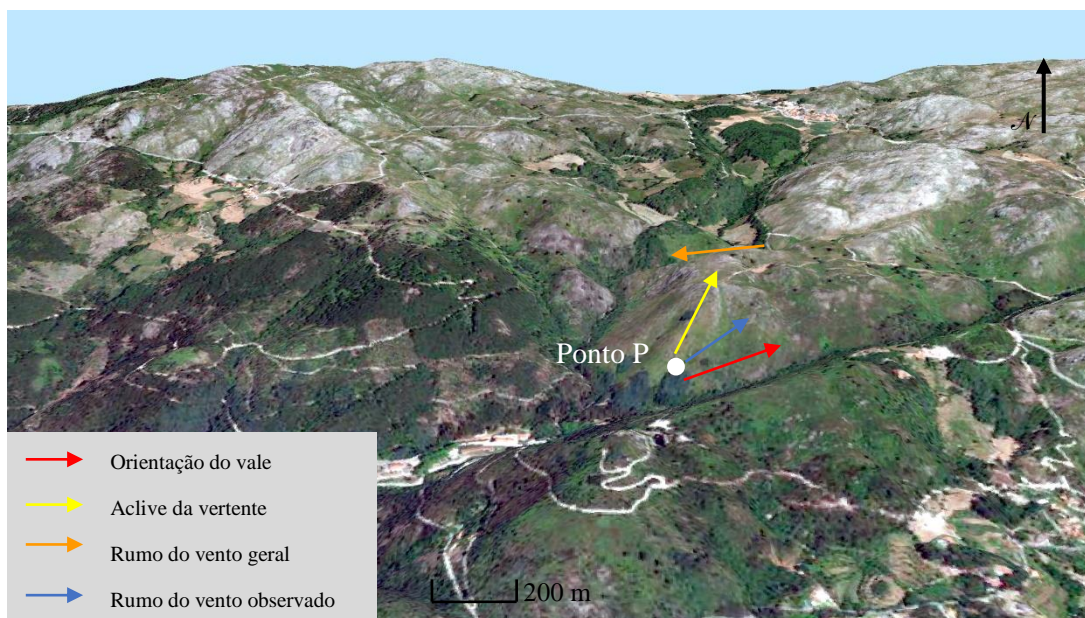






Figura 24 - Exemplo de avaliação de dados de campo

O uso do método expedito através da função cosseno foi considerado o mais adequado para fazer a análise, como se pode observar na Tabela 2 a função cosseno permite verificar se os vetores apresentam algum alinhamento ou então, aproximam-se da perpendicularidade.

Tabela 2 - Tabela de cossenos

Cos de 0 e 360	1		
Cos 90	0		Rumo do vento observado
Cos 180	-1		Rumo do vetor em análise
Cos 270	0		

Trazendo os vetores para a referência, foram medidos os ângulos formados entre o vetor do vento observado e os restantes vetores (Figura 25).

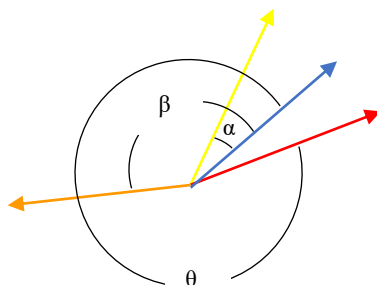


Figura 25 – Exemplo da análise do ângulo entre o vetor do vento observado e os restantes vetores

Como foi referido, o valor da função cosseno varia entre -1 e 1, valores próximos de 1, significa que os vetores se aproximam da colinearidade com o mesmo sentido, valores próximos de -1 os vetores aproximam-se da colinearidade com sentidos opostos, valores próximos de 0, os vetores não são colineares, aproximam-se da perpendicularidade (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores da função cosseno definidos para avaliar o alinhamento dos vetores

$0.7 < \cos \alpha < -0.7$	Existe alinhamento entre o vetor do vento observado e a vertente. Cos > 0.7, influência das brisas, cos < - 0.7, influência das brisas.
$0.7 < \cos \beta < -0.7$	Existe alinhamento entre o vento observado e o vento geral.
$0.7 < \cos \theta < -0.7$	Existe alinhamento entre o vento observado e o vale, influência da orografia no escoamento.
$0.7 > \cos \alpha, \beta$ ou $\theta > -0.7$	Não existe alinhamento entre vetores.

6.4. Interpretação dos dados observados à microescala

As observações de vento foram realizadas entre 29 de janeiro e 20 de fevereiro. A 29 de janeiro foram realizadas as observações com vento de leste. A análise do vento de norte foi realizada a 20 de fevereiro. Os levantamentos foram realizados de oeste para este na margem direita do Cávado e de este para oeste na margem esquerda favorecendo a eficiência logística, pois foram realizados em caminhos de montanha com recurso a um veículo todo-o-terreno havendo a necessidade de percorrer aproximadamente 600 km para realizar todas as avaliações.

Após a realização do processo de análise apresentado no anexo V, foi estudado o comportamento do vento das observações realizadas nos quarenta e quatro pontos. Na

Tabela 4 estão representadas as observações com os respetivos alinhamentos. O vento de leste é o mais influenciado pelas dinâmicas locais, apenas dez observações estão alinhadas com o vento geral e seis observações não apresentam qualquer alinhamento. Nas observações com vento de norte, 18 observações estavam alinhadas com o vento geral e em 25 observações as brisas sobrepuuseram-se ao vento geral, o que denota menos influência da orografia comparado com o vento de leste. As observações apresentam resultados significativos de alinhamento com o vale nas duas situações sinóticas, nas observações com vento de leste é a que apresenta menor alinhamento com o vento geral, portanto, apresentando maior influência orográfica com a sobreposição das brisas aos ventos gerais ou alteração no escoamento promovida pela orografia.

Tabela 4 - Análise de dados de campo

Alinhamento	Vento de leste	Vento de norte
Exposição	11	7
Vale	17	18
Vento geral	10	18
Sem alinhamento	6	1

6.5. Modelação do vento

Após a realização dos levantamentos de campo, foram realizadas várias operações de análise espacial com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o objetivo era verificar se alguma forma de modelação do vento à superfície coincidia com as análises efetuadas. Foram realizadas várias operações de geoestatística com modelos de krigagem. Mesmo introduzindo um modelo digital de terreno com resolução espacial de 25 metros os resultados obtidos só expressavam valores aproximados às observações realizadas nas cumeadas.

Após a análise de vários modelos em SIG, foi utilizado o *software* WindNinja (Forthofer, J. [et al.], 2009). Para fazer correr o modelo foram introduzidos os dados da estação fixa colocada no ponto quarenta e quatro. A modelação com recurso ao WindNinja apresentou resultados muito aproximados aos observados, contudo, no interior de vales mais fechados e em algumas vertentes o modelo apresentou resultados diferentes dos observados, ou seja, em situações onde o relevo apresenta maior influência e onde as brisas se sobrepõem aos ventos gerais o *software* não conseguiu modelar corretamente. Este *software* tem a vantagem de possibilitar a introdução de valores observados em várias estações possibilitando maior rigor na modelação.

Na Figura 26 estão representadas as observações realizadas no dia 20 de fevereiro com o vento de norte e a modelação em WindNinja, nas observações verificou-se que o rumo do vento nas cumeadas estava alinhado com o vento geral como seria expectável. No interior dos vales mais fechados tendencialmente alinhava-se com a vertente, quando o vale era mais aberto o processo de escoamento fazia com que o movimento do ar se fizesse alinhado com o vale. Foi realizada uma análise do perfil alinhado com o rumo do vento geral a passar na ribeira da Abadia e pelo limite oeste do incêndio de 2015 (o que se aproximou mais do vale), definido pela linha vermelha na Figura 26 e representado na Figura 27. A influência da orografia reflete-se nas diferenças de velocidade, nas cumeadas o vento apresentava maior velocidade e no vale da ribeira da Abadia reduzia de velocidade, a meia encosta o rumo do vento observado apresenta uma rotação de 22° para leste relativamente à referência.

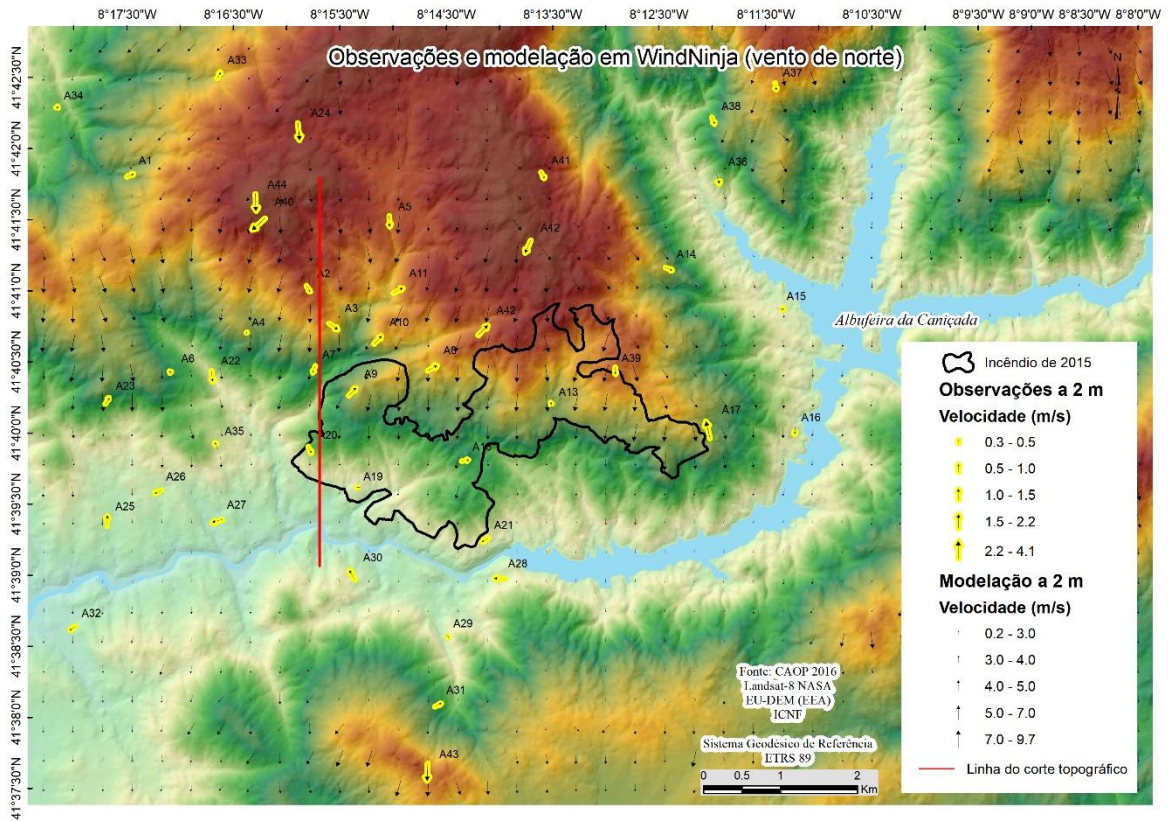


Figura 26 – Observações e modelação de vento com o software WindNinja e resultados das observações a 2

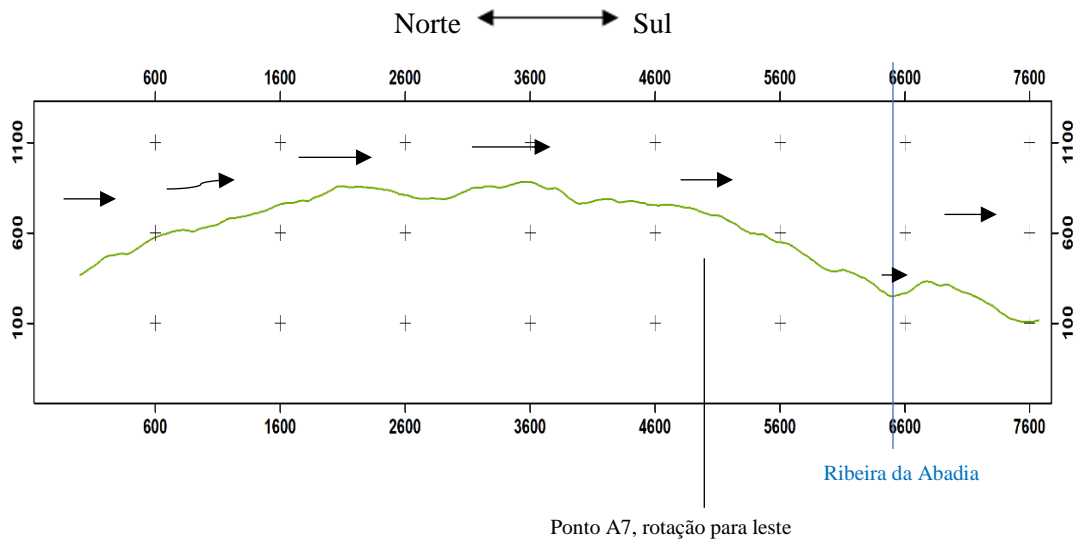


Figura 27 - Interpretação do comportamento do vento de norte no perfil assinalado a vermelho no mapa

Para estudar as observações com vento de leste dos dias 29 de janeiro, que no ponto de referência se fazia sentir com rumo de 255° foi também traçado um perfil junto ao limite do incêndio de 2015 para avaliar o comportamento do vento em função da orografia (Figura 28). Além da já esperada redução da velocidade no interior do vale, observou-se que na zona da ribeira da Abadia o

vento se fazia sentir no sentido inverso ao vento geral (33°) com velocidade superior a 2 m/s, praticamente a mesma que se fazia sentir no ponto 44.

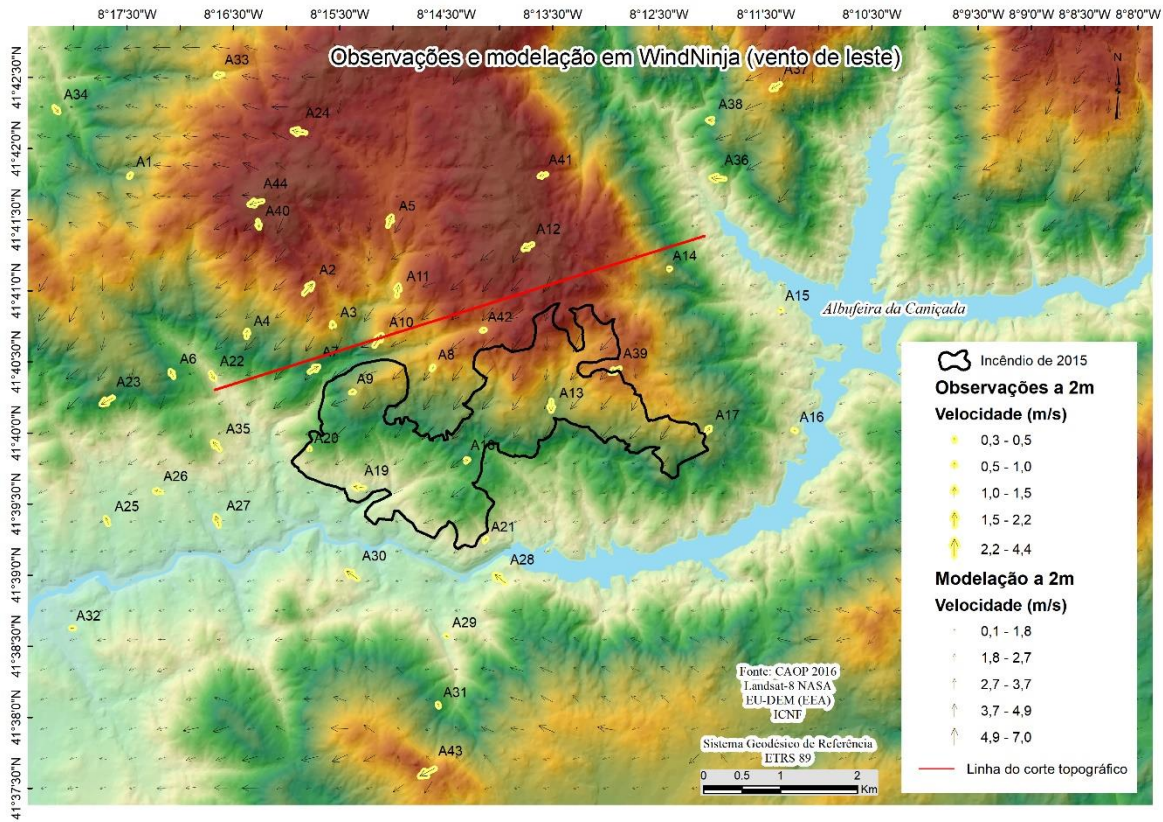


Figura 28 - Resultados da modelação de vento com o software WindNinja e resultados das observações a 2m

Como se pode observar na Figura 29, o vento apresenta uma zona de recirculação, pois a 2m apresenta uma direção contrária ao vento geral influenciada pelo declive da encosta que promove a separação do escoamento (Viegas, D.X. [et al.], 2011). O declive acentuado a barlavento da

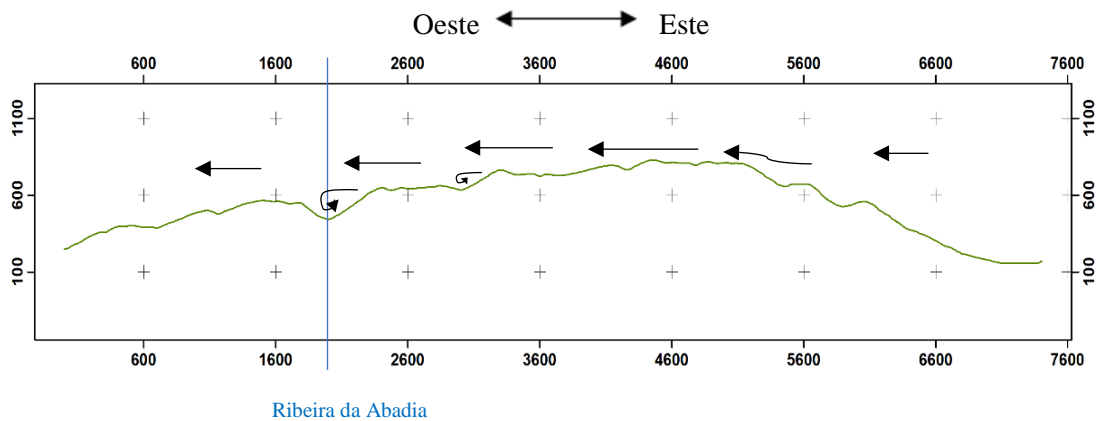


Figura 29 - Interpretação do perfil assinalado a vermelho no mapa

montanha reflete-se como barreira ao escoamento limiar do movimento do ar para o qual também concorrem a vegetação e a rugosidade da superfície.

Depois desta análise de campo e modelação do vento na área de estudo pode-se concluir que a orografia incrementa diferentes dinâmicas de escoamento em função do regime de vento sinótico. No ponto A10 que se encontra numa elevação entre dois vales, o rumo e velocidade de vento observado nas duas observações foi semelhante, com variação da velocidade proporcional à velocidade observada no ponto A44 (referência). O vento de leste apresenta duas situações de recirculação concretamente, na zona da ribeira da Abadia, é neste local onde existe maior gradiente de declive. De referir que nos dois regimes sinóticos, o ponto A10 apresentou o mesmo módulo de vento com velocidades equivalentes às observadas nas cumeadas.

Em nenhuma das situações analisadas no vale da ribeira da Abadia, o movimento do ar atmosférico à superfície favorecia a propagação vinda de leste o que explica a razão pela qual nenhum dos incêndios cruzou a ribeira da Abadia. Na generalidade, os grandes incêndios verificaram-se com vento sinótico de leste, além da influência verificada do relevo, acresce a influência gerada pelo próprio fogo que vem de leste e que têm uma intensidade disforme devido à distribuição e disponibilidade de combustível e outras variáveis como o ciclo diário (Strojnik, M. [et al.], 2015).

As observações com vento de leste apresentaram uma humidade relativa média 10% abaixo das observações com vento de norte. Este facto favorece a redução da humidade dos combustíveis, principalmente os finos mortos com períodos mais curtos para entrarem em equilíbrio com a humidade do ar. O facto de as avaliações decorrerem em período de inverno não diminuem a sua significância, pois, também ocorreram grandes incêndios fora das estações mais quentes, também estes com vento de leste, como o incêndio de 14 de fevereiro de 2005 em que arderam 95 ha e ocorreu após a onda de frio registada na estação de Braga entre os dias 3 e 10 de fevereiro (IPMA, 2005). Existe uma consideração importante, o ar mais frio satura com menos quantidade de água, ou seja, a quantidade de água por m^3 de ar é superior numa massa de ar mais quente do que no mesmo volume de ar frio, com a mesma humidade relativa. Isto deve-se à razão de mistura variar com a temperatura, isto tem influência direta na humidade dos combustíveis e do solo, razão explicativa da ocorrência de grandes incêndios com temperaturas negativas em várias regiões do planeta (Bartsch, A. [et al.], 2009), na Figura 30 pode-se observar um incêndio ocorrido na Ásia, com latitude de 7 graus a norte da área de estudo com temperaturas abaixo de 0° Celsius.

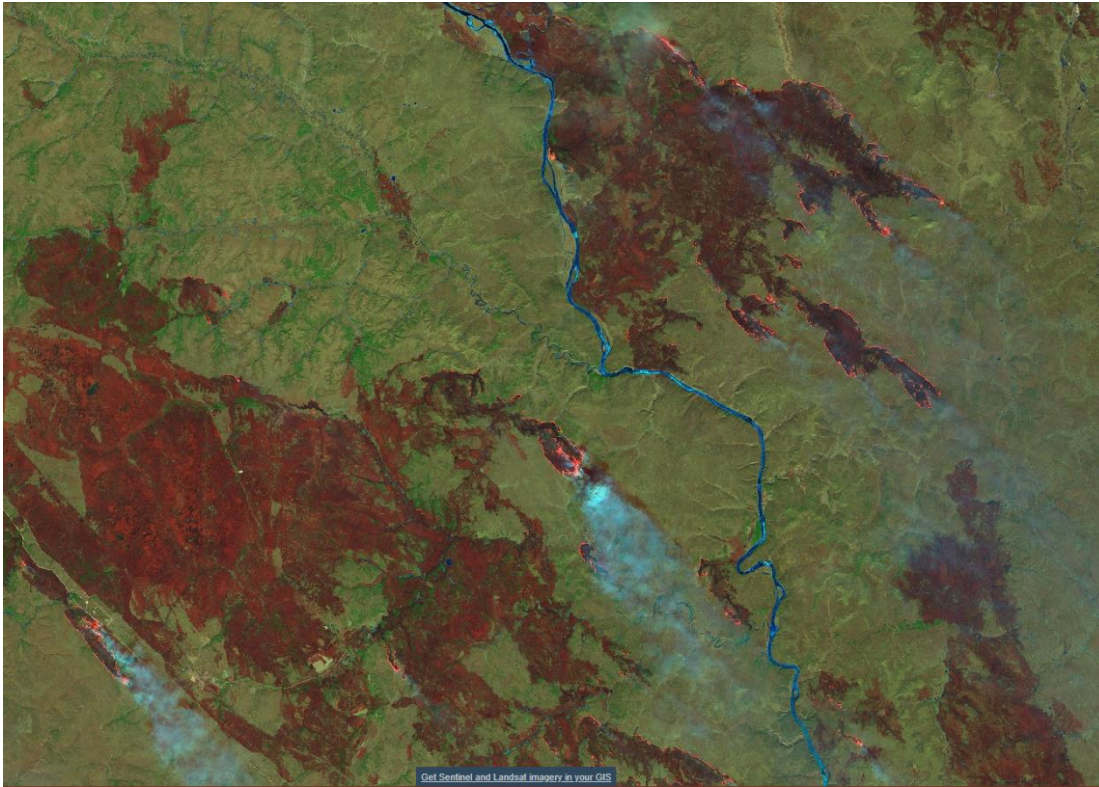


Figura 30 - Incêndio em Amur (Rússia) - 04/04/2018 Sentinel 2

Capítulo IV

7. Incêndio de Valdosende - 7 de agosto de 2015

Para estudo de caso selecionou-se o maior incêndio registado na área e com localização do maior número de meios. O incêndio teve início no dia 7 de agosto de 2015 pelas 11h33 horas, foi dominado no dia 9 às 09h40 e terminou no dia 12 às 01h30. Foi detetado pelo posto de vigia e de causa ou origem desconhecida. A área ardida foram 658 hectares, 200 de povoamento florestal e 458 de mato (DGAPPF, 2015). Na impossibilidade de obtenção da fita do tempo perante a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), solicitada ao Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS) de Braga a 21 de março, da qual se obteve a resposta de que o pedido estaria em análise a 23 de maio e assim se manteve até à conclusão do trabalho. Perante esta inviabilidade, os dados necessários para o estudo foram obtidos através de entrevistas realizadas a dez operacionais que estiveram no combate e a seis habitantes das aldeias onde o fogo chegou. A partir das 14 horas do dia 8 presenciei o desenvolvimento do incêndio.

7.1. Incêndios florestais

Para uma melhor interpretação da descrição esquemática do desenvolvimento do incêndio, é apresentada uma breve resenha que caracteriza o desenvolvimento dos incêndios em espaço rural ou florestal doutrinariamente estabelecida e utilizada pelas estruturas de combate em Portugal (Figura 31).



Figura 31 - Configuração do desenvolvimento do incêndio florestal (de Castro, C.F. [et al.], 2003)

A atividade operacional de supressão é alicerçada em fundamentos técnicos onde se interpretam elementos do piro-ambiente, designadamente, a relação entre o combustível, as condições meteorológicas e a topografia (Moreira, F. [et al.], 2010), a interpretação da propagação do incêndio é fundamentada pelo deslocamento da frente de fogo, combustível consumido e calor produzido que Byram, G.M. (1959) definiu como intensidade do fogo, que é expressada pela energia libertada em Kw/m de frente de fogo. A severidade de fogo é avaliada depois da passagem do fogo, traduzida pelo impacto no solo e coberto vegetal depois da passagem do fogo (Keeley, J.E., 2009). Contudo, Oconnell, A.M. and McCaw, W.L. (1997) refere que existe uma correlação estatística entre a severidade e a intensidade. Na avaliação da severidade Botella-Martínez, M. and Fernández-Manso, A. (2017) apresentam o método de análise supervisionada avaliando o estado vegetativo das plantas, antes e após a passagem do fogo, a base para os resultados obtidos é o reflexo da clorofila no espectro das bandas selecionadas para a análise, que na prática significará a quantidade de copas das árvores que foram dessecadas pela passagem do fogo. Para Keeley, J.E. (2009), segundo o mesmo autor, a severidade ultrapassa a avaliação da impacto da passagem do fogo, deve incluir a regeneração e recuperação dos ecossistemas e a sua capacidade de resiliência.

7.2. Histórico de incêndios na área

A área geográfica onde ocorreu o incêndio tem sido percorrida por grandes incêndios florestais nos últimos anos, desde 2001 ocorreram quatro incêndios com mais de 100 ha e mais quatro com mais de 30 ha (Tabela 5), três dos incêndios ocorreram fora da estação quente e os restantes ocorreram em agosto e setembro (ICNF, 2018).

Tabela 5 – Áreas ardidadas, 2001 - 2017

Data	Área
2001-09-04	80
2005-02-14	95,28
2007-09-07	222,21
2009-02-25	55
2009-03-25	36,5
2015-08-07	658
2002-08-31	256
2002-08-31	135

7.3. Topografia, meteorologia e combustível

Nas fases de desenvolvimento dos incêndios florestais, a meteorologia, a topografia e o combustível são os fatores que condicionam o seu desenvolvimento, existe um quarto elemento menos abordado pelo conhecimento tradicional que não é menos importante, o tempo (Viegas, D.X. [et al.], 2011). Contudo, este elemento entende-se intrínseco ao desenvolvimento do incêndio, este estudo de caso, seguiu a cronologia temporal do desenvolvimento do incêndio.

7.4. A topografia

Como já foi referido, a área de estudo é bastante declivosa e a área do incêndio de 2015 mantém o mesmo alinhamento (Figura 32), 71% da área consumida pelo incêndio apresenta declives superiores a 30%, as linhas de água dispõem-se na paisagem com alinhamento entre os octantes sudeste e sudoeste. Esta orientação representa aproximadamente 75% das exposições das vertentes percorridas pelo incêndio (Figura 33). A orientação das exposições e o declive são dois dos três elementos identificados por Campbell, D. (2005) como elementares no estudo do comportamento do fogo, quando se propaga subindo a encosta em vertentes voltadas a sul, diz-se que está alinhado 2/3. Diz-se que o fogo está completamente alinhado quando sobe uma vertente voltada a sul com o vento a favor, esta teoria será novamente abordada no decorrer do trabalho.

Declives da área do incêndio de 2015 (%)

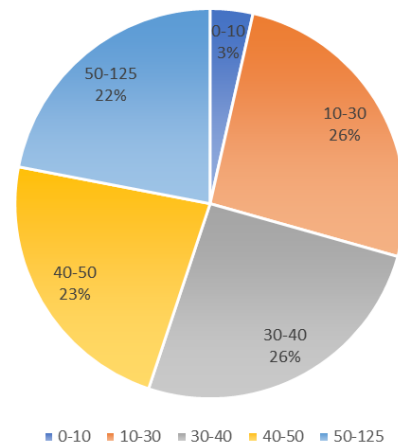


Figura 32 – Declives da área do incêndio

Exposições da área do incêndio de 2015

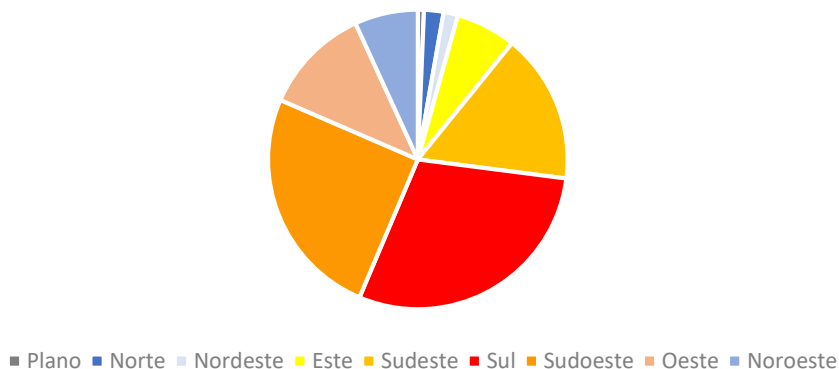


Figura 33 – Exposições da área do incêndio

7.5. As condições meteorológicas

A previsão meteorológica para o dia 7 de agosto de 2015 publicada no próprio dia às 16h39 pelo IPMA, apresentava céu pouco nublado com vento fraco a moderado 20 a 35 km/h de noroeste com rajadas de 35 km/h. A carta sinótica apresentada no anexo I apresentava às 12h00 um centro de altas pressões a noroeste da Península Ibérica e um centro de baixas pressões no norte de África, este regime sinótico fazia com que o vento de leste chegasse ao litoral norte como podemos observar ao centro da Figura 34 que apresenta a imagem de satélite do incêndio no dia 8 de agosto, como já foi referido esta situação é conhecida como condição associada à formação de grandes incêndios florestais (Lourenço, L., 1988).

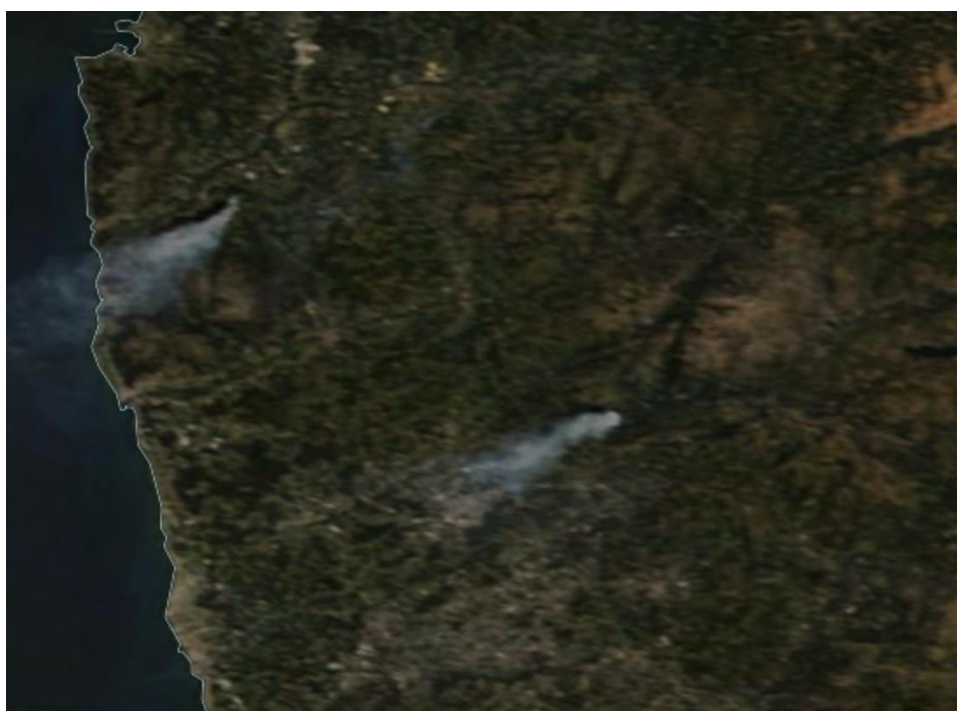


Figura 34 - Imagem do incêndio no dia 8 de agosto (Modis)

A temperatura do ar no dia 7 de agosto seria de 32 graus Celsius, dados obtidos através do modelo *Global Forecast System* (GFS) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). As estações meteorológicas da rede SNIRH que apresentam registos dos dias do incêndio foram as de Salamonde, Ermida e Covide. A estação de Salamonde (Figura 35), por estar em espaço mais aberto sofre menos influência da orografia e apresenta os valores mais enquadrados com o que foi reportado pelos operacionais relativamente ao desenvolvimento do incêndio.

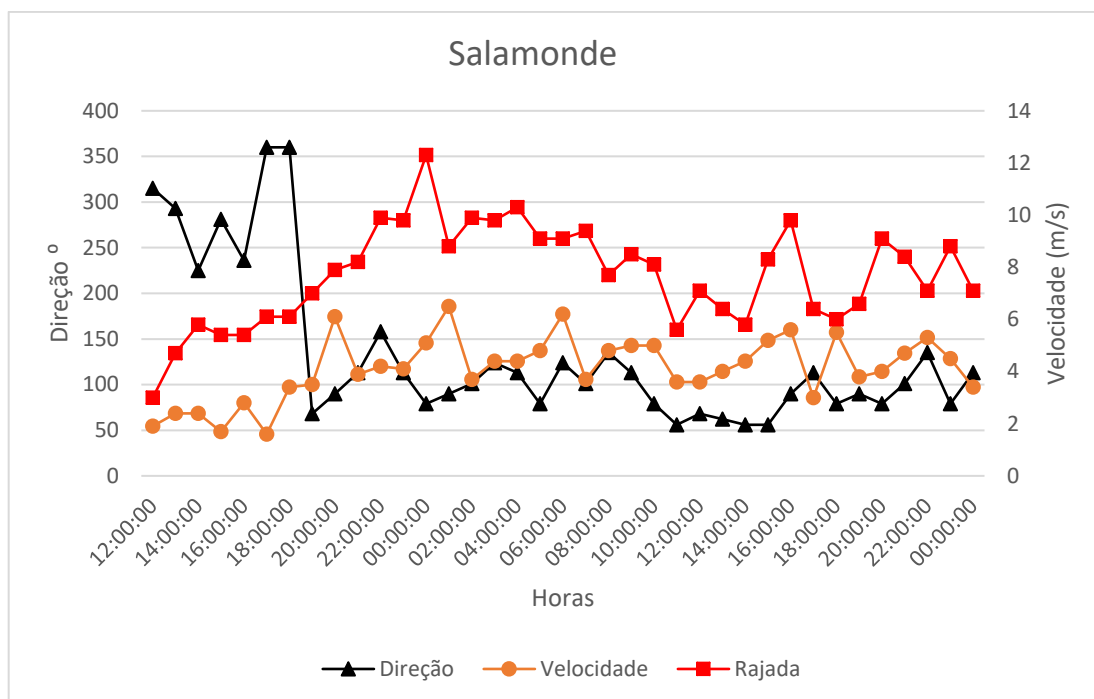


Figura 35 - Rumo e velocidade do vento (Salamonde)

As condições meteorológicas, nomeadamente o vento, quando o índice de secura dos combustíveis é reduzido e a humidade relativa é baixa favorecem o desenvolvimento dos incêndios sem que sejam necessárias temperaturas elevadas, como ocorre noutras longitudes do planeta onde a temperatura média é de 0,4 °C (Schweitzer, C. and Priess, J.A., 2010), com as alterações climáticas que favorecem o aparecimento de climas mais áridos, o índice de seca, a velocidade do vento e a humidade relativa identificam-se como elementos basilares das condições meteorológicas nos incêndios em espaço rural ou florestal. A velocidade do vento é identificada como um dos três elementos que Campbell, D. (2005) enumera como determinantes na propagação do fogo assim, o seu alinhamento expressa-se numa escala de três como os exemplos apresentado na Tabela 6.

- 0/3 - Incêndio completamente desalinhado
- 3/3 - Incêndio completamente alinhado

Tabela 6 Análise Campbell Prediction System (CPS)

THE CAMPBELL PREDICTION SYSTEM			
Alinhamento			
	3/3	2/3	1/3
Declive	✓	✓	✓
Exposições a sul	✓	✓	×
Vento a favor da propagação	✓	×	×

7.6. O combustível

Os combustíveis florestais, quantidade de estrato vegetal disponível para arder, podem ser designados por combustíveis aéreos, combustíveis de superfície e combustíveis de solo (Pyne, S.J., 1984). O tipo de combustível, a quantidade por unidade de área medida em ton.ha^{-1} (peso seco) e a forma como se distribui pela paisagem influenciam na propagação do incêndio. O estado vegetativo dos combustíveis pode ser vivo ou morto que é influenciado pelo índice de seca PDSI (Palmer, W.C., 1965), este índice qualifica a seca meteorologia que diretamente interfere com o estado vegetativo das plantas, a nível do comportamento do fogo traduz-se em menos humidade no solo, com reflexo nas plantas, nomeadamente no sub-bosque (Lourenço, L., 1988). No final de julho de 2015, todo o território de Portugal continental estava em situação de seca e a região do noroeste apresentava níveis de seca fraca (IPMA, 2015).

Dimensão dos combustíveis mortos e humidade de equilíbrio (Tabela 7):

Humidade de equilíbrio ou tempo de retardação, é o tempo necessário para que a humidade do combustível morto entre em equilíbrio com a humidade do ambiente, quando deixa de haver trocas atinge-se a humidade de equilíbrio (Pyne, S.J., 1984).

O tempo necessário para atingir este equilíbrio depende do diâmetro do combustível:

Tabela 7 - Tipos de combustível

Diâmetro do combustível	Tempo de equilíbrio/retardação
< 6mm	1 - Hora
6-25mm	10 - Hora
25-75mm	100 - Hora
>75mm	1000 - Hora

O processo é dinâmico e dependente da humidade relativa do ar. O ciclo de variação diária da humidade relativa do ar apresenta normalmente um aumento no período noturno apresentando uma relação importante na disponibilidade dos combustíveis de 1 hora e de 10 horas, quando não existe recuperação noturna como se verificou na noite do dia 7 para o dia 8 de agosto de 2015 que a humidade relativa do ar esteve sempre abaixo dos 50% e durante o dia com valores de 30%, os combustíveis de 1 hora permanecem praticamente com a mesma disponibilidade, não existindo variações significativas, o mesmo acontece com os combustíveis de 10 horas.

7.7. Desenvolvimento do incêndio

Para estudar o desenvolvimento do incêndio de 2015, a análise foi dividida em quatro fases. Como foi referido, este incêndio foi o que registou o maior número de meios envolvidos no combate (Tabela 8).

Tabela 8 - Quadro de meios

Tabela de meios envolvidos nas operações de combate e vigilância				
Operacionais	Meios de combate e apoio	Meios aéreos		
462	157	Helicópteros	Ligeiros	2
			Pesados	1
		Aviões		4

Fase I

O incêndio teve origem em Vilar a Monte na freguesia de Valdosende, numa zona de vale junto a uma represa de água, a poucas centenas de metros do edificado existente nesse lugar. Após o alerta, o CDOS mobilizou dois helicópteros de Ataque Inicial (ATI), duas equipas terrestres dos Bombeiros de Terras de Bouro e uma equipa terrestre de Amares. Após o desembarque, as equipas helitransportadas com o apoio dos helicópteros dominaram o incêndio, voltaram a embarcar e abandonaram o local sem que as equipas terrestres estivessem posicionadas. A ausência de fumo dificultou a orientação das equipas terrestres para chegar ao local do incêndio e efetuar a consolidação da extinção e rescaldo, apercebendo-se à posteriori através de uma reativação de elevada intensidade. A falta de posicionamento dos meios terrestres permitiram que o incêndio progredisse pelo vale para norte em direção à cumeada (marco geodésico do Formigueiro), chegando ao caminho florestal de Alicreimes para o São Bento da Porta Aberta por volta das 15h00, os meios posicionaram-se nesse caminho e evitaram que a frente do incêndio passasse o caminho. Nesta fase houve a perceção dos operacionais que estariam perante um Grande Incêndio Florestal (GIF), a dificuldade de posicionamento era evidente devido ao declive orográfico e à intensidade do incêndio que apresentava um comportamento orográfico no interior do vale e dominado pelo vento nas linhas de fecho. A meio da tarde do dia 7, estima-se que o incêndio tivesse 91 ha, já estariam mobilizados meios de reforço de fora do distrito de Braga, estariam empenhados mais de cem operacionais, dezenas de meios de combate terrestre e meios aéreos que suspenderam a intervenção com o cair da noite (Figura 36).

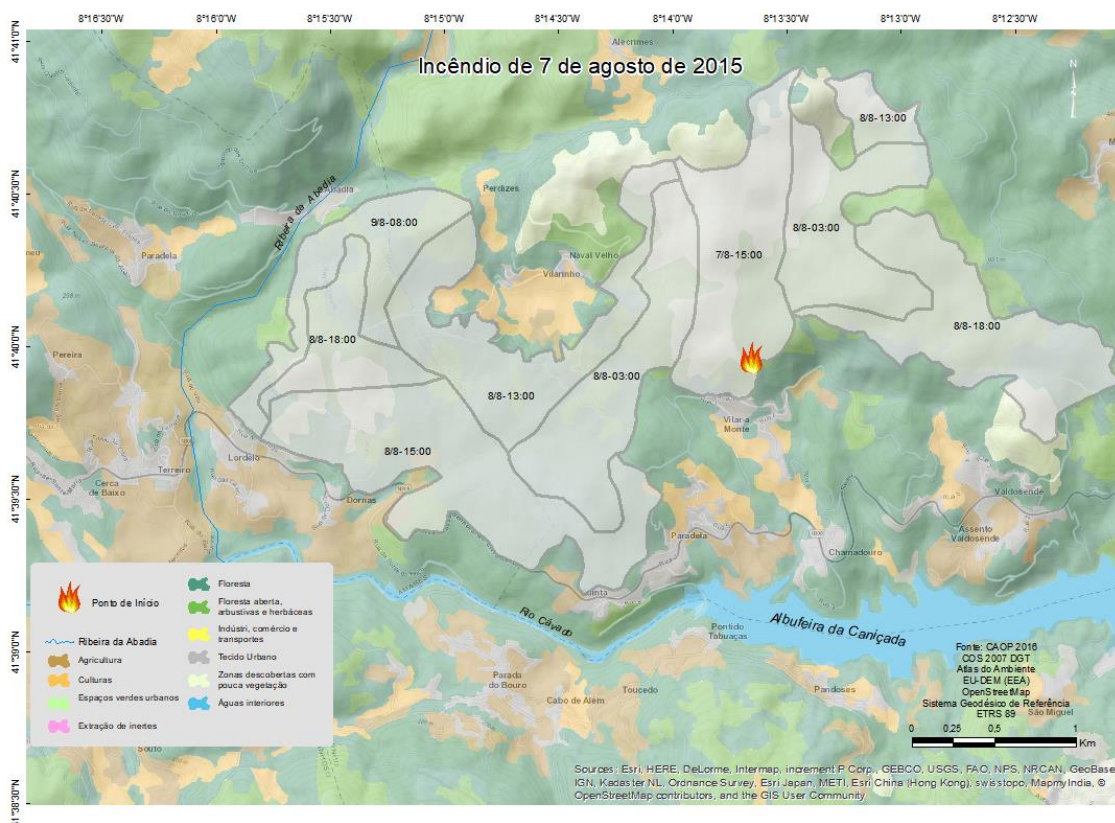


Figura 36 - Estimativa da evolução do incêndio, data – hora

Fase II

Depois do incêndio chegar à cumeada e ceder aos meios de combate, começou a alargar os flancos aumentando significativamente o seu perímetro, permitindo que o flanco esquerdo saísse do vale e o flanco direito continuou a subir em direção à colina a leste. Depois das 00h00 do dia 8, quando o flanco esquerdo sai do vale, o incêndio cede aos ventos sinóticos que eram de nordeste e leste, acelera em direção a sudoeste com grande intensidade (fogo de copas) e passa a estrada municipal que liga o santuário da Abadia a Valdosende, é neste período que se verifica a maior velocidade de vento, enquanto no flanco direito o fogo chega à cumeada e começa a descer o vale seguinte. Ao início da manhã do dia 8 os meios aéreos mobilizados desenvolvem ações de combate na cabeça do fogo e no flanco direito no flanco esquerdo o incêndio apresenta pouca intensidade no fundo do vale, a sul, continuava a descer a encosta em direção à barragem da Caniçada onde os meios de combate o iam conseguindo ancorar na rede viária florestal existente. Nesta fase estima-se que o incêndio tivesse 238 ha.

Fase III

Por volta das 13h00 do dia 8, o flanco esquerdo sai do vale, volta a ganhar intensidade e sobe alinhado a noroeste a favor do declive e do vento, pois a essa hora registou-se um aumento da velocidade do vento na estação meteorológica de Salamonde. Duas horas depois, por volta das 15h00, quando todas as estações registaram o aumento da velocidade de vento, principalmente da rajada e a direção entre os 270° e os 90°, o fogo desceu com muita intensidade com rumo a sudoeste, havendo necessidade de realizar uma defesa perimétrica ao lugar de Lordelo em Bouro Santa Maria. No fim da tarde do dia 8, às 18h00 o fogo aumenta de intensidade em direção à cumeada do monte de São Miguel, junto à margem esquerda da Ribeira da Abadia, ao mesmo tempo que descia com menos intensidade em direção à ribeira.

Fase IV

No dia 9 de agosto ao nascer do dia o fogo apresentava pouca atividade, tendo sido dado como dominado às 09h40 desse mesmo dia. O incêndio a noroeste parou sem combate depois de passar a cumeada do monte de São Miguel e começar a descer a vertente norte. Foi então que o incêndio se autoextinguiu a meia encosta num trilho pedestre que liga o santuário da Abadia ao santuário de São Bento da Porta Aberta. Este trilho apresentava uma descontinuidade de combustível inferior a um metro.

7.8. A modelação do incêndio

O uso de modelos preditivos na previsão da evolução de incêndios florestais em paisagens marcada por vales encaixados e orografia complexa devem prever as dinâmicas locais da influência orográfica no movimento do ar atmosférico, deve ser considerado o histórico dos incêndios na região e considerar pontualmente, a inclusão de modelos locais (Linn, R. [et al.], 2007). O grau de incerteza é influenciado pelo potencial convectivo que, por sua vez, apenas contempla o movimento horizontal do ar atmosférico, desconsiderando variáveis como a humidade do combustível ou a heterogeneidade do seu comportamento ao fogo (Mandel, J. [et al.], 2011).

A adaptação da Carta de Ocupação do Solo de 2007 (COS07) para o modelo de combustível do simulador Farsite (Finney, M.A., 1998), apresenta algumas zonas classificadas como solo sem vegetação, o que não se verifica na realidade, estas zonas mal classificadas apresentam-se como bloqueio à progressão do incêndio tornando as modelações imprecisas como se pode observar nas isócronas da evolução do incêndio modelada em Farsite (Figura 37). Os modelos de combustível usados nas simulações foram os disponibilizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

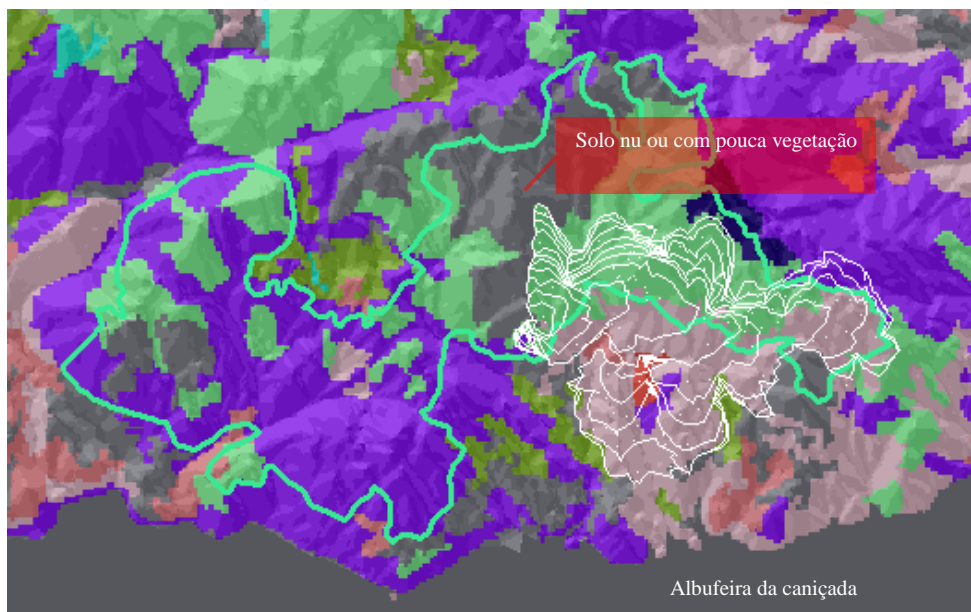


Figura 37 - Modelação Farsite

Depois de corrigir a informação relativa à ocupação do solo, foi simulado o incêndio no período de tempo em que esteve mais ativo, entre as 11h30 do dia 7 de agosto e as 18h00 do dia 8 de agosto de 2015. Além do modelo com a tipificação de combustível adaptado para Farsite, foi realizada a simulação com o modelo de combustível adaptado para *Northern Forest Fire Laboratory* (NFFL) e todas as modelações foram colocadas barreiras onde os operacionais relataram que foram realizadas ações de combate (Figura 38).

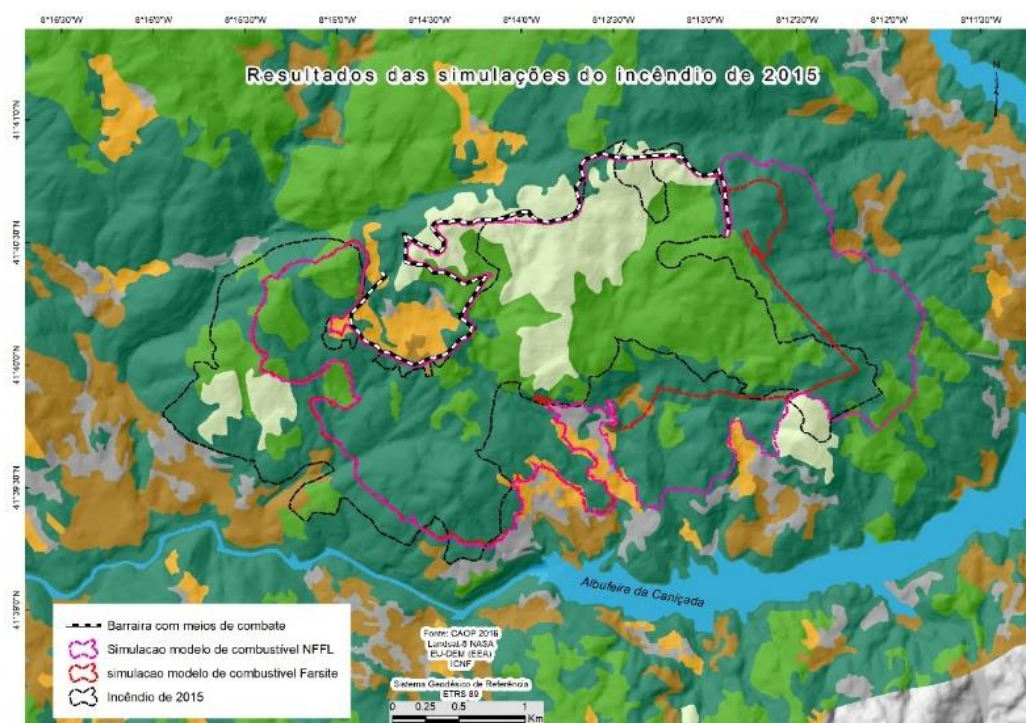


Figura 38 - Resultados de área ardida nas várias simulações

Discussão do processo de modelação:

No mesmo período de tempo e nas mesmas condições, com o modelo de combustível adaptado para NFFL o resultado da área ardida foi de 847,7 ha e com o modelo adaptado para Farsite o resultado da área ardida foi de 665,8 ha. O modelo adaptado para Farsite tem dezoito classes e o modelo adaptado para NFFL tem treze classes, a generalização de dezoito para treze classes de combustíveis neste cenário permite um incremento de área ardida na simulação de 182 ha.

A modelação do incêndio não atinge a parte sudoeste da área do incêndio, mesmo introduzindo na modelação o dobro da velocidade do vento observado nas estações estudadas, o incêndio auto extingue-se sempre pelo mesmo limite, o que reflete a dificuldade de o modelo apresentar resultados concordantes na zona de vale mais fechado e de ceder ao vento em zonas de declive acentuado.

Os meios aéreos estiveram empenhados no combate durante os dias 7 e 8 de agosto, a incerteza relativamente aos locais onde os mesmos intervieram, não permitiu a sua introdução na simulação, contudo, sem intervenção dos meios aéreos, o simulador com o modelo de combustíveis adaptado para Farsite, simula apenas mais 13 ha do que os 658,2 ha de área ardida verificados na realidade.

7.9. A análise da severidade e intensidade do incêndio

O cálculo da severidade do incêndio foi obtido com o recurso a análise de deteção remota com imagens do Landsat 8, obtido através das bandas, 5 - NIR e 7 - SWIR (Key, C.H. and Benson, N.C., 1999), para obter estes valores é necessário realizar duas avaliações das imagens de satélite em dois momentos diferentes, antes da queima e depois da queima. O resultado da operação algébrica em SIG através dos dados raster das imagens de satélite é dado pela seguinte fórmula:

Cálculo do NBR relativos às duas resoluções temporais:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Calcular o dNBR depois de calcular o NBR das imagens antes do fogo e depois do fogo:

$$dNBR = Pré NBR - Pós NBR$$

Os processamentos dos dados de deteção remota apresentavam as seguintes resoluções:

Dados:

Landsat 8

Radiométrica:

A resolução radiométrica dos dados obtidos é de oito bits, onde a energia refletida captada pelo sensor varia entre 0 e 254, portanto, o valor de cada pixel será entre estes dois limites.

Espectral:

Seleção dos dados do espectro eletromagnético entre os 850 μm e os 880 μm (infravermelho próximo) e os dados entre os 2110 μm e os e os 2990 μm (onda curta de infravermelho próximo).

Temporal:

Imagens pré fogo – 05/08/2015

Imagens pós fogo – 30/09/2015

Espacial: A resolução espacial dos dados trabalhados é de 30 m.

Como já foi referido, a intensidade do fogo é avaliada aquando da passagem do fogo, pode ser estimada pela dimensão da chama, as observações reportadas pelos operacionais no terreno não possibilitou uma análise quantitativa da intensidade da frente de fogo durante o seu desenvolvimento, contudo, foi possível representar com algum rigor espacial e temporal o aumento da intensidade do fogo (Figura 39).

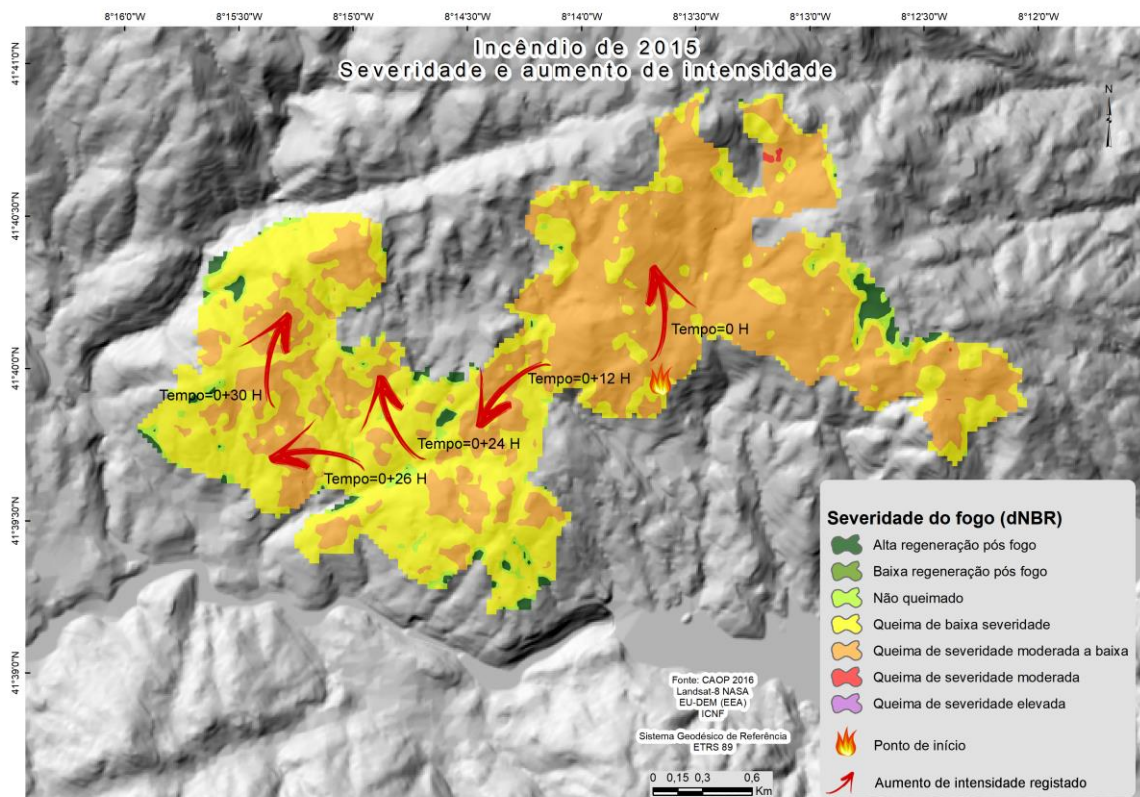


Figura 39 - Mapa de intensidade e severidade do incêndio

Além da representação da severidade e aumento de intensidade do incêndio, foi possível representar graficamente a relação entre o tipo de ocupação de solo percorrida pelo incêndio e a severidade do incêndio (Figura 40).

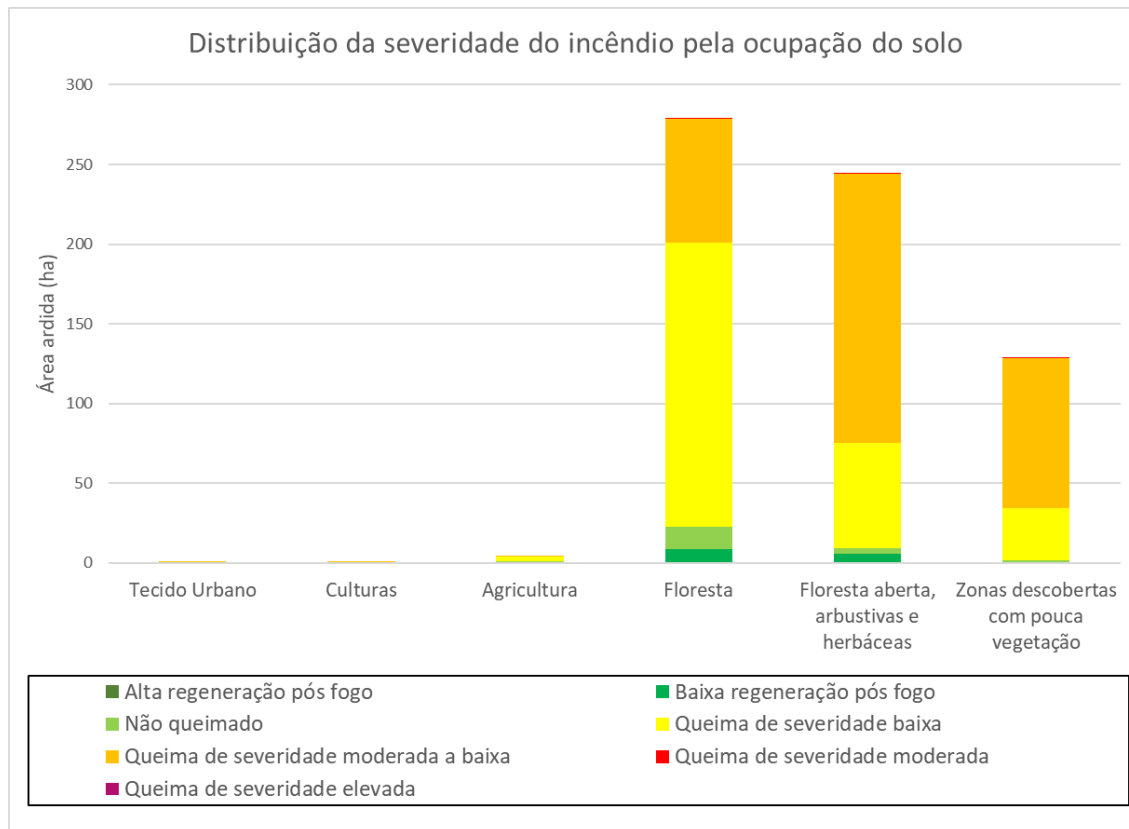


Figura 40 - Distribuição da severidade pela utilização do solo

Analisando o mapa de severidade e intensidade do incêndio podemos observar que o incêndio na fase inicial apresentou severidade moderada em praticamente toda a área percorrida no dia 7 de agosto, a intensidade reportada pelos combatentes descreve intensidade elevada com comprimento das chamas que passavam os 3 metros, tornando impossível o seu combate com ataque direto. Por volta das 00h00 do dia 8 de agosto o incêndio volta a aumentar de intensidade em direção a sudoeste, mantendo a mesma severidade no local onde passou a estrada municipal que liga o santuário da Sra. da Abadia à freguesia de Valdosende. No dia 8 de agosto o maior problema seria a dimensão do incêndio e alguns aumentos de intensidade representados no mapa que apresenta na generalidade uma redução de intensidade. No anexo VI está representada em tabela da distribuição da severidade do incêndio pelo tipo de ocupação do solo.

Capítulo V

8. Síntese e conclusões

Os incêndios florestais em Portugal representam o fenómeno danoso que se manifesta com maior frequência e que têm provocado maiores impactos negativos, no ambiente, na socioeconomia e fundamentalmente, na perda de vidas humanas, no número de feridos e de deslocados. Perante esta conjuntura, urge trabalhos das mais diversas origens da ciência que possam contribuir para que no futuro seja possível reduzir a sua recorrência e o seu impacte.

Neste trabalho foi possível analisar o movimento do ar atmosférico a várias escalas e verificar a existência da influência orográfica. Na análise realizada ao movimento de ar atmosférico em todo o território continental, onde se incluem as brisas e os ventos verificou-se através da análise das normais climatológicas dos últimos 30 anos que o mês de abril é o mês do ano que apresenta maior velocidade média do vento e o mês de setembro apresenta a velocidade menor. A direção do vento e das brisas observadas, varia em função na região do país, na cidade do Porto as brisas continentais apresentam valores ligeiramente superiores ao fluxo atmosférico de noroeste que como se sabe apresentam maior intensidade. Estes são alinhadas com a deriva oceânica que representam 20% dos valores observados. Nas cidades do interior predominam os fluxos de oeste e em Lisboa predomina a nortada com ventos de noroeste e norte, que representam quase 50% dos valores observados. Tendo em consideração a escala e os resultados observados verifica-se uma influência do lugar no vento geostrofico.

Na avaliação realizada no vale da Caniçada, o movimento atmosférico à superfície em dias com condições meteorológicas desfavoráveis à realização de fogo controlado (Fernandes, P. [et al.], 2009) observou-se maior incidência dos ventos de leste que aumentam de velocidade quando estão alinhados com o vale. As brisas de vale observadas durante a noite apresentam por vezes velocidades elevadas com valores da mesma ordem de grandeza dos ventos sinóticos observados em pontos mais elevados, para este facto contribui o desequilíbrio térmico proporcionado pela albufeira da Caniçada (Stewart, J.Q. [et al.], 2002). Nas estações localizadas nos vales mais fechados, na Ribeira do Arado e Rio Caldo a brisa local tem maior representatividade, apenas 1% das observações apresentam valores superiores a 6 m/s. A velocidade média de todas as observações em todas as estações foi de 1,6 m/s e a moda 0,3 m/s, cuja função pode ser representada graficamente por uma curva exponencial negativa. Esta observação é muito diferente da tendência observada nas cumeadas de Portugal continental que apresentam uma distribuição logarítmica normal de *Weibull* com velocidade media entre os 4 e os 8 m/s (da Silva Costa, P.A., 2004).

Na análise realizada ao comportamento do movimento atmosférico à superfície através de observações nas cumeadas, a meia encosta e no fundo do vale, foi estudado o alinhamento do rumo do vento relativamente ao observado no ponto mais elevado. Observou-se que com vento de leste

havia mais influência da orografia no escoamento do que com o vento de norte, em que, 40% das observações realizadas apresentavam o rumo do vento alinhado com o vale. O vento de leste também foi o que apresentou mais observações alinhadas com a exposição e mais observações sem qualquer alinhamento. Na área estudada, quando nas cumeadas se observam ventos de leste, no interior dos vales apresentam outro registro, são influenciados pela orografia onde mandam as brisas, apresentando mesmo dois pontos de recirculação. No interior do vale da Abadia e concretamente, no ponto 10 o módulo é sempre o mesmo, independentemente da observação na cumeadas, o vento alinha-se sempre com o vale. Por esta razão, nenhum dos incêndios com vento de leste transpôs a ribeira da Abadia.

Com recurso ao *software WindNinja* (Forthofer, J. [et al.], 2009) foi comparada a modelação do vento com os observações realizadas, pode-se concluir que após várias tentativas de modelação com outros modelos de *krigagem* a utilização deste *software* foi a que apresentou mais concordância com os dados observados, contudo, em determinados pontos da área de estudo, nomeadamente no interior dos vales mais fechados onde as brisas se sobrepõem ao vento observado na cumeadas de referência, o *software* não consegue modelar corretamente. A ferramenta não perde a sua importância, no entanto o utilizador deve ter a experiência e o conhecimento necessários para identificar onde existe maior probabilidade de o modelo falhar.

Nos últimos 10 anos registaram-se entre o vale da Abadia e o vale da Caniçada 8 incêndios florestais com área significativa, 4 deles com mais de 100 hectares. Foi estudado o incêndio que deflagrou a 7 de agosto de 2015 como estudo de caso, pois foi o maior e o que terá envolvido mais meios. Para a análise da evolução do incêndio foram solicitados dados da evolução da ocorrência à ANPC a qual não respondeu em tempo útil, contudo, foi possível o seu estudo com recurso a entrevistas realizadas aos elementos envolvidos no combate e aos habitantes que o presenciaram.

O incêndio eclodiu por volta do meio dia numa zona de vale adotando inicialmente um comportamento influenciado nitidamente pela topografia. Foi reportado que se desenvolveu com grande intensidade, sendo também a zona onde a severidade foi mais elevada. Se o estudo do vento desenvolvido neste trabalho fosse então conhecido, contribuiria para que o planeamento das operações de combate soubesse que com ventos de leste o vento em período noturno apresenta velocidades mais elevadas e, prever que o incêndio na madrugada do dia 8 de agosto deixaria de ter um comportamento orográfico e a sua progressão passaria a ser dominada pelo vento, essa previsão permitiria a adoção de medidas por antecipação aproveitando a barreira física da estrada pavimentada que liga a Abadia a Valdosende.

Foi modelada a evolução do incêndio com recurso ao *software Farsite* (Finney, M.A., 1998), através desta análise verificou-se que os modelos de combustível disponíveis (baseados na COS 07)

apresentam áreas classificadas como solo sem combustível ou com pouco combustível. Na realidade estas áreas apesar de apresentarem alguns afloramentos rochosos, detêm carga de combustível em quantidade suficiente que permite a progressão do incêndio com intensidade elevada, para isso também contribui o declive acima dos 30%, não permitindo um ataque eficaz nomeadamente quando falha o ataque inicial. Depois de corrigidos os *input's*, foi novamente modelado o incêndio apresentando melhores resultados com área ardia aproximada à da realidade. A modelação poderia apresentar maior exatidão se existisse um conhecimento exato e pormenorizado das intervenções no terreno, nomeadamente, a intervenção dos meios aéreos em ataque ampliado, onde ninguém explicou com rigor se existiu uma estratégia definida para a sua intervenção e isso também não foi interpretado nas ações observadas. Pode-se também concluir que mantendo os *input's* e apenas alterando o modelo de combustível de Farsite para NFFL a área ardia resultante da modelação aumentou 21%. Em nenhuma das modelações, mesmo inflacionando os valores de vento para o dobro do observado na estação de Salamonde, a modelação sem qualquer barreira ou combate não se aproximou da ribeira da Abadia como se verificou na realidade, havendo mesmo a necessidade de desenvolver ações de combate no terreno.

A maioria dos modelos preditivos estão ancorados no modelo de Rothermel, R.C. (1972), desta forma podemos concluir que nestas situações de orografia complexa os modelos apresentam muitas limitações para estimarem a propagação dos incêndios. Podemos também concluir ao observar os perímetros dos incêndios com área significativa que deflagraram na área de estudo, todos partilham de duas condições, situação sinótica semelhante, com prognóstico de vento de leste e padrões de propagação semelhantes. Desta forma, entende-se que seria mais importante a criação de uma base de dados de relatórios sucintos, muito focados em representações gráficas e mapas, à semelhança do que foi apresentado no estudo de caso deste trabalho. Estes relatórios deveriam estar disponíveis para consulta no planeamento das ações de combate a incêndios futuros. A dar mais força a esta consideração, estão as limitações dos *inputs*, nomeadamente entre os modelos de combustível disponíveis e carga e distribuição de combustível real. Desta forma, fica desvalorizado o uso de simuladores, contudo, o mesmo se aplica como em outros simuladores, analistas experientes conhecedores das suas limitações neste tipo de orografia, poderão usa-los com a consciências das suas limitações.

Neste trabalho também se concluí que a estrada pavimentada que liga a Abadia à freguesia de Valdosende apresenta-se como uma barreira física importante para o domínio de futuros incêndios, seria importante como medida mitigadora, uma gestão de combustível junto aquela via com a descontinuidade adequada em função da quantidade de combustível e da orografia. A perspectiva de verões mais quentes e secos exige intervenções ao nível da paisagem, promovendo a

descontinuidade e redução de combustível disponível assim como a introdução de espécies mais resilientes (Fernandes, P., 2013).

Este tipo de avaliações em contexto acadêmico ou não, revelam-se de elevada importância para a interpretação correta dos fenômenos que contribuem para que os incêndios florestais sejam melhor interpretados e conseguinte redução dos seus impactos. O conhecimento do fenômeno baseado apenas em fundamentações empíricas, dificilmente apresentará bons resultados atendendo ao aumento da sua complexidade devido às já sobejamente conhecidas alterações climáticas e desordenamento florestal. Para que tal se verifique, existe a necessidade de uma maior abertura por parte das organizações com competência no combate, aproveitando o trabalho do meio acadêmico e desta forma colocar a ciência ao serviço da sociedade.

Este trabalho pode servir como incremento de uma filosofia de estudo que já não é nova mas carece de mais seguidores, estudando a especificidade dos locais do território onde o fenômeno dos incêndios florestais se manifesta, contribuindo para que se adotem medidas preventivas adequadas e devidamente fundamentadas. Contudo, o fenômeno continuará a manifestar-se e estes estudos serão sempre um contributo para uma resposta melhor e mais eficiente.

9. Referências:

- Andrews, P. L. - Modeling wind adjustment factor and midflame wind speed for Rothermel's surface fire spread model. *USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR*. n.º 266 (2012). p. 1-39. Disponível em WWW: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84856501656&partnerID=40&md5=8e2fe21b56e73015897a2a6862604f5e>>. ISSN:
- António, Pedrosa; Bruno, Martins - As formações superficiais no Norte de Portugal e suas implicações nos processos erosivos actuais. (2012). ISSN:
- Bartsch, A; Balzter, Heiko; George, C - The influence of regional surface soil moisture anomalies on forest fires in Siberia observed from satellites. *Environmental Research Letters*. Vol. 4. n.º 4 (2009). p. 045021. ISSN: 1748-9326
- Bedia, J.; Herrera, S.; Camia, A.; Moreno, J. M.; Gutiérrez, J. M. - Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change*. Vol. 122. n.º 1 (2014). p. 185-199. Disponível em WWW: <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>>. ISSN: 1573-1480
- Botella-Martínez, MA; Fernández-Manso, A - Estudio de la severidad post-incendio en la Comunidad Valenciana comparando los índices dNBR, RdNBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8. Universitat Politècnica de València, 2017. ISBN/ISSN: 1133-0953
- Byram, George M - Combustion of forest fuels. *Forest fire: control and use*. (1959). p. 61-89. ISSN:
- Campbell, Doug - The Campbell Prediction System: A Wild Land Fire Prediction and Communication System. Ojai Print. and Publishing Company, 2005. ISBN:
- Castro, Rui MG; Renováveis, Energias; Descentralizada, Produção - Introdução à energia eólica. Energias Renováveis e Produção Descentralizada. (2007). ISSN:
- Coen, J. L. - Simulation of the Big Elk Fire using coupled atmosphere-fire modeling. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 14. n.º 1 (2005). p. 49-59. Disponível em WWW: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-17844362729&doi=10.1071%2fWF04047&partnerID=40&md5=5e682c45ba7bdd32b6efc1664f6d691d>>. ISSN:
- Coen, Janice L.; Stavros, E. Natasha; Fites-Kaufman, Josephine A. - Deconstructing the King megafire. *Ecological Applications*. Vol. 0. n.º 0 (2018). Disponível em WWW: <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eap.1752>>. ISSN:
- Collischonn, Walter; TASSI, Rultinéia - Introduzindo hidrologia. (2008). ISSN:
- CTI - Relatório da Comissão Técnica Independente - Assembleia da República. (2017). ISSN:
- da Silva Costa, Paulo Alexandre - Atlas do potencial eólico para Portugal continental. *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa*. (2004). ISSN:
- DGAPPF - Relatório de Incêndios Florestais 2015. Lisboa: Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal - Instituto da Conservação da Natureza e Florestas, 2015. ISBN/ISSN:
- DGRF - Incêndios Florestais Relatório 2005. (2006). ISSN:
- Duane, Andrea; Piqué, Míriam; Castellnou, Marc; Brotons, Lluís - Predictive modelling of fire occurrences from different fire spread patterns in Mediterranean landscapes. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 24. n.º 3 (2015). p. 407-418. ISSN: 1448-5516
- Feio, Mariano - Notas geomorfológicas. Instituto para a Alta Cultura, Centro de Estudos Geográficos, 1951. ISBN:

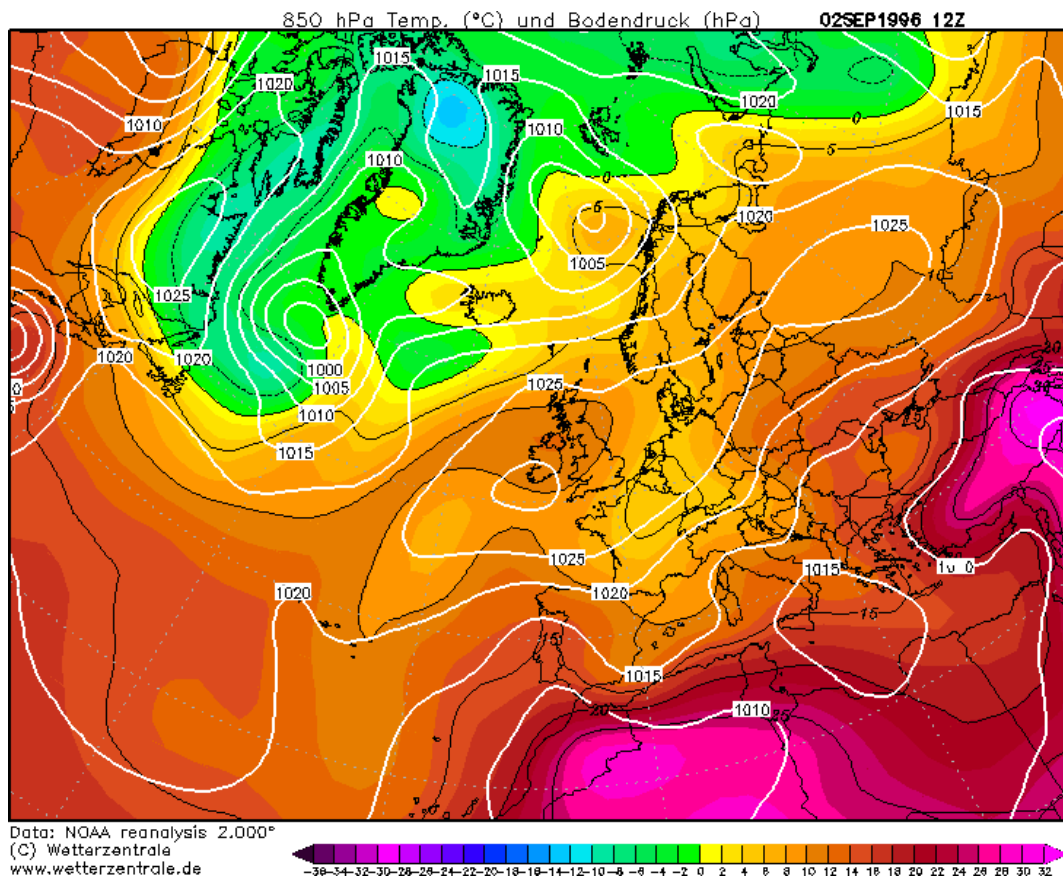
- Fernandes, Paulo - Entender porque arde tanto a floresta em Portugal. *Proteger a floresta: Incêndios, pragas e doenças. Coleção Árvores e Florestas de Portugal*. Vol. 8. (2007). p. 69-91. ISSN:
- Fernandes, Paulo - Forest fuel management for fire mitigation under climate change. (2013). ISSN:
- Fernandes, Paulo; Botelho, Hermínio; Loureiro, Carlos - Manual de formação para a técnica do fogo controlado. *UTAD, Vila Real*. (2002). ISSN:
- Fernandes, Paulo; Gonçalves, Hélia; Loureiro, Carlos; Fernandes, Manuel; Costa, Tânia; Cruz, Miguel G; Botelho, Hermínio - Modelos de combustível florestal para Portugal. 2009. ISBN/ISSN:
- Finney, Mark A - FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. *Res. Pap. RMRS-RP-4, Revised 2004. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station*. 47 p. Vol. 4. (1998). ISSN:
- Forthofer, Jason; Shannon, Kyle; Butler, Bret - 4.4 simulating diurnally driven slope winds with windninja. *USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Missoula, MT*. (2009). ISSN:
- Ganho, Nuno - Risco de ventos tempestuosos de escala sinóptica em Portugal continental: análise causal. (2007). p. 251-266. ISSN:
- Gedalof, Ze'ev; Peterson, David L; Mantua, Nathan J - Atmospheric, climatic, and ecological controls on extreme wildfire years in the northwestern United States. *Ecological Applications*. Vol. 15. n.º 1 (2005). p. 154-174. ISSN: 1939-5582
- Gonçalves, António Bento - Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha: o caso da Serra da Cabreira. (2007). ISSN:
- Holton, James R. - An Introduction to Dynamic Meteorology. California USA: Elsevier, 2004. ISBN:
- ICNF - RELATÓRIO PROVISÓRIO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS – 2017 –. (2017). ISSN:
- ICNF - <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo> consultado a 5 de maio de 2018. (2018). ISSN:
- IPMA - Caraterização climática do ano 2005. (2005). ISSN:
- IPMA - Glossários - Glossários climatológicos/meteorológicos Acedido em 1 de maio de 2018, em: <https://www.ipma.pt>
2018. ISBN/ISSN:
- Keeley, Jon E - Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 18. n.º 1 (2009). p. 116-126. ISSN: 1448-5516
- Key, Carl H; Benson, Nate C - The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity. *United States Geological Survey, Northern Rocky Mountain Science Center.(Bozeman, MT)*. (1999). ISSN:
- Lourenço, Luciano - Tipos de tempo correspondentes aos grandes incêndios florestais ocorridos em 1986 no Centro de Portugal. *Finisterra*. Vol. 23. n.º 46 (1988). ISSN: 2281-4574
- Mandel, J.; Beezley, J. D.; Kochanski, A. K. - Coupled atmosphere-wildland fire modeling with WRF 3.3 and SFIRE 2011. *Geoscientific Model Development*. Vol. 4. n.º 3 (2011). p. 591-610. Disponível em WWW: <<Go to ISI>://WOS:000295379500004>. ISSN: 1991-959X

- Millan, M. M.; Estrela, M. J.; Badenas, C. - Meteorological processes relevant to forest fire dynamics on the Spanish Mediterranean coast. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 37. n.º 1 (1998). p. 83-100. Disponível em WWW: <<Go to ISI>://WOS:000071439100007>. ISSN: 0894-8763
- Moon, K.; Duff, T. J.; Tolhurst, K. G. - Sub-canopy forest winds: understanding wind profiles for fire behaviour simulation. *Fire Safety Journal*. (2016). Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711216300285>>. ISSN: 0379-7112
- Moreira, Francisco; Catry, Filipe; Silva, Joaquim Sande; Rego, Francisco Castro - Ecologia do fogo e gestão de áreas aridas. ISAPress, 2010. ISBN/ISSN:
- Oconnell, A. M.; McCaw, W. L. - Prescribed burning of thinning slash in regrowth stands of karri (Eucalyptus diversicolor) .2. Nitrogen budgets in pre- and post-burn fuel. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 7. n.º 1 (1997). p. 41-49. Disponível em WWW: <<Go to ISI>://WOS:A1997WP92000005>. ISSN: 1049-8001
- Oliveira, Tiago M.; Barros, Ana M. G.; Ager, Alan A.; Fernandes, Paulo M. - Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 25. n.º 6 (2016). ISSN: 1049-8001
- Palmer, Wayne C - Meteorological drought. Research Paper No. 45. Washington, DC: US Department of Commerce. *Weather Bureau*. (1965). p. 59. ISSN:
- Pereira, Mário G.; Trigo, Ricardo M.; da Camara, Carlos C.; Pereira, José M. C.; Leite, Solange M. - Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 129. n.º 1 (2005). p. 11-25. Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192305000043>>. ISSN: 0168-1923
- Pielke Sr, Roger A - Mesoscale meteorological modeling. Academic press, 2013. ISBN: 0123852382
- Pyne, Stephen J - Introduction to wildland fire. Fire management in the United States. John Wiley & Sons, 1984. ISBN: 047109658X
- Ramos, Catarina; Ventura, José Eduardo - Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais de Portugal. *Finisterra*. Vol. 27. n.º 53/54 (1992). ISSN: 2281-4574
- Rothermel, Richard C - A MATHEMATICAL MODEL FIRE SPREAD IN WILDLAND FUELS. (1972). ISSN:
- Rothermel, Richard C - How to predict the spread and intensity of forest and range fires. (1983). ISSN:
- Schweitzer, Christian; Priess, Joerg A - Linking wildfire behaviour and land-use modelling in Northern Mongolia. (2010). ISSN:
- Sharples, Jason J - An overview of mountain meteorological effects relevant to fire behaviour and bushfire risk. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 18. n.º 7 (2009). p. 737-754. ISSN: 1448-5516
- Sharples, Jason J; McRae, Richard HD; Wilkes, Stephen R - Wind-terrain effects on the propagation of wildfires in rugged terrain: fire channelling. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 21. n.º 3 (2012). p. 282-296. ISSN: 1448-5516
- Smith, Ronald B - Advances in geophysics. Elsevier, 1979. - The influence of mountains on the atmosphere. ISBN: 0065-2687
- Smith, Ronald B - Synoptic observations and theory of orographically disturbed wind and pressure. *Journal of the Atmospheric Sciences*. Vol. 39. n.º 1 (1982). p. 60-70. ISSN: 1520-0469

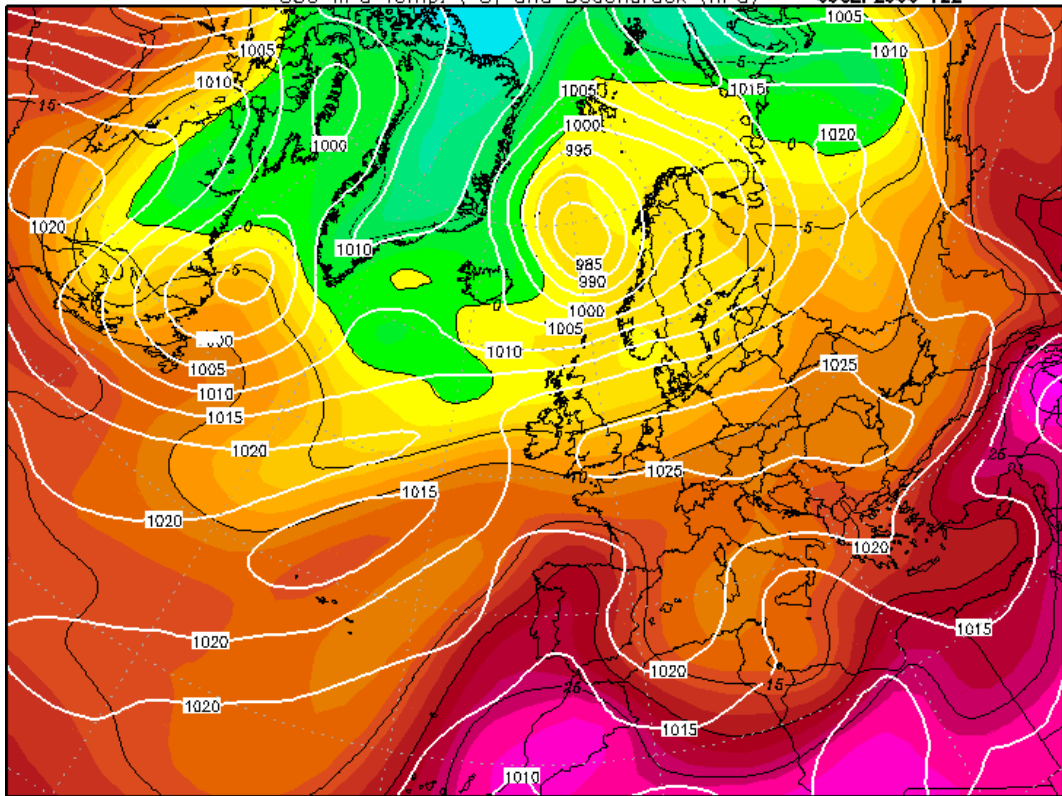
- Stephens, Scott L - Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 14. n.º 3 (2005). p. 213-222. ISSN: 1448-5516
- Stewart, Jebb Q.; Whiteman, C. David; Steenburgh, W. James; Bian, Xindi - A CLIMATOLOGICAL STUDY OF THERMALLY DRIVEN WIND SYSTEMS OF THE U.S. INTERMOUNTAIN WEST. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 83. n.º 5 (2002). p. 699-708. Disponível em WWW: <<https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477%282002%29083%3C0699%3AACSOTD%3E2.3.CO%3B2>>. ISSN:
- Strojnik, M.; Paez, G.; Scholl, M. K. - Infrared Remote Sensing and Instrumentation Xxiii. Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering, 2015. Disponível em WWW: <<Go to ISI>://WOS:000365985000037>. Cap. - PROPAGATION DYNAMICS OF A MOUNTAIN FIRE: CASE OF THE YARNELL HILL FIRE 2. ISBN: 978-1-62841-774-6
- Viegas, Domingos Xavier; Rossa, Carlos; Ribeiro, Luís Mário - Incêndios Florestais. Verlag Dashofer, 2011. ISBN: 978-989-642-139-7
- Wang, Yansen; Huynh, Giap; Williamson, Chatt - Integration of Google Maps/Earth with microscale meteorology models and data visualization. *Computers & Geosciences*. Vol. 61. (2013). p. 23-31. ISSN: 0098-3004
- Weibull, Waloddi - A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of applied mechanics*. Vol. 18. n.º 3 (1951). p. 293-297. ISSN: 0021-8936
- Whiteman, C. David; Doran, J. Christopher - The Relationship between Overlying Synoptic-Scale Flows and Winds within a Valley. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 32. n.º 11 (1993). p. 1669-1682. Disponível em WWW: <<https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450%281993%29032%3C1669%3ATRBOSS%3E2.0.CO%3B2>>. ISSN:

Anexo I - Cartas sinóticas (grandes incêndios)

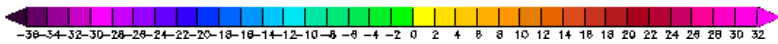
Cartas sinóticas dos grandes incêndios florestais na área de estudo.



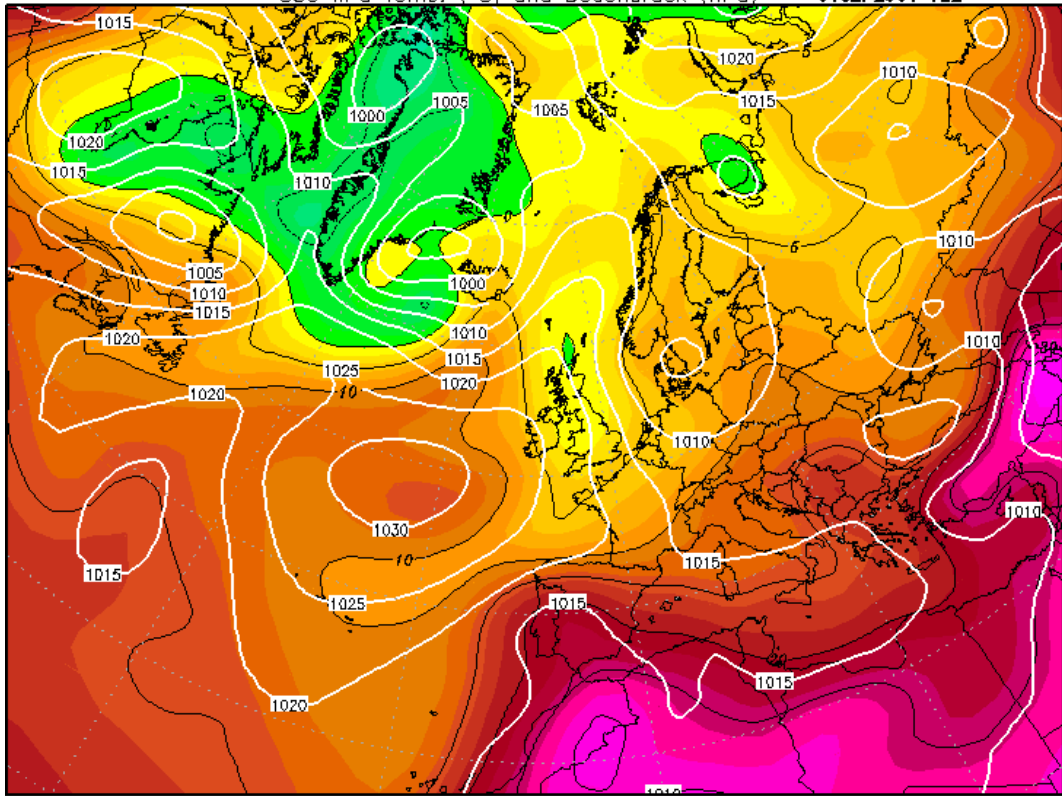
850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa) 09SEP2000 12Z



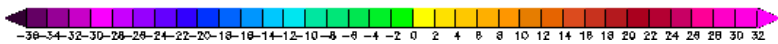
Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de



850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa) 04SEP2001 12Z

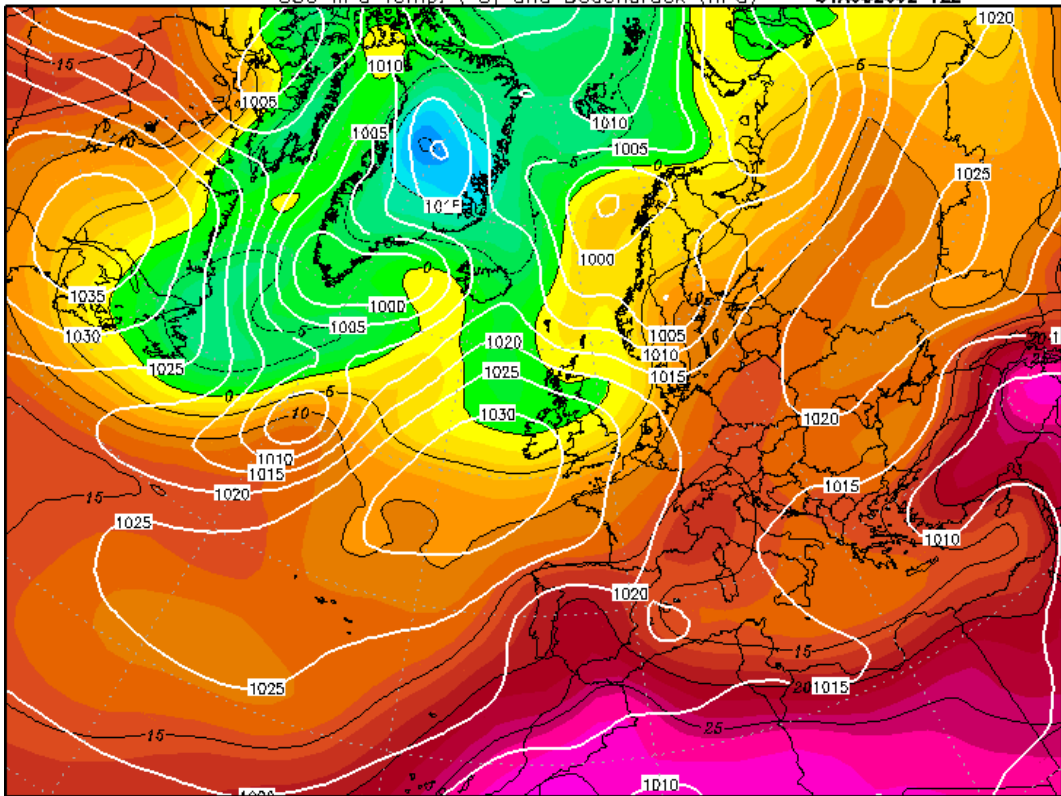


Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

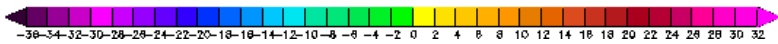


850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa)

31AUG2002 12Z

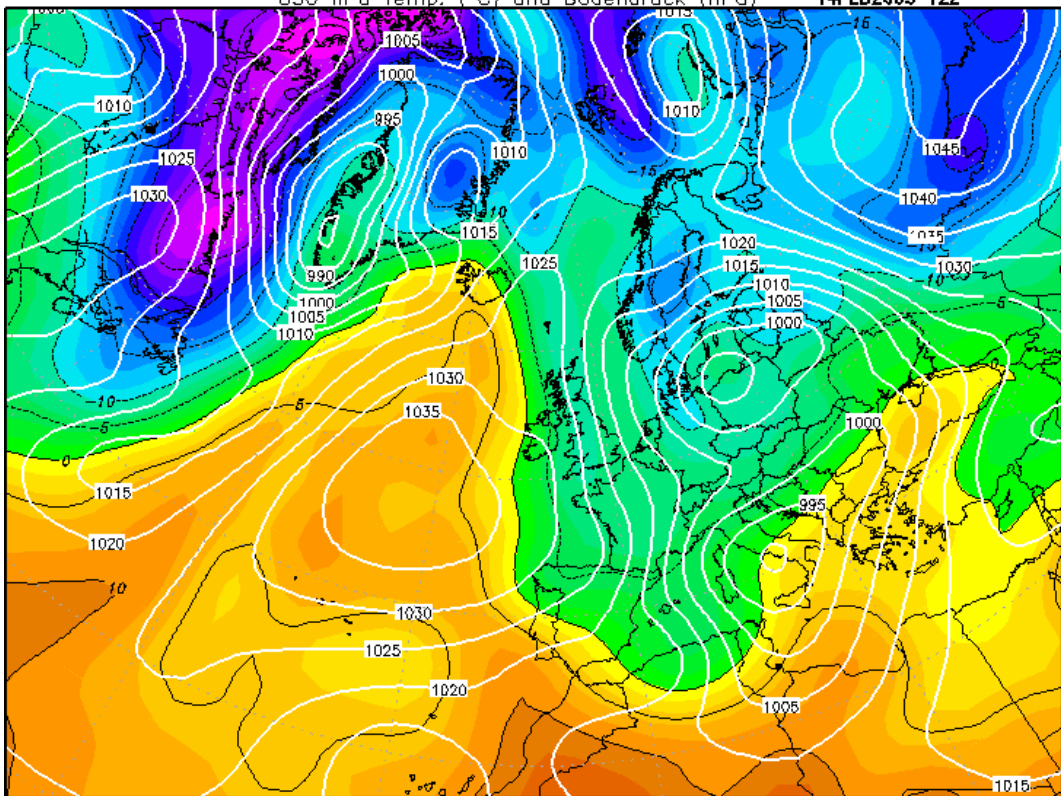


Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

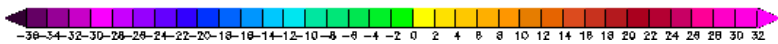


850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa)

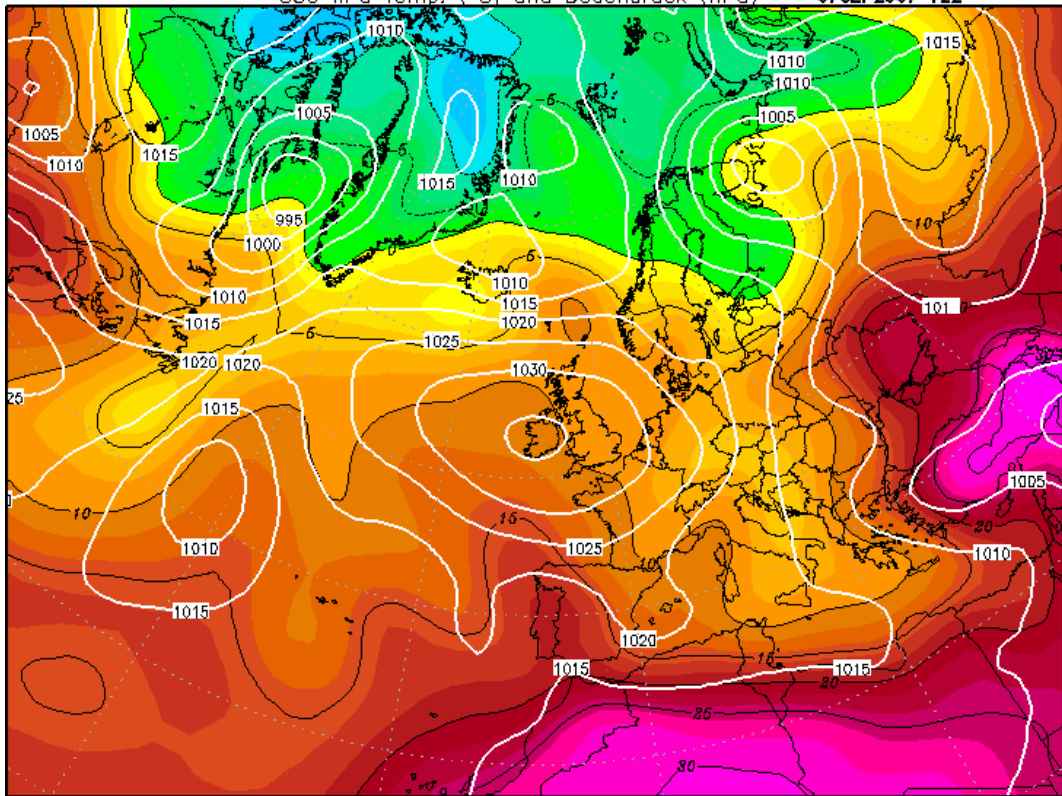
14FEB2005 12Z



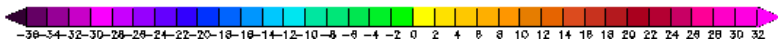
Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de



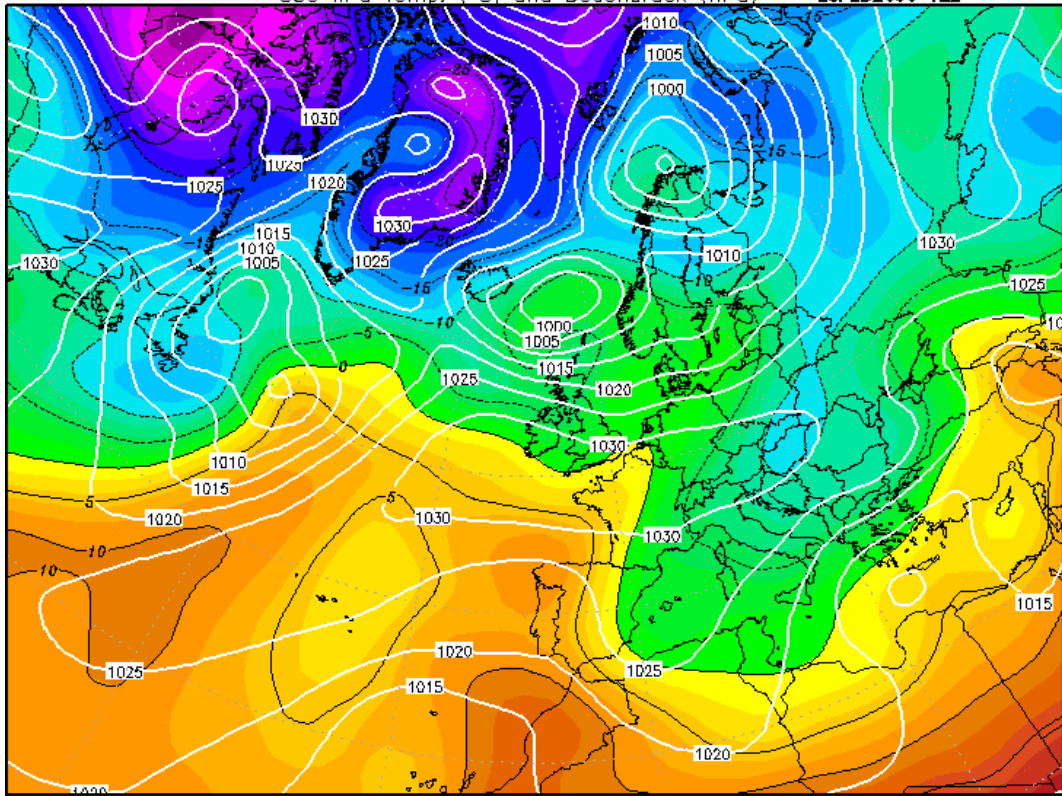
850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa) 07SEP2007 12Z



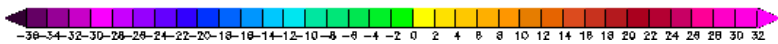
Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de



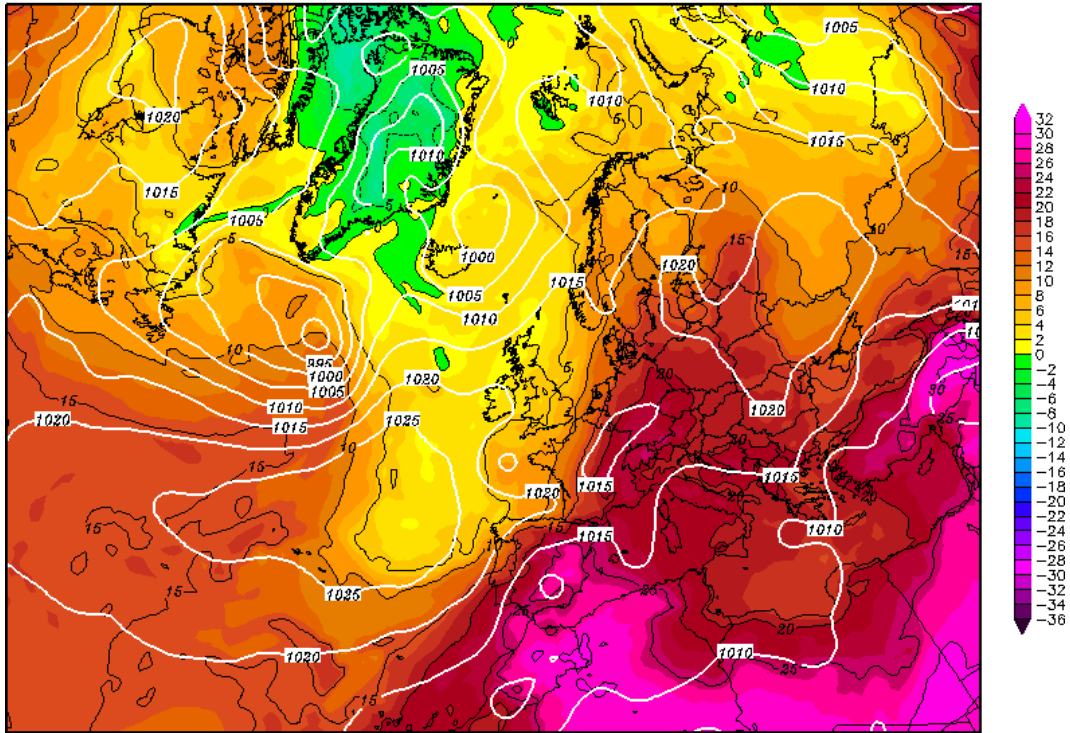
850 hPa Temp. (°C) und Bodendruck (hPa) 25FEB2009 12Z



Data: NOAA reanalysis 2.000°
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

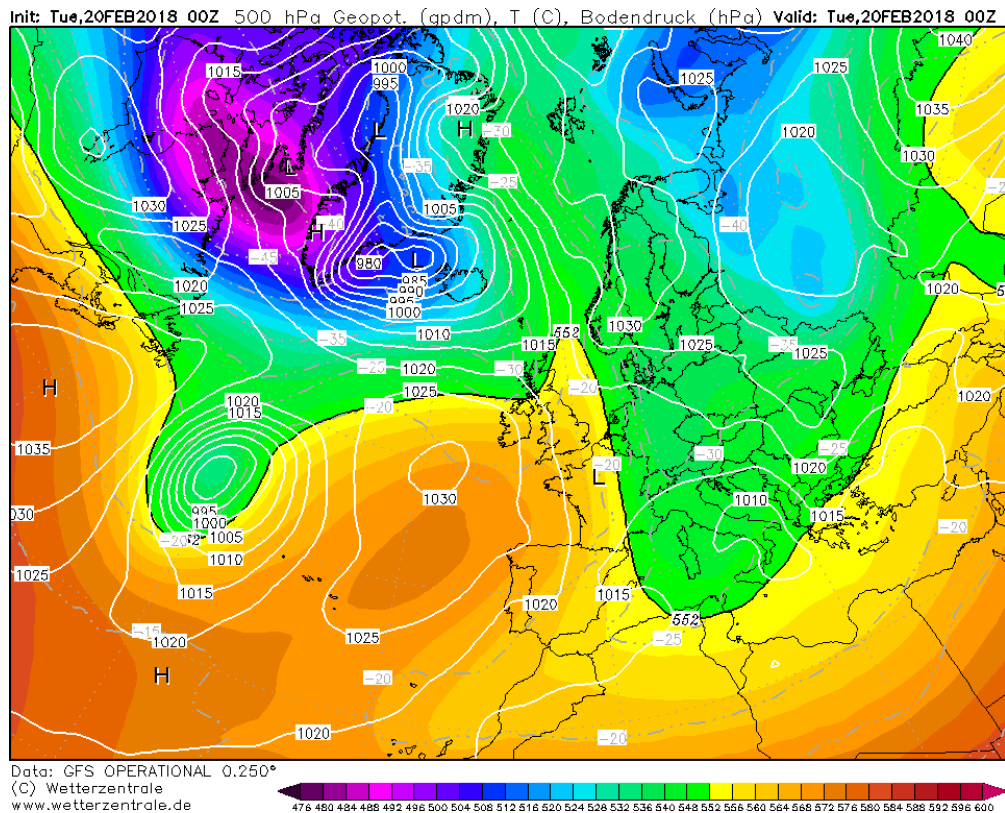
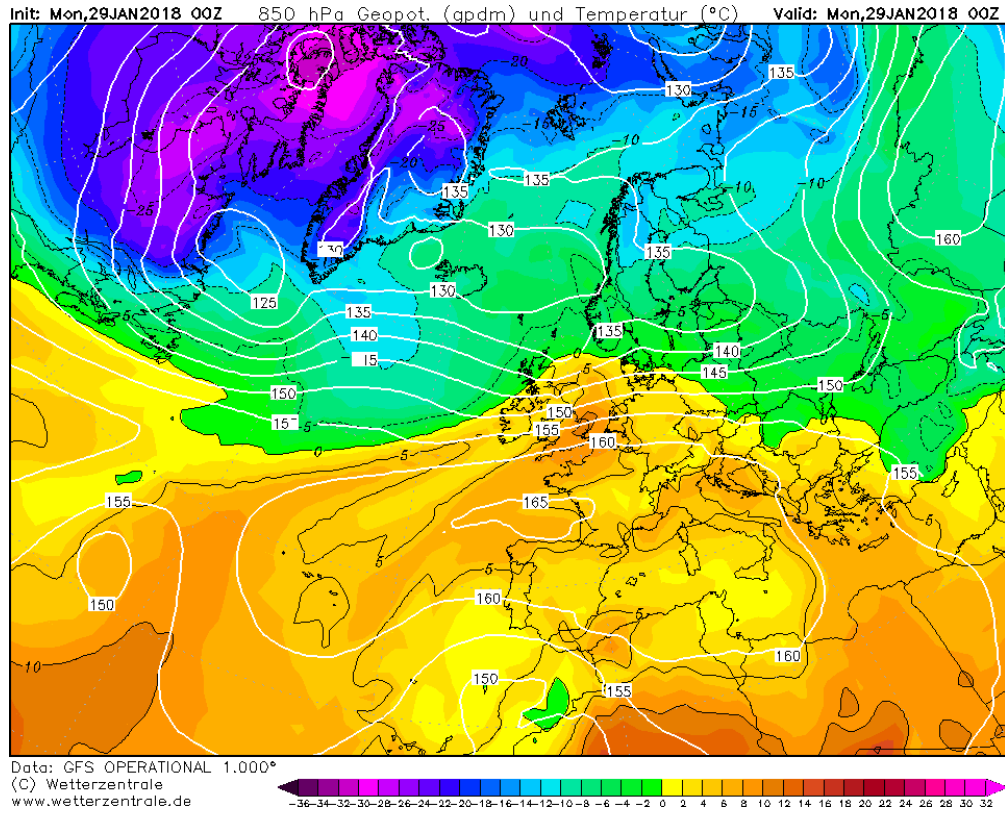


Fri,07AUG2015 12Z
850 hPa Temp. (Grad C) und Bodendruck (hPa)

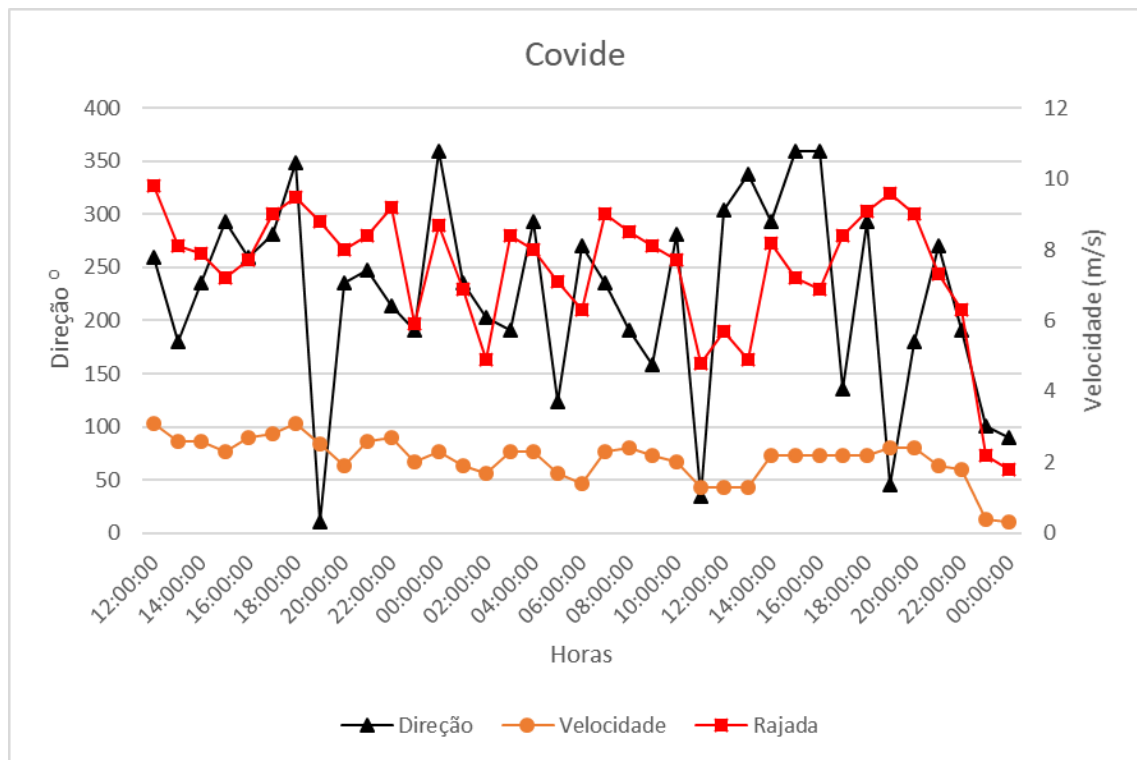
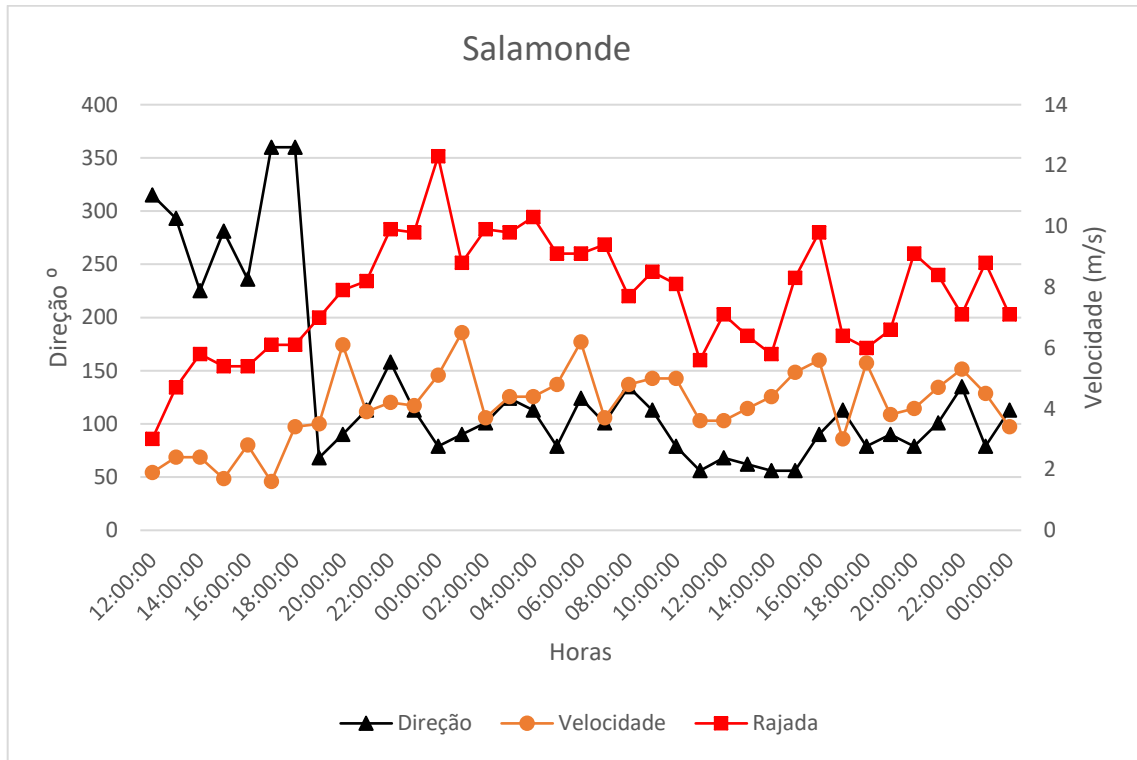


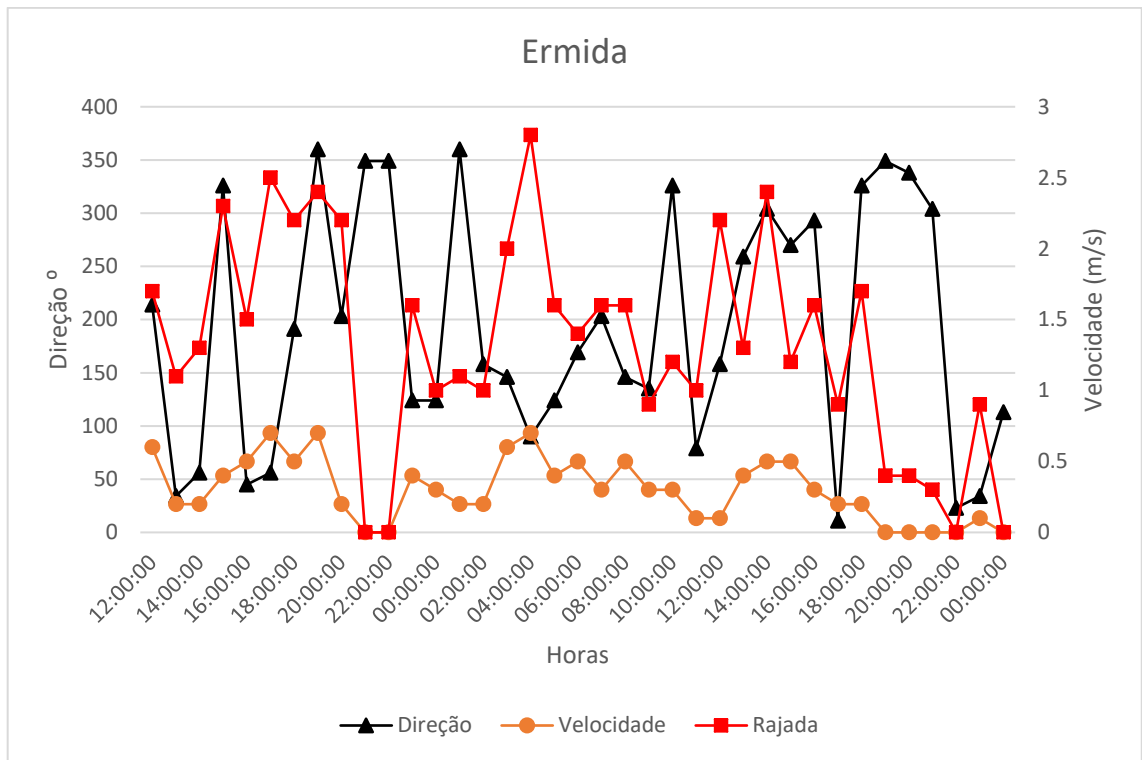
Data: CFS reanalysis
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Anexo II - Cartas sinóticas (levantamentos de campo)



Anexo III - Registos de vento do incêndio de 2015 (SNIRH)





Anexo IV - Análise de dados à mesoescala

Dados tratados com o software WRPLOT View Version™ 8.0.0

Station ID: Covide COD: 03H/02UG

Start Date: 06/12/2005 - 01:00

End Date: 11/10/2016 - 23:00

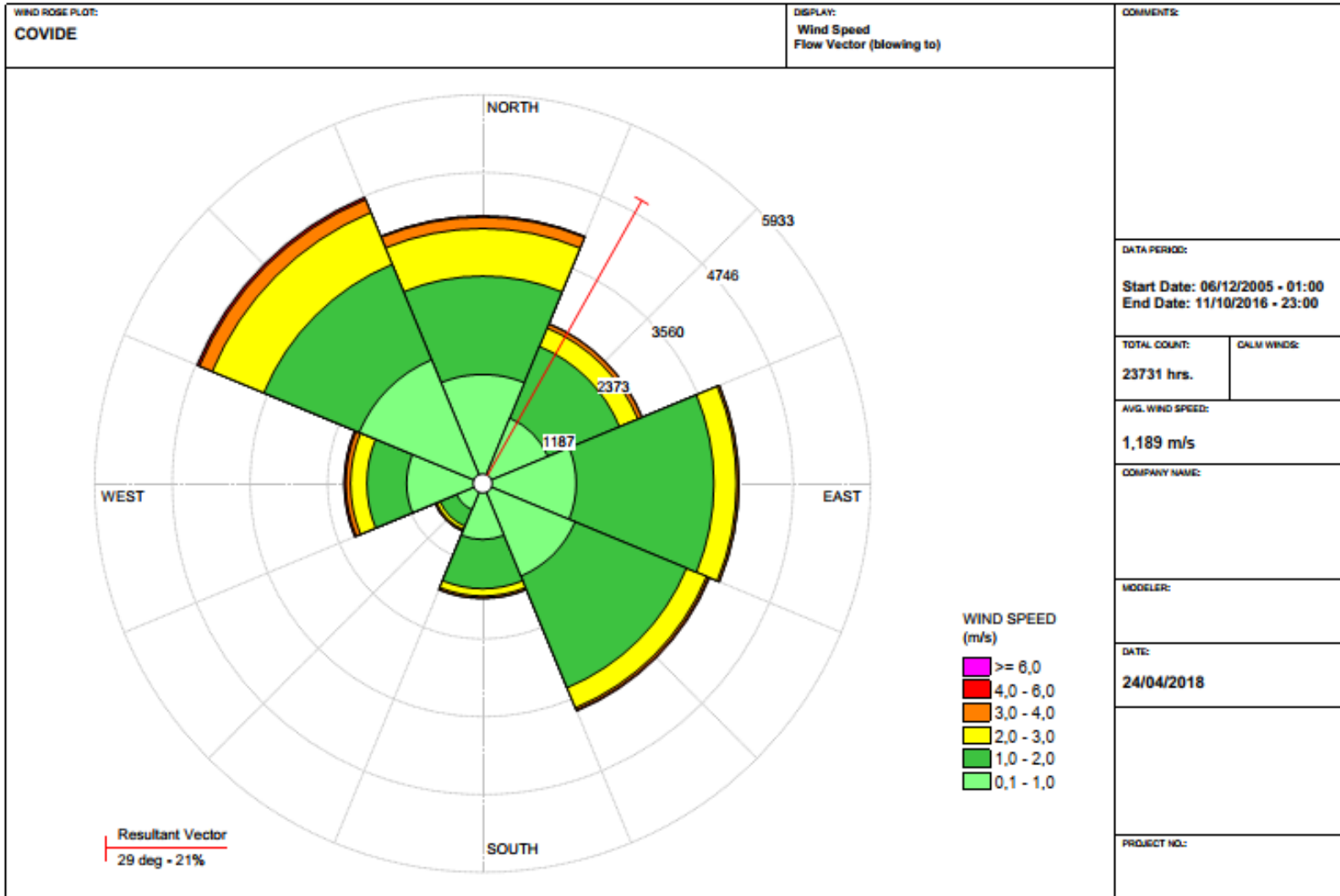
Frequency Distribution (Count)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total
337,5 - 22,5	1663	1495	724	174	15	1	4072
22,5 - 67,5	1079	1181	305	65	7	0	2637
67,5 - 112,5	1427	2102	344	32	5	0	3910
112,5 - 157,5	1526	1841	330	35	17	0	3749
157,5 - 202,5	853	749	112	30	8	0	1752
202,5 - 247,5	430	275	58	18	6	1	788
247,5 - 292,5	1162	605	250	72	23	1	2113
292,5 - 337,5	2040	1572	853	210	34	1	4710
Subtotal	10180	9820	2976	636	115	4	23731
Missing/Incomplete							0
Total							23731

Frequency Distribution (%)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total (%)
337,5 - 22,5	7,00771	6,29978	3,05086	0,73322	0,06321	0,00421	17,159
22,5 - 67,5	4,5468	4,97661	1,28524	0,2739	0,0295	0	11,112
67,5 - 112,5	6,01323	8,85761	1,44958	0,13484	0,02107	0	16,4763
112,5 - 157,5	6,43041	7,75779	1,39059	0,14749	0,07164	0	15,7979
157,5 - 202,5	3,59445	3,15621	0,47196	0,12642	0,03371	0	7,38275
202,5 - 247,5	1,81198	1,15882	0,24441	0,07585	0,02528	0,00421	3,32055
247,5 - 292,5	4,89655	2,54941	1,05347	0,3034	0,09692	0,00421	8,90397
292,5 - 337,5	8,59635	6,62425	3,59445	0,88492	0,14327	0,00421	19,8475
Subtotal	42,8975	41,3805	12,5406	2,68004	0,4846	0,01686	100
Missing/Incomplete							0
Total							100

Average Wind Speed: 1,189 m/s



Station ID: Ermida COD: 03I/07G

Start Date: 02/04/2003 - 03:00

End Date: 11/10/2016 - 12:00

Frequency Distribution (Count)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total
337,5 - 22,5	943	307	38	9	3	0	1300
22,5 - 67,5	941	421	66	11	2	0	1441
67,5 - 112,5	1552	789	139	39	11	1	2531
112,5 - 157,5	2138	1371	366	116	37	3	4031
157,5 - 202,5	1294	429	85	18	5	0	1831
202,5 - 247,5	1049	149	14	5	1	0	1218
247,5 - 292,5	1877	724	133	48	26	4	2812
292,5 - 337,5	2131	1091	254	104	29	5	3614
Subtotal	11925	5281	1095	350	114	13	18778
Missing/Incomplete							0
Total							18778

Frequency Distribution (%)

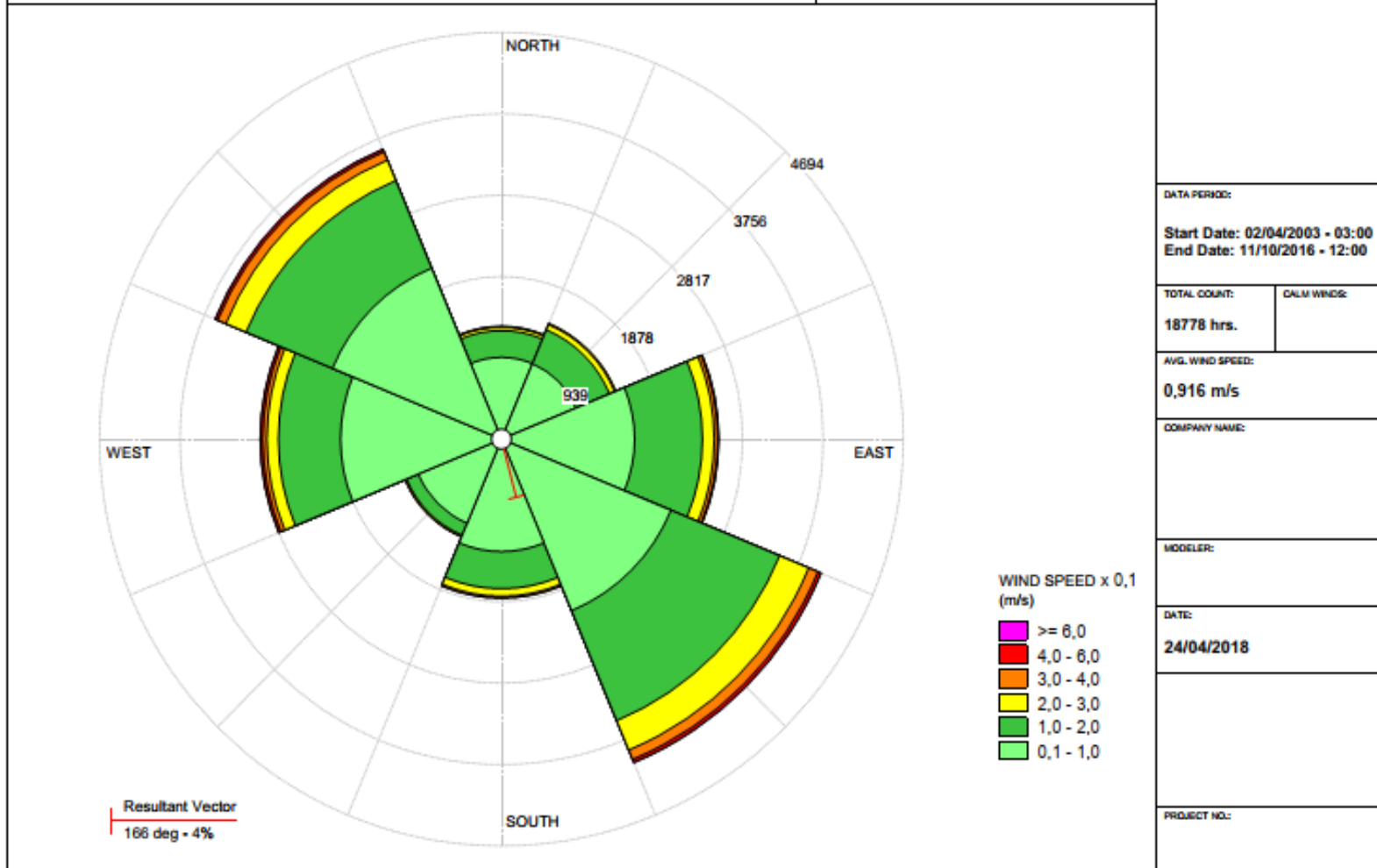
Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total (%)
337,5 - 22,5	5,02183	1,63489	0,20236	0,04793	0,01598	0	6,92299
22,5 - 67,5	5,01118	2,24199	0,35148	0,05858	0,01065	0	7,67387
67,5 - 112,5	8,26499	4,20173	0,74023	0,20769	0,05858	0,00533	13,4785
112,5 - 157,5	11,3857	7,3011	1,94909	0,61774	0,19704	0,01598	21,4666
157,5 - 202,5	6,89104	2,28459	0,45266	0,09586	0,02663	0	9,75077
202,5 - 247,5	5,58632	0,79348	0,07456	0,02663	0,00533	0	6,48631
247,5 - 292,5	9,99574	3,85558	0,70828	0,25562	0,13846	0,0213	14,975
292,5 - 337,5	11,3484	5,80999	1,35265	0,55384	0,15444	0,02663	19,2459
Subtotal	63,5052	28,1233	5,83129	1,86388	0,60709	0,06923	100
Missing/Incomplete							0
Total							100

Average Wind Speed: 0,916 m/s

WIND ROSE PLOT:
ERMIDA

DISPLAY:
Wind Speed
Flow Vector (blowing to)

COMMENTS:



Station ID: Penedo COD: 04I/06UG

Start Date: 16/05/2003 - 01:00

End Date: 10/06/2008 - 23:00

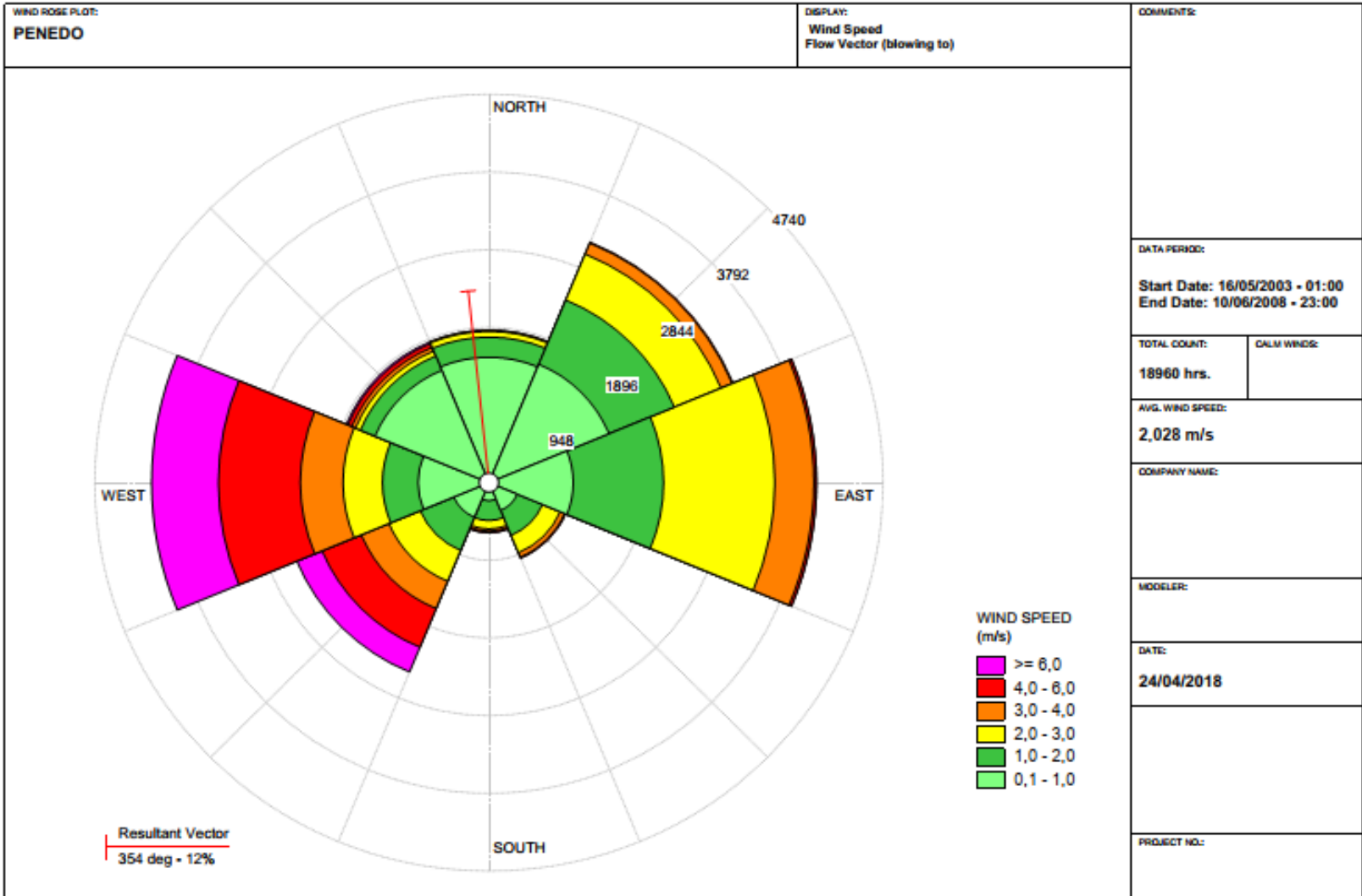
Frequency Distribution (Count)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,10 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total
337,5 - 22,5	1527	245	71	12	3	0	1858
22,5 - 67,5	1561	846	606	145	12	0	3170
67,5 - 112,5	1013	1082	1336	467	30	2	3930
112,5 - 157,5	369	327	230	55	11	1	993
157,5 - 202,5	223	238	104	28	17	1	611
202,5 - 247,5	458	435	407	360	509	327	2496
247,5 - 292,5	851	426	475	511	984	801	4048
292,5 - 337,5	1481	189	65	48	51	20	1854
Subtotal	7483	3788	3294	1626	1617	1152	18960
Missing/Incomplete							0
Total							18960

Frequency Distribution (%)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total (%)
337,5 - 22,5	8,0538	1,29219	0,37447	0,06329	0,01582	0	9,79958
22,5 - 67,5	8,23312	4,46203	3,1962	0,76477	0,06329	0	16,7194
67,5 - 112,5	5,34283	5,70675	7,04641	2,46308	0,15823	0,01055	20,7278
112,5 - 157,5	1,9462	1,72468	1,21308	0,29008	0,05802	0,00527	5,23734
157,5 - 202,5	1,17616	1,25527	0,54852	0,14768	0,08966	0,00527	3,22257
202,5 - 247,5	2,41561	2,2943	2,14662	1,89873	2,6846	1,72468	13,1646
247,5 - 292,5	4,4884	2,24684	2,50527	2,69515	5,18987	4,22468	21,3502
292,5 - 337,5	7,81118	0,99684	0,34283	0,25316	0,26899	0,10549	9,77848
Subtotal	39,4673	19,9789	17,3734	8,57595	8,52848	6,07595	100
Missing/Incomplete							0
Total							100

Average Wind Speed: 2,028 m/s



Station ID: Salamonde COD: 03I/09UG

Start Date: 04/04/2003 - 00:00

End Date: 11/10/2016 - 23:00

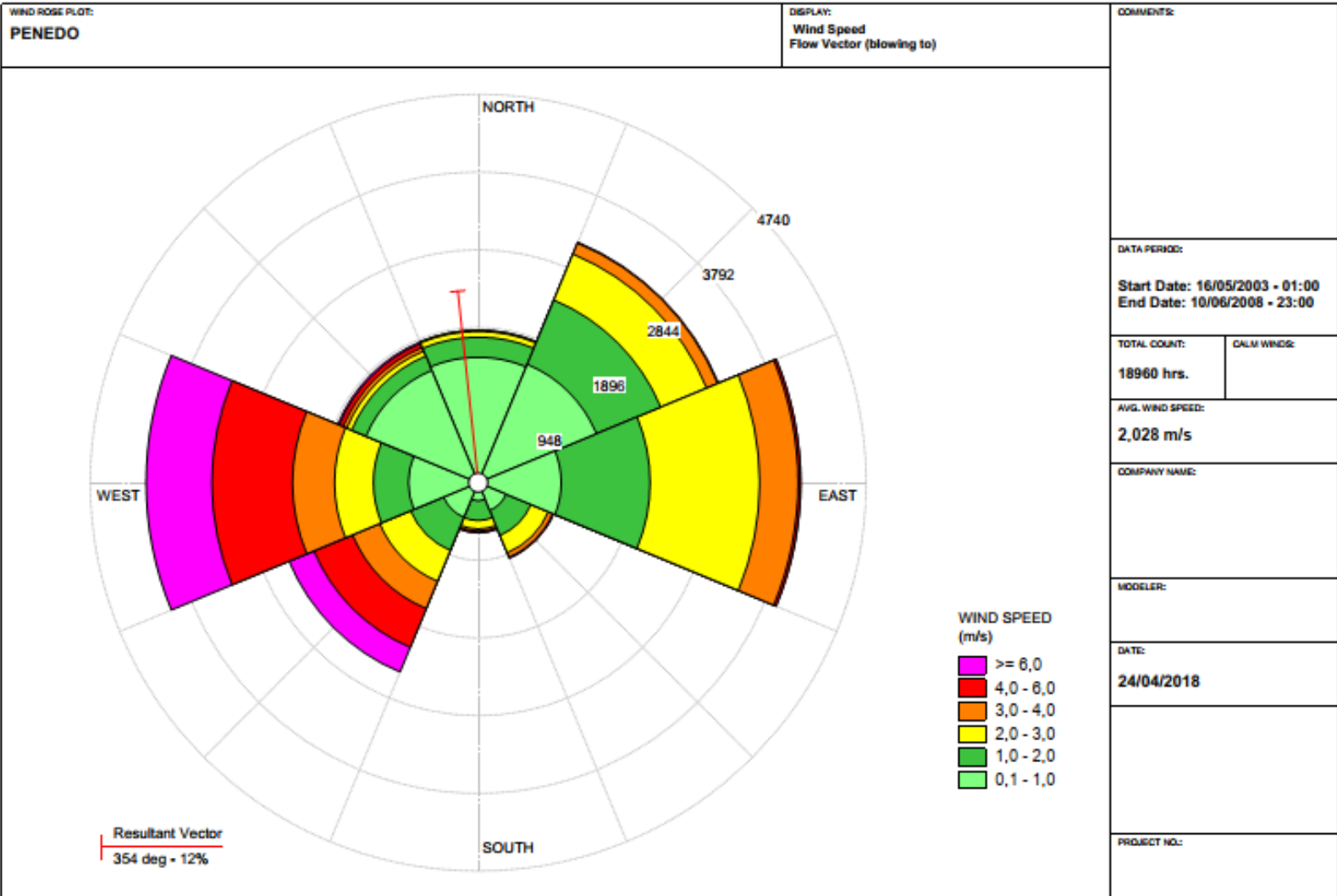
Frequency Distribution (Count)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total
337,5 - 22,5	731	738	121	46	24	1	1661
22,5 - 67,5	855	1369	888	496	247	29	3884
67,5 - 112,5	972	2378	1969	1212	569	59	7159
112,5 - 157,5	320	583	295	121	35	0	1354
157,5 - 202,5	154	148	71	39	20	4	436
202,5 - 247,5	371	801	699	540	529	172	3112
247,5 - 292,5	955	2508	2459	2285	2686	1207	12100
292,5 - 337,5	1005	1059	886	919	917	314	5100
Subtotal	5363	9584	7388	5658	5027	1786	34806
Missing/Incomplete							0
Total							34806

Frequency Distribution (%)

Directions / Wind Classes (m/s)	0,1 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>= 6,0	Total (%)
337,5 - 22,5	2,10021	2,12032	0,34764	0,13216	0,06895	0,00287	4,77217
22,5 - 67,5	2,45647	3,93323	2,55128	1,42504	0,70965	0,08332	11,159
67,5 - 112,5	2,79262	6,83216	5,65707	3,48216	1,63478	0,16951	20,5683
112,5 - 157,5	0,91938	1,675	0,84756	0,34764	0,10056	0	3,89013
157,5 - 202,5	0,44245	0,42521	0,20399	0,11205	0,05746	0,01149	1,25266
202,5 - 247,5	1,06591	2,30133	2,00827	1,55146	1,51985	0,49417	8,94099
247,5 - 292,5	2,74378	7,20565	7,06487	6,56496	7,71706	3,46779	34,7641
292,5 - 337,5	2,88743	3,04258	2,54554	2,64035	2,6346	0,90214	14,6526
Subtotal	15,4083	27,5355	21,2262	16,2558	14,4429	5,1313	100
Missing/Incomplete							0
Total							100

Average Wind Speed: 2,619 m/s



Anexo V - Correlação vetorial à microescala

Análise da correlação vetorial entre os valores observados à superfície, o vento geral, o aclave e a orientação do vale obtida através de observação no terreno

Análise de vento leste - 29 de janeiro																	Coseno formado entre o vetor vento e os restantes vetores			
Ponto	Hora	Temp °C	H.R. %	Pressão hPa	Velocidade (m/s)	Velocidade Km/h	Cota	Declive %	Rumo vento (°)	Exposição (°)	Exposição mais 180°	Orientação do vale (°)	Rumo do vento geral (°)	Ângulo rumo-exposição (°)	Ângulo rumo-vale (°)	Ângulo rumo-vento geral (°)	Correlação exposição	Correlação vale	Correlação com o vento geral	
A1	11:24	22.10	31.50	972.50	0.56	2.00	500.46	35.75	217.00	239.11	59.11	63.00	270.00	157.89	154	307	-0.92647608	-0.898794046	0.601815023	
A10	14:35	18.20	40.40	954.10	2.19	7.90	599.49	73.63	33.00	208.24	28.24	25.00	270.00	4.76	8	123	0.996548147	0.990268069	-0.544639035	
A11	14:17	16.40	44.30	955.30	1.33	4.80	639.35	77.90	9.00	249.05	69.05	40.00	270.00	299.95	329	99	0.499168556	0.857167301	-0.156434465	
A12	15:30	15.50	43.90	929.20	1.50	5.40	854.64	21.13	241.00	176.67	356.67	Cume	270.00	244.33	Cume	331	-0.433234479	0	0.874619707	
A13	16:25	13.60	52.90	971.10	1.11	4.00	501.05	39.38	181.00	99.41	279.41	10.00	270.00	261.59	171	271	-0.146319505	-0.987688341	0.017452406	
A14	15:40	14.90	50.70	965.10	0.42	1.50	502.78	50.22	83.00	53.66	233.66	320.00	270.00	209.34	123	173	-0.871744499	-0.544639035	-0.992546152	
A15	15:28	14.70	52.30	1001.00	0.36	1.30	199.13	22.59	115.00	2.05	182.05	320.00	270.00	292.95	155	205	0.38989024	-0.906307787	-0.906307787	
A16	15:23	17.40	45.90	1000.00	0.42	1.50	198.18	42.46	113.00	59.19	239.19	15.00	270.00	233.81	98	203	-0.590397199	-0.139173101	-0.920504853	
A17	15:00	15.30	47.50	964.50	0.64	2.30	502.49	45.31	36.00	53.40	233.40	15.00	270.00	162.60	21	126	-0.954234586	0.933580426	-0.587785252	
A18	14:37	18.80	40.40	977.90	1.00	3.60	399.93	57.62	76.00	208.93	28.93	90.00	270.00	47.07	346	166	0.681078696	0.970295726	-0.970295726	
A19	12:08	20.20	36.70	1003.00	1.06	3.80	200.43	11.31	277.00	96.35	276.35	90.00	270.00	0.65	187	7	0.999935254	-0.992546152	0.992546152	
A2	13:20	22.30	34.00	991.00	1.64	5.90	736.21	24.44	41.00	198.87	18.87	Cume	270.00	22.13	Cume	131	0.926338102	0	-0.656059029	
A20	12:45	18.20	38.80	999.80	0.58	2.10	300.10	42.79	6.00	227.49	47.49	328.00	270.00	318.51	38	96	0.749013599	0.788010754	-0.104528463	
A21	14:27	13.00	61.90	995.90	0.33	1.20	198.55	40.95	35.00	108.01	288.01	90.00	270.00	106.99	305	125	-0.292254805	0.573576436	-0.573576436	
A22	13:43	19.00	44.50	986.20	0.97	3.50	235.78	36.56	151.00	201.88	21.88	328.00	270.00	129.12	183	241	-0.630933164	-0.998629535	-0.48480962	
A23	10:27	20.30	36.50	938.70	1.69	6.10	399.01	73.45	241.00	174.45	354.45	75.00	270.00	246.55	166	331	-0.397868688	-0.970295726	0.874619707	
A24	11:48	19.60	39.90	942.80	2.19	7.90	800.02	5.16	280.00	9.10	189.10	Cume	270.00	90.90	Cume	10	-0.01575426	0	0.984807753	
A25	09:45	20.30	36.10	1018.00	0.64	2.30	121.69	22.33	336.00	96.45	276.45	90.00	270.00	59.55	246	66	0.506745689	-0.406736643	0.406736643	
A26	10:05	20.20	41.20	1016.00	0.69	2.50	142.98	11.90	283.00	106.46	286.46	90.00	270.00	356.54	193	13	0.998178229	-0.974370065	0.974370065	
A27	13:54	16.00	36.40	1011.00	1.14	4.10	99.40	46.86	342.00	280.19	100.19	90.00	270.00	241.81	252	72	-0.472442985	-0.309016994	0.309016994	
A28	10:42	14.50	40.10	1004.00	2.00	7.20	165.80	21.23	309.00	343.84	163.84	90.00	270.00	145.16	219	39	-0.820730529	-0.777145961	0.777145961	
A29	11:51	19.20	40.90	1007.00	0.39	1.40	179.08	55.88	300.00	259.01	79.01	340.00	270.00	220.99	320	30	-0.754766885	0.766044443	0.866025404	
A3	13:00	18.40	37.80	954.80	0.83	3.00	598.86	39.59	345.00	144.34	324.34	25.00	270.00	20.66	320	75	0.935672134	0.766044443	0.258819045	
A30	10:54	17.10	35.80	1008.00	2.08	7.50	170.96	45.58	306.00	30.56	210.56	90.00	270.00	95.44	216	36	-0.09483634	-0.809016994	0.809016994	
A31	11:17	18.20	34.90	979.10	0.33	1.20	399.40	55.62	340.00	61.17	241.17	90.00	270.00	98.83	250	70	-0.153510124	-0.342020143	0.342020143	
A32	09:00	8.50	66.90	1015.00	0.31	1.10	76.09	17.39	272.00	248.85	68.85	90.00	270.00	203.15	182	2	-0.919513043	-0.999390827	0.999390827	
A33	11:34	21.10	37.20	965.60	0.97	3.50	560.00	25.40	256.00	263.60	83.60	85.00	270.00	172.40	171	346	-0.991208621	-0.987688341	0.970295726	
A34	11:00	20.50	40.30	993.50	0.67	2.40	326.99	14.76	141.00	356.03	176.03	335.00	270.00	324.97	166	231	0.818811567	-0.970295726	-0.629320391	
A35	10:15	20.40	35.10	1003.00	1.50	5.40	255.79	16.04	320.00	124.14	304.14	328.00	270.00	15.86	352	50	0.961908492	0.990268069	0.64278761	
A36	17:10	12.60	51.20	986.30	1.69	6.10	301.83	60.98	276.00	229.62	49.62	320.00	270.00	226.38	316	6	-0.689884948	0.7193398	0.994521895	
A37	16:30	12.20	53.00	947.80	1.25	4.50	652.28	17.39	238.00	218.26	38.26	Cume	270.00	199.74	Cume	328	-0.941223162	0	0.848048096	
A38	17:00	12.50	54.40	977.00	1.31	4.70	399.11	53.90	274.00	312.76	132.76	320.00	270.00	141.24	314	4	-0.77974244	0.69465837	0.99756405	
A39	16:00	13.60	49.50	941.80	1.11	4.00	699.32	18.46	242.00	137.12	317.12	Cume	270.00	284.88	Cume	332	0.256829248	0	0.882947593	
A4	13:22	17.60	39.20	965.50	0.92	3.30	502.30	43.80	6.00	129.53	309.53	340.00	270.00	56.47	26	96	0.552329779	0.898794046	-0.104528463	
A40	12:51	20.20	36.20	932.30	0.75	2.70	850.00	16.65	171.00	261.01	81.01	Cume	270.00	89.99	Cume	261	0.000122173	0	-0.156434465	
A41	15:10	16.20	45.60	937.70	0.69	2.50	800.88	39.07	254.00	74.43	254.43	320.00	270.00	359.57	294	344	0.999972308	0.406736643	0.961261696	
A42	15:42	16.00	53.90	948.90	0.56	2.00	700.83	35.38	75.00	0.35	180.35	75.00	270.00	254.65	0	165	-0.26477349	1	-0.965925826	
A43	10:00	11.10	45.10	946.20	4.36	15.70	735.00	3.00	242.00	133.00	313.00	Cume	270.00	289.00	Cume	332	0.325568154	0	0.882947593	
A44	13:05	18.30	40.20	931.50	2.28	8.20	900.78	1.72	255.00	323.96	143.96	Cume	270.00	111.04	Cume	345	-0.358970548	0	0.965925826	
A5	14:05	19.30	30.10	945.30	1.33	4.80	700.90	21.65	20.00	237.77	57.77	355.00	270.00	322.23	25	110	0.790497144	0.906307787	-0.342020143	
A6	10:47	22.00	37.00	985.40	0.75	2.70	399.61	29.92	332.00	48.04	228.04	328.00	270.00	103.96	4	62	-0.241324029	0.99756405	0.469471563	
A7	13:30	19.40	37.60	977.40	1.14	4.10	402.91	67.37	59.00	151.85	331.85	75.00	270.00	87.15	344	149	0.049669081	0.961261696	-0.857167301	
A8	16:00	18.60	46.30	958.70	0.56	2.00	598.54	57.13	27.00	270.54	90.54	75.00	270.00	296.46	312	117	0.44555753	0.669130606	-0.4539905	
A9	12:30	20.00	30.00	968.10	0.56	2.00	496.90	74.30	81.00	285.93	105.93	75.00	270.00	335.07	6	171	0.906794077	0.994521895	-0.987688341	
Min:	07:56	8.50	30.00	929.20	0.31															
Máx:	17:10	22.30	66.90	1018.00	4.36															
Média		Média	Média	Média	Média															
		17.35	42.59	974.39	1.11															

Exposição	11
Vale	17
Geral	10
Nulo	6
Soma	44

Cos < -0,7 e > 0,7 ■ Sem relação
 Cos positivo >0,7 ■ Vento sobe
 Cos negativo < -0,7 ■ Vento desce

Análise de vento norte - 20 de fevereiro

Coseno do ângulo formado entre o vetor vento e os restante vetores

Ponto	Hora	Temp °C	H.R. %	Pressão hPa	Velocidade (m/s)	Velocidade (Km/h)	Cota	Declive %	Rumo vento (°)	Exposição (°)	Exposição mais 180°	Orientação do vale (°)	Rumo do vento geral (°)	Ângulo rumo-exposição (°)	Ângulo rumo-vale (°)	Ângulo rumo-veto geral (°)	Correlação exposição	Correlação vale	Correlação com o vento geral
A1	09:40	16.90	45.60	960.80	0.61	2.2	500.46	35.75	67	239.11	59.11	63.00	180.00	7.89	4.00	247.00	0.99756405	0.99756405	-0.390731128
A10	12:12	18.30	46.10	919.10	1.17	4.2	599.49	73.63	42	208.24	28.24	25.00	180.00	13.76	17.00	222.00	0.971292295	0.956304756	-0.743144825
A11	11:49	20.00	38.00	960.10	1.14	4.1	639.35	77.90	62	249.05	69.05	40.00	180.00	352.95	22.00	242.00	0.992428724	0.927183855	-0.469471563
A12	13:10	16.10	57.30	958.90	1.67	6	854.64	21.13	205	176.67	356.67	Cume	180.00	208.33	Cume	25.00	-0.880253881	0	0.906307787
A13	14:00	15.90	53.60	993.70	0.94	3.4	501.05	39.38	349	99.41	279.41	10.00	180.00	69.59	339.00	169.00	0.34879609	0.933580426	-0.981627183
A14	17:35	16.40	48.00	994.30	1.00	3.6	502.78	50.22	112	53.66	233.66	320.00	180.00	238.34	152.00	292.00	-0.524907238	-0.882947593	0.374606593
A15	18:21	16.00	54.30	957.30	0.61	2.2	199.13	22.59	90	2.05	182.05	320.00	180.00	267.95	130.00	270.00	-0.035812257	-0.64278761	-1.83772E-16
A16	18:10	21.70	45.10	971.30	0.86	3.1	198.18	42.46	184	59.19	239.19	15.00	180.00	304.81	169.00	4.00	0.570925662	-0.981627183	0.99756405
A17	17:46	18.10	44.50	993.20	2.25	8.1	502.49	45.31	346	53.40	233.40	15.00	180.00	112.60	331.00	166.00	-0.384277596	0.874619707	-0.970295726
A18	14:21	19.60	44.20	981.20	0.92	3.3	399.93	57.62	81	208.93	28.93	90.00	180.00	52.07	351.00	261.00	0.61467066	0.987688341	-0.156434465
A19	16:19	13.20	65.00	993.80	0.50	1.8	200.43	11.31	268	96.35	276.35	90.00	180.00	351.65	178.00	88.00	0.989404507	-0.999390827	0.034899497
A2	11:10	16.00	76.10	988.70	0.86	3.1	736.21	24.44	149	198.87	18.87	Cume	180.00	130.13	Cume	329.00	-0.644510679	0	0.857167301
A20	16:12	16.20	52.60	973.80	0.58	2.1	300.10	42.79	153	227.49	47.49	328.00	180.00	105.51	185.00	333.00	-0.26732255	-0.996194698	0.891006524
A21	20:10	16.60	46.50	927.20	0.83	3	198.55	40.95	239	108.01	288.01	90.00	180.00	310.99	149.00	59.00	0.655966769	-0.857167301	0.515038075
A22	14:58	15.10	57.00	1005.00	1.36	4.9	235.78	36.56	174	201.88	21.88	328.00	180.00	152.12	206.00	354.00	-0.88392078	-0.898794046	0.994521895
A23	08:47	19.60	44.10	932.60	0.81	2.9	399.01	73.45	32	174.45	354.45	75.00	180.00	37.55	317.00	212.00	0.792768684	0.731353702	-0.848048096
A24	10:05	18.10	48.40	958.20	2.97	10.7	800.02	5.16	175	9.10	189.10	Cume	180.00	345.90	Cume	355.00	0.969883452	Sem dados	0.996194698
A25	08:00	14.90	55.60	1003.00	1.25	4.5	121.69	22.33	0.9	96.45	276.45	90.00	180.00	84.45	270.90	180.90	0.096667525	0.015707317	-0.999876632
A26	08:11	14.30	54.20	1007.00	0.72	2.6	142.98	11.90	246	106.46	286.46	90.00	180.00	319.54	156.00	66.00	0.76087051	-0.913545458	0.406736643
A27	08:20	13.50	63.00	997.80	1.14	4.1	99.40	46.86	255	280.19	100.19	90.00	180.00	154.81	165.00	75.00	-0.904879115	-0.965925826	0.258819045
A28	20:19	13.70	66.50	998.50	1.08	3.9	165.80	21.23	273	343.84	163.84	90.00	180.00	109.16	183.00	93.00	-0.328174121	-0.998629535	-0.052335956
A29	20:35	13.80	59.60	997.20	0.33	1.2	179.08	55.88	130	259.01	79.01	340.00	180.00	50.99	150.00	310.00	0.629388274	-0.866025404	0.64278761
A3	15:35	20.00	41.90	935.50	1.03	3.7	598.86	39.59	125	144.34	324.34	25.00	180.00	160.66	100.00	305.00	-0.943587285	-0.173648178	0.573576436
A30	20:02	12.50	62.60	972.00	1.08	3.9	170.96	45.58	331	30.56	210.56	90.00	180.00	120.44	241.00	151.00	-0.506664383	-0.48480962	-0.874619707
A31	20:44	12.20	68.30	1008.00	0.78	2.8	399.40	55.62	63	61.17	241.17	90.00	180.00	181.83	333.00	243.00	-0.999489755	0.891006524	-0.4539905
A32	20:12	16.60	52.00	953.80	0.81	2.9	76.09	17.39	235	248.85	68.85	90.00	180.00	166.15	145.00	55.00	-0.970904875	-0.819152044	0.573576436
A33	09:43	17.10	44.20	981.60	0.83	3	560.00	25.40	30	263.60	83.60	85.00	180.00	306.40	305.00	210.00	0.593376786	0.573576436	-0.866025404
A34	09:30	15.90	55.30	990.30	0.83	3	326.99	14.76	18	356.03	176.03	335.00	180.00	201.97	43.00	198.00	-0.927405965	0.731353702	-0.951056516
A35	08:30	13.80	57.20	981.70	0.75	2.7	255.79	16.04	335	124.14	304.14	328.00	180.00	30.86	7.00	155.00	0.858378469	0.992546152	-0.906307787
A36	19:32	12.70	53.30	941.90	1.11	4	301.83	60.98	161	229.62	49.62	320.00	180.00	111.38	201.00	341.00	-0.364535474	-0.933580426	0.945518576
A37	18:44	13.10	56.50	968.10	0.58	2.1	652.28	17.39	171	218.26	38.26	Cume	180.00	132.74	Cume	351.00	-0.678698264	0	0.987688341
A38	19:10	16.20	51.70	935.40	0.89	3.2	399.11	53.90	159	312.76	132.76	320.00	180.00	26.24	199.00	339.00	0.896973074	-0.945518576	0.933580426
A39	17:15	12.60	54.50	921.40	0.72	2.6	699.32	18.46	178	137.12	317.12	Cume	180.00	220.88	Cume	358.00	-0.756059082	0	0.999390827
A4	15:16	15.80	52.70	973.70	0.33	1.2	502.30	43.80	353	129.53	309.53	340.00	180.00	43.47	13.00	173.00	0.725698583	0.974370065	-0.992546152
A40	10:37	16.00	46.10	927.50	2.78	10	850.00	16.65	228	261.01	81.01	Cume	180.00	146.99	Cume	48.00	-0.838604021	0	0.669130606
A41	12:48	16.50	45.80	947.60	0.97	3.5	800.88	39.07	152	74.43	254.43	320.00	180.00	257.57	192.00	332.00	-0.21518531	-0.978147601	0.882947593
A42	13:26	18.70	51.10	936.30	1.56	5.6	700.83	35.38	44	0.35	180.35	75.00	180.00	223.65	329.00	224.00	-0.72361187	0.857167301	-0.7193398
A43	20:48	11.50	58.10	934.70	4.11	14.8	735.00	3.00	182	133.00	313.00	Cume	180.00	229.00	Cume	2.00	-0.656059029	0	0.999390827
A44	10:25	11.90	58.90	915.70	3.50	12.6	900.78	1.72	178	323.96	143.96	Cume	180.00	34.04	Cume	358.00	0.828676413	0	0.999390827
A5	11:36	18.20	45.30	970.00	1.25	4.5	700.90	21.65	177	237.77	57.77	355.00	180.00	119.23	182.00	357.00	-0.488347033	-0.999390827	0.998629535
A6	09:00	19.10	42.00	948.40	0.97	3.5	399.61	29.92	318	48.04	228.04	328.00	180.00	89.96	350.00	138.00	0.000616122	0.984807753	-0.743144825
A7	15:52	20.10	44.20	958.40	0.56	2	402.91	67.37	202	151.85	331.85	75.00	180.00	230.15	127.00	22.00	-0.640739712	-0.601815023	0.927183855
A8	13:33	18.70	48.10	944.50	1.06	3.8	598.54	57.13	60	270.54	90.54	75.00	180.00	329.46	345.00	240.00	0.861265885	0.965925826	-0.5
A9	14:35	20.60	48.60	945.20	1.19	4.3	496.90	74.30	42	285.93	105.93	75.00	180.00	296.07	327.00	222.00	0.439406341	0.838670568	-0.743144825

Min:	08:00	11.50	38.00	915.70	0.33
Máx:	20:48	21.70	76.10	1008.00	4.11
		Média	Média	Média	Média
		16.22	52.36	965.10	1.17

Exposição	7
Vale	18
Geral	18
Nulo	1
Soma	44

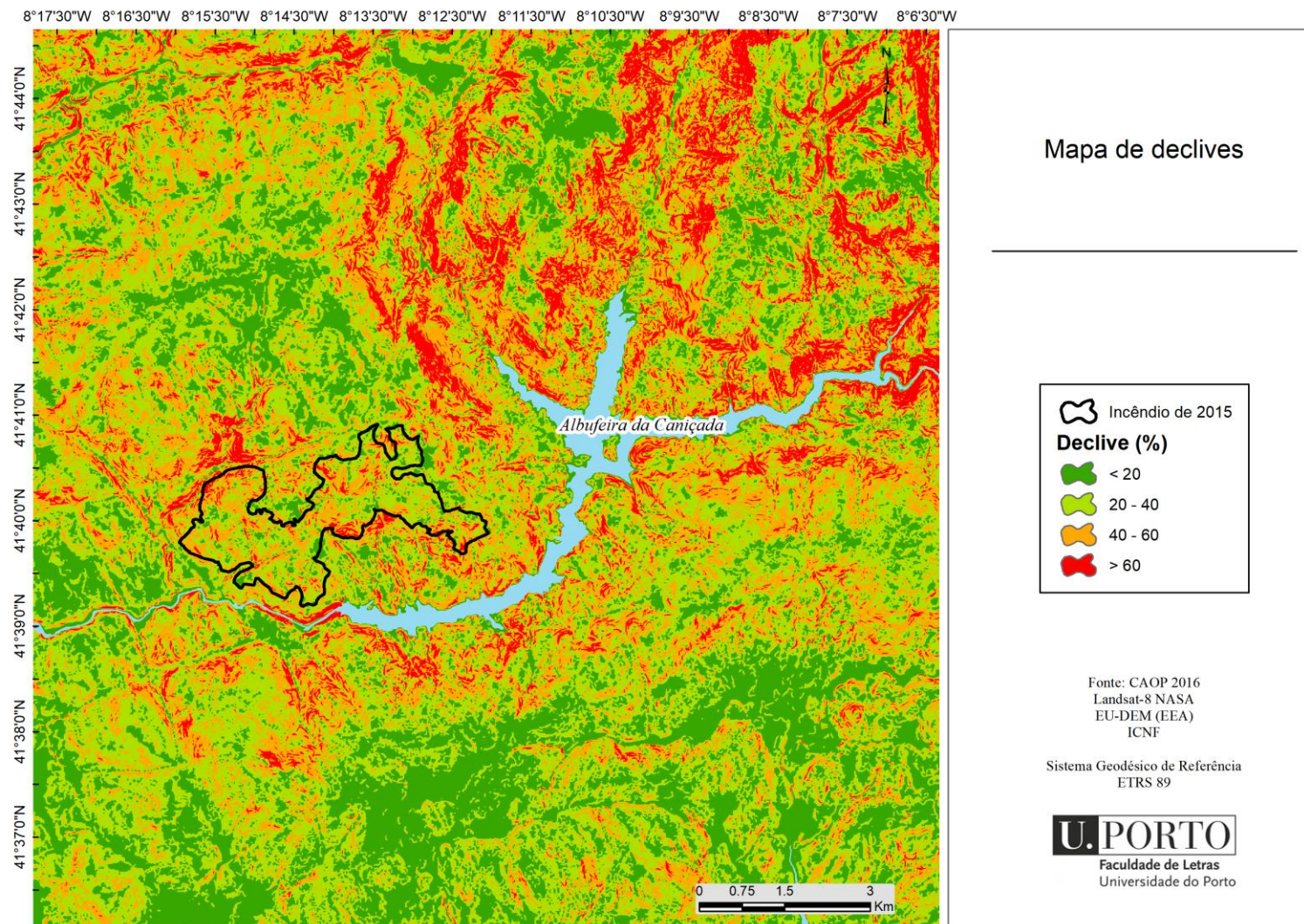
Cos < -0,7 e > 0,7 Sem relação
 Cos positivo Vento sobe
 Cos negativo Vento desce

Anexo VI - Severidade do incêndio de 2015

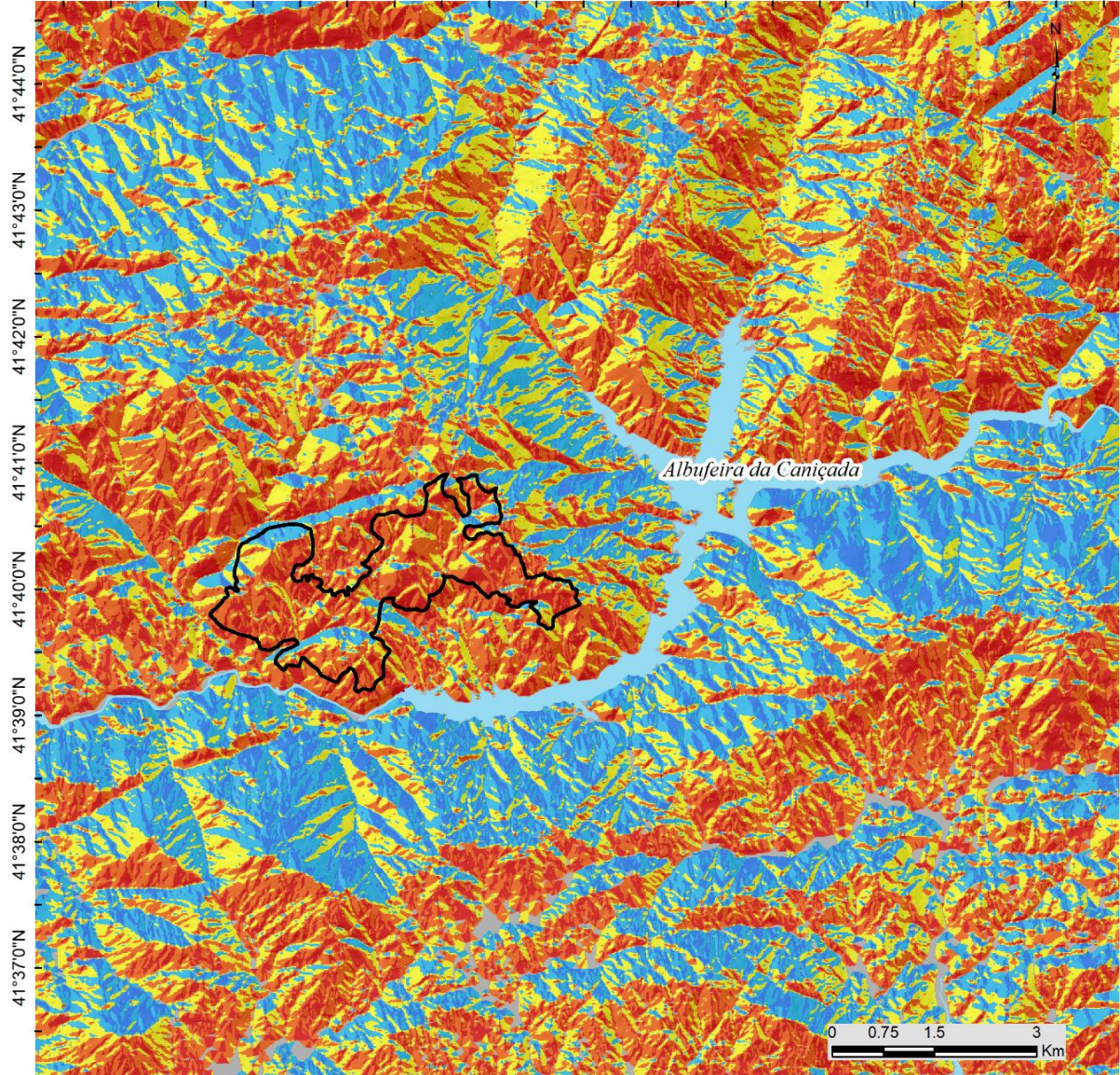
Severidade do incêndio de 2015 e ocupação do solo

Severidade	Coberto	Área ha	Área (%)
Queima de severidade baixa	Tecido Urbano	0.13	0.02
Não queimado		0.14	0.02
Alta regeneração pós fogo		0.04	0.01
Baixa regeneração pós fogo		0.13	0.02
Baixa regeneração pós fogo	Culturas	0.05	0.01
Alta regeneração pós fogo		0.03	0.01
Não queimado		0.22	0.03
Queima de severidade baixa		0.47	0.07
Alta regeneração pós fogo	Agricultura	0.40	0.06
Baixa regeneração pós fogo		0.42	0.06
Queima de severidade baixa		0.13	0.02
Não queimado		3.15	0.48
Baixa regeneração pós fogo	Floresta	13.92	2.12
Não queimado		177.85	27.05
Alta regeneração pós fogo		8.98	1.37
Queima de severidade baixa		78.14	11.89
Queima de severidade moderada a baixa		0.24	0.04
Baixa regeneração pós fogo	Floresta aberta, arbustivas e herbáceas	3.52	0.54
Não queimado		66.01	10.04
Queima de severidade moderada a baixa		0.36	0.05
Alta regeneração pós fogo		5.60	0.85
Queima de severidade baixa		169.20	25.74
Baixa regeneração pós fogo	Zonas descobertas com pouca vegetação	1.17	0.18
Não queimado		32.77	4.99
Alta regeneração pós fogo		0.74	0.11
Queima de severidade baixa		93.50	14.22
Queima de severidade moderada a baixa		0.06	0.01
Queima de severidade moderada	Valores nulos	0.00	0.00
Queima de severidade elevada		0.00	0.00
		657.39	100.00

Anexo VII - Mapas de apoio



8°17'30"W 8°16'30"W 8°15'30"W 8°14'30"W 8°13'30"W 8°12'30"W 8°11'30"W 8°10'30"W 8°9'30"W 8°8'30"W 8°7'30"W 8°6'30"W



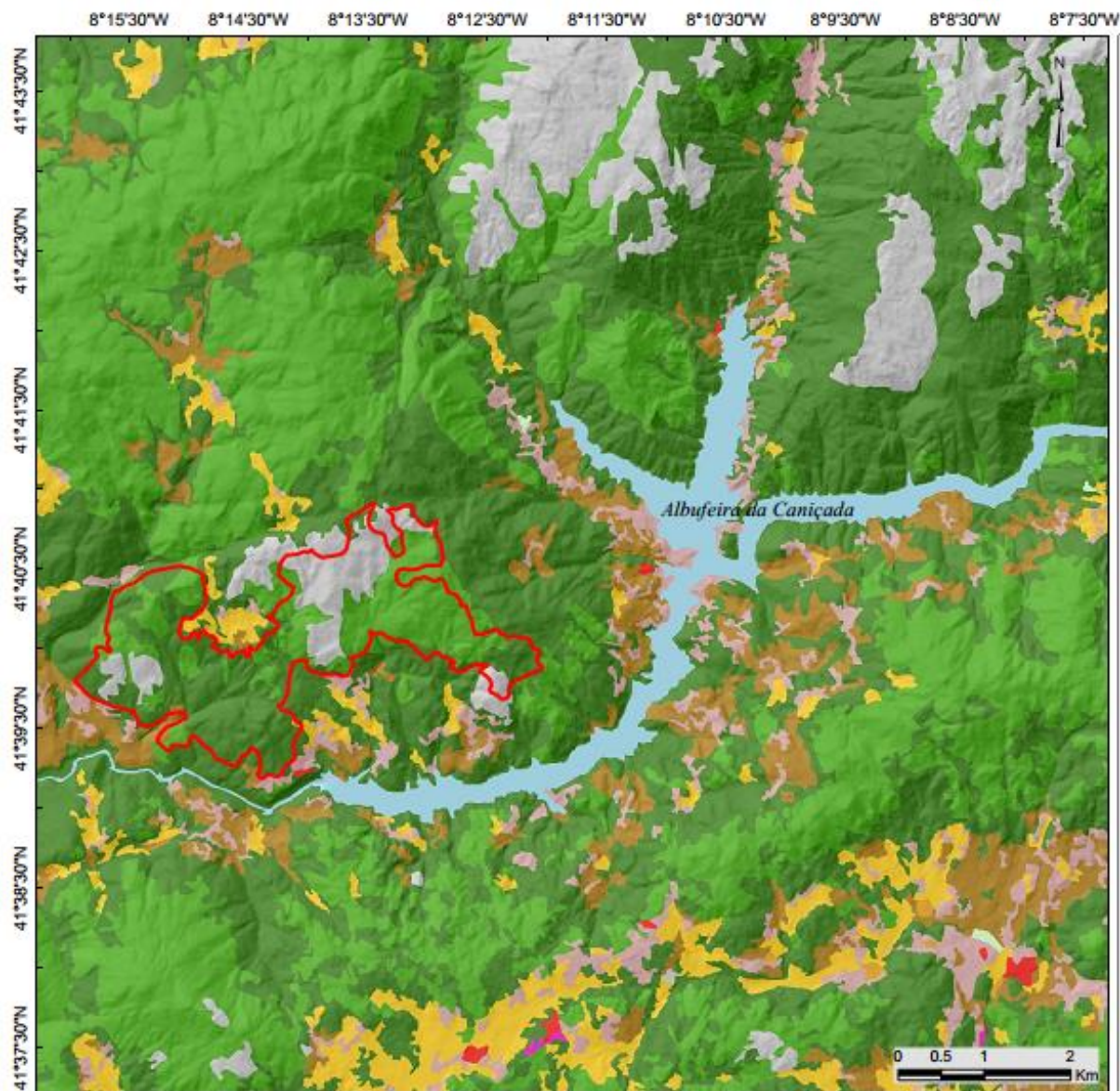
Mapa de exposições



Fonte: CAOP 2016
Landsat-8 NASA
EU-DEM (EEA)

Sistema Geodésico de Referência
ETRS 89





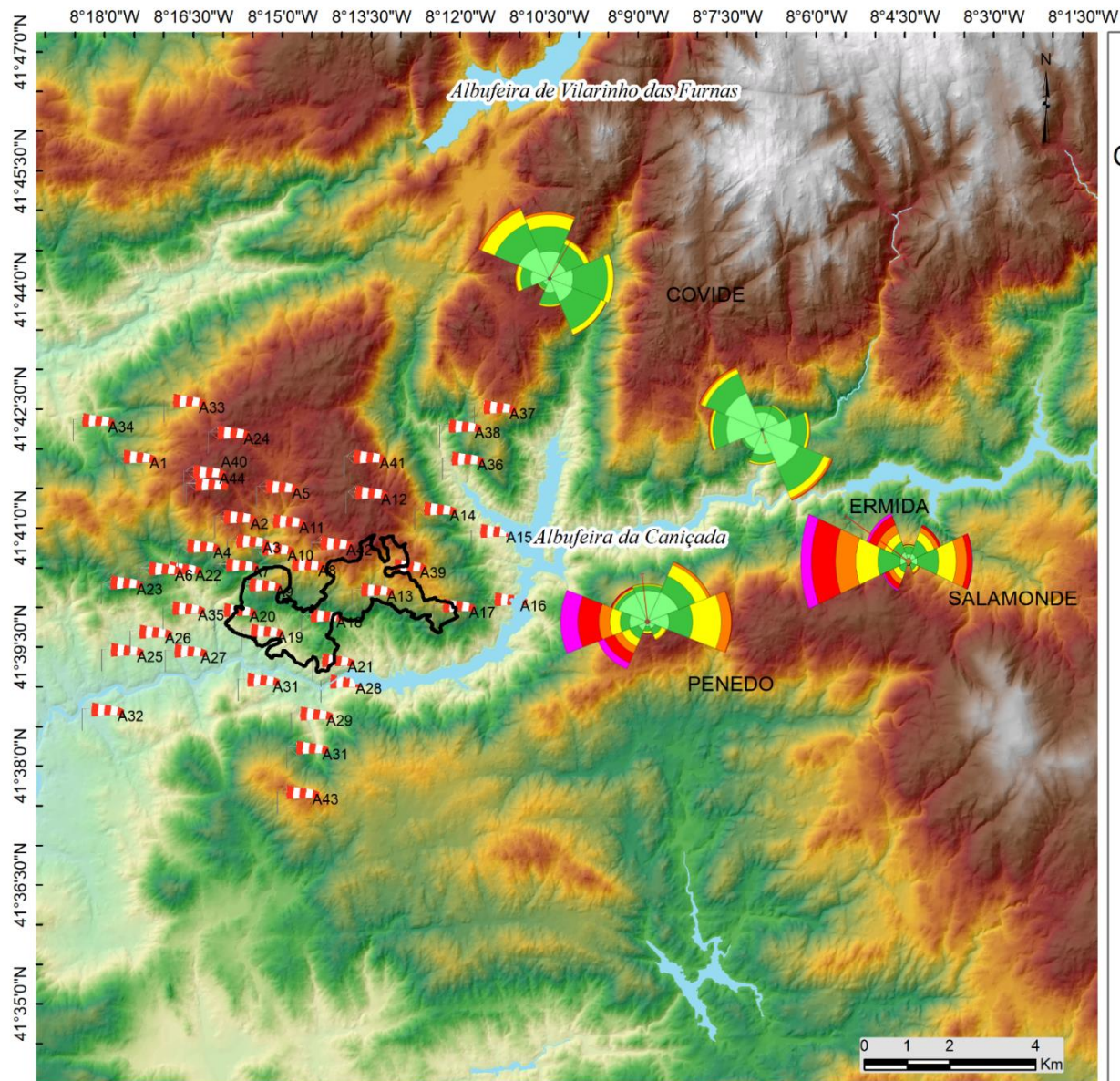
Ocupação do solo na área de estudo



Fonte: CAOP 2016
Landsat-8 NASA
EU-DEM (EEA)
ICNF

Sistema Geodésico de Referência
ETRS 89

U. PORTO
Faculdade de Letras
Universidade do Porto



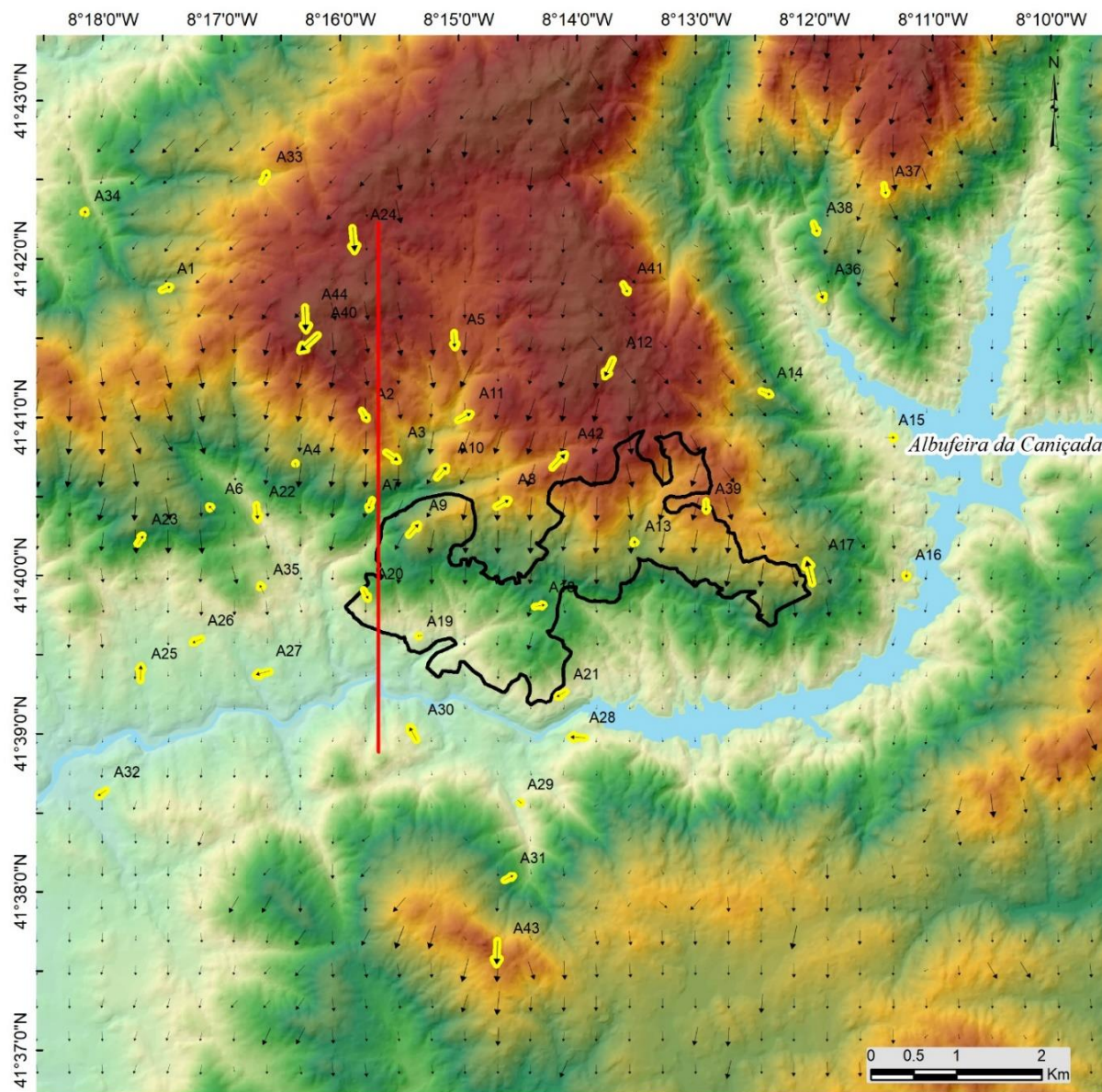
Observações de vento a 10 metros (2004 - 2017)



Fonte: CAOP 2016
 Landsat-8 NASA
 EU-DEM (EEA)
 SNIRH

Sistema Geodésico de Referência
 ETRS 89

U. PORTO
 Faculdade de Letras
 Universidade do Porto



Observações e modelação em WindNimja (vento de norte)

Incêndio de 2015

Observações a 2 m

Velocidade (m/s)

- 0.3 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 1.5
- 1.5 - 2.2
- 2.2 - 4.1

Modelação a 2 m

Velocidade (m/s)

- 0.2 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 7.0
- 7.0 - 9.7

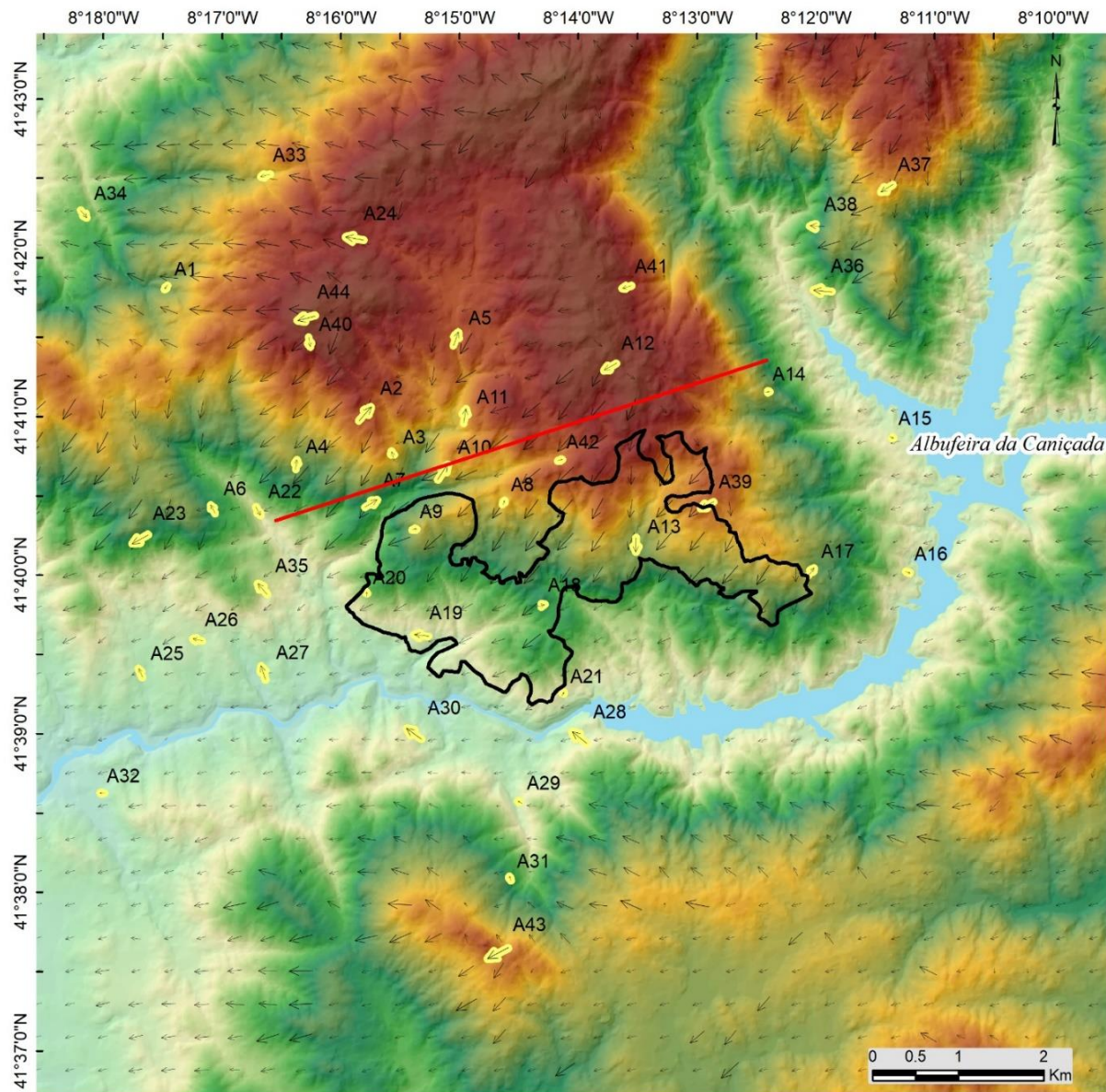
Linha do corte topográfico

Fonte: CAOP 2016
Landsat-8 NASA
EU-DEM (EEA)
ICNF

Sistema Geodésico de Referência
ETRS 89

U.PORTO

Faculdade de Letras
Universidade do Porto



Observações e modelação em WindNimja (vento de leste)



Fonte: CAOP 2016
 Landsat-8 NASA
 EU-DEM (EEA)
 ICNF

Sistema Geodésico de Referência
 ETRS 89

U.PORTO
 Faculdade de Letras
 Universidade do Porto