FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Fátima do Rosário Magalhães Matos

Mestrado de Riscos, Cidades e Ordenamento do Território

Estudo comparativo do desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal

2012

Orientador: Professor Doutor Carlos Bateira

Coorientador: Professor Doutor Domingos Xavier Viegas

Classificação: Ciclo de estudos:

Dissertação/relatório/Projeto/IPP:

Versão definitiva

“Arabescos luminosos, vermelhos, amarelos com reflexos e franjas violáceas verdes-celestes, que dentro do triste bosque entrelaçam bizarras simetrias; (…) folhagens carbonizadas, esparsas e suspensas por entre o fumo que aqui e além, mais ou menos espesso, mais ou menos ténue, vela o extraordinário espectáculo”.

M. Soldati

Agradecimentos

Este trabalho é fruto da colaboração de várias pessoas, por diferentes razões e, em particular, gostaria de agradecer:

Ao Prof. Doutor Carlos Bateira, por ter aceite a orientação e pela disponibilidade demonstrada e observações realizadas ao longo da concretização desta dissertação.

Ao Prof. Doutor Domingos Xavier Viegas, por ter aceite a coorientação, pela disponibilidade e recetividade demonstrada e pela cedência de material bibliográfico relevante na elaboração da dissertação.

Ao Instituto de Meteorologia, em particular à Dra. Teresa Abrantes e Dra. Lourdes Bugalho, pelo empenho em facultar os dados de que dispunham, contribuindo fortemente para a realização deste trabalho. Um agradecimento especial à Dra. Lourdes Bugalho pela explicação do ICRIF e disponibilidade sempre demonstrada no esclarecimento de dúvidas durante o trabalho.

Ao Departamento de Geografia e a todos os professores que contribuíram para "saciar a minha sede" de conhecimentos da Ciência Geográfica ao longo desta caminhada.

À Mónica Santos e ao Luciano Martins pela cedência de informação e esclarecimento dos métodos de interpolação e transmissão de conhecimentos no âmbito dos SIG e sugestões na elaboração da cartografia.

Ao Manuel Teixeira e António Costa pela disponibilidade demonstrada e pelo apoio prestado em determinadas situações durante a elaboração da dissertação.

Aos amigos, Ana Silva e João Lucas, pela amizade, companheirismo, estímulo revelado e pelos momentos partilhados ao longo do mestrado, e à Maria Moreira, pela disponibilidade demonstrada e contributo cedido em vários momentos.

Aos amigos, em particular a Ana Costa, Andreia Fecha, Daniela Rodrigues, Romina Oliveira e Ana Figueira, pela amizade, compreensão, entreajuda, companheirismo, pelo apoio prestado nos momentos mais difíceis, pelas palavras amigas e de incentivo e por partilhar todos os meus desafogos e inseguranças, ao longo do meu percurso académico.

Aos meus pais por terem concedido a estrutura necessária para alcançar o final desta meta, e às minhas irmãs, que sempre me apoiaram e incentivaram nos momentos mais difíceis, dando muita força para encarar todos os obstáculos. Finalmente, às minhas sobrinhas, as estrelinhas da minha vida. A eles dedico esta minha dissertação.

A todos, anteriormente referidos ou não, que de uma forma ou outra colaboraram para a concretização desta dissertação, o meu muito obrigada.

Resumo

A meteorologia tem um papel decisivo na deflagração e comportamento de um incêndio, embora na sua maioria resultem da intervenção humana. Os diferentes modelos de avaliação de perigosidade de incêndio florestal constituem um instrumento relevante no âmbito das ações de prevenção e combate aos incêndios. Com base em parâmetros dinâmicos e estruturais, é possível tomar decisões a fim de minimizar o risco potencial dos incêndios.

A investigação tem como principal objetivo comparar o desempenho de cinco índices de perigosidade de incêndio florestal, fundamentados principalmente em parâmetros dinâmicos (humidade relativa, temperatura do ar, precipitação, vento), e também estruturais (tipo de coberto do solo, estado da vegetação). Os índices selecionados foram o Índice Português (IP), o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF), o *Italian Fire Danger Index* (IFDI), o Sistema de Indexação Canadiano *Fire Weather Index* (FWI) e o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF).

Os índices dinâmicos (IP, IRDIF, IFDI e FWI) foram processados com recurso ao método de interpolação, em função do inverso da distância. Já o índice integrado (ICRIF) foi calculado através da combinação ponderada dos parâmetros que incorpora (índice meteorológico FWI, ocupação do solo e índice de vegetação NDVI). Os referidos índices foram testados tendo-se utilizado a base de dados das ocorrências de incêndios e as áreas ardidas para os diferentes episódios, na Região Centro de Portugal.

A validação deste estudo teve como base a análise espacial e estatística do desempenho dos vários métodos. Entre os vários índices analisados nesta investigação, *Fire Weather Index* demonstrou o melhor desempenho e o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal evidenciou piores resultados, no conjunto dos índices baseados somente em parâmetros meteorológicos. O Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal, que integra variáveis dinâmicas e estruturais, revelou um desempenho considerável na maioria dos episódios, apresentando, porém, um resultado desfavorável nos outros episódios.

Palavras-chave: Incêndio florestal, Índices de perigosidade de incêndio, Meteorologia, Métodos de interpolação espacial.

Abstract

The weather plays a decisive role in the initiation and conduct of the forest fire, although most of them are the result of human intervention. The different models of fire hazard assessment constitute a relevant aspect in the context of forest fires' prevention and fighting. Based on some meteorological parameters and other structural variables, you can make decisions to minimize the potential risk of fire.

The study aims compare the performance of five levels of risk of the forest fire, based primarily on dynamic parameters (relative humidity, air temperature, precipitation, wind), and also structural variables (type of soil cover, state of plants). The selected indexes were the Portuguese Index (PI), the Forest Fire Risk Index Outbreak (IRDIF), the Italian Fire Danger Index (IFDI), the Index System Canadian Fire Weather Index (FWI) and the Forest Fire Risk Index (ICRIF).

The dynamic indices (IP, IRDIF, IFDI and FWI) were processed using the method of spatial interpolation, the inverse distance weigthed. The integrated index (ICRIF) was calculated using the weighted combination of the parameters that incorporates index (FWI weather, land use and vegetation index NDVI). These were tested using a database of occurrences of forest fires and burnt areas for the different episodes in the Central Region of Portugal.

The validation of this study was evaluated based on the spatial analysis and statistical methods of the various performances. Among the various indices analyzed in this investigation, and Fire Weather Index showed the best performance and the Risk Index for Forest Fire Outbreak showed worse results, the set of indices based only on meteorological parameters. The Forest Fire Risk Index, integrating dynamic variables and structural, showed a considerable performance for most episodes, presenting, however, an unfavorable outcome in other episodes.

Keywords: Forest fire, Fire danger index, Meteorology, Spatial interpolation methods.

Índice geral

Agradecimentos ..... **V**
Resumo ..... **VII**
Abstract ..... **IX**
Índice geral ..... **XI**
Índice de figuras ..... **XII**
Índice de quadros ..... **XV**
Acrónimos ..... **XVII**
Introdução **21**
Enquadramento geral do tema 21
Objetivos da investigação 23
Estrutura da dissertação 23
Capítulo 1. Abordagem Conceptual **27**
1.1. Fogos e incêndios florestais 27
1.1.1. Causas dos incêndios florestais 28
1.1.2. Fatores ambientais determinantes na ignição e propagação do fogo 29
1.2. Modelo conceptual de risco de incêndio florestal 31
1.3. Metodologias existentes no âmbito da avaliação de risco de incêndio 33
1.3.1. Índices dinâmicos ou de curto prazo 36
1.3.2. Índices estruturais ou de longo prazo 38
1.3.3. Índices integrados ou avançados 39
1.4. Índices associados à gestão de risco de incêndio utilizados em Portugal 39
1.5. Índices associados à gestão de risco de incêndio utilizados em vários países 42
Capítulo 2. Enquadramento da área de estudo e metodologia de trabalho **49**
2.1. Enquadramento geográfico 49
2.2. Recolha da informação e metodologia de trabalho 54
2.3. Índices de incêndio florestal utilizados 61
2.3.1. Canadian Forest Fire Weather Index System 61
2.3.2. Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal 69
2.3.3. Índice Português 69
2.3.4. Italian Fire Danger Index 70
2.3.5. Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal 71
Capítulo 3. Produção de modelos de interpolação espacial de perigosidade de incêndio **77**
3.1. Métodos de interpolação espacial 77
3.2. Características dos métodos de interpolação espacial 81
3.3. Medidas de avaliação dos resultados dos métodos de interpolação espacial . 82
3.4. Análise comparativa dos resultados obtidos pelos diferentes métodos de interpolação espacial nos vários episódios 85
3.5. Síntese conclusiva da aplicação dos métodos de interpolação 121
Capítulo 4. Análise e discussão dos resultados **125**
4.1. Avaliação de perigosidade de incêndio e distribuição espacial da área ardida e ocorrências de incêndios em vários episódios 125

4.1.1. Análise dos índices dinâmicos (FWI, IFDI, IRDIF e IP)..... 125
4.1.2. Análise do índice integrado (ICRIF)..... 168
4.1.3. Conclusões dos resultados obtidos dos índices de perigosidade de incêndio 182
4.2. Algumas evidências sobre a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios: as condições naturais e a influência humana..... 184
Considerações finais.....189
Referências bibliográficas.....195
Anexos.....203

Anexo I - Sistematização dos índices associados à gestão de risco de incêndio florestal.....205
Anexo II - Figuras 217
Anexo III - Quadros.....221
Anexo IV - Quadro de avaliação do desempenho dos índices de perigosidade, por cada episódio.....231

Índice de figuras

Figura 1.1 - Representação simplificada das causas dos incêndios florestais de acordo com a classificação da AFN. 28
Figura 1.2 - Quadrado do fogo. 31
Figura 1.3 - Componentes do modelo de risco. 32
Figura 2.1 - Enquadramento geográfico da área de estudo. 49
Figura 2.2 - Hipsometria da área de estudo. 50
Figura 2.3 - Temperatura média diária anual (1931-1960) da área de estudo..... 51
Figura 2.4 - Precipitação média anual da área de estudo, de 1931-1960. 52
Figura 2.5 - Ocupação do solo da área de estudo. 53
Figura 2.6 - Representação esquemática da metodologia adotada. 54
Figura 3.1 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 6 de março de 2002. 89
Figura 3.2 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de julho de 2003..... 95
Figura 3.3 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de agosto de 2003. 101
Figura 3.4 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os diferentes métodos de interpolação, no dia 27 de julho de 2004..... 105
Figura 3.5 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpola ção, no dia 20 de agosto de 2005..... 109
Figura 3.6 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 21 de agosto de 2005..... 113
Figura 3.7 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de outubro de 2005..... 119

Figura 4.1 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, ulizando o IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002. 127
Figura 4.2 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 6 de março de 2002. 130
Figura 4.3 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 6 de março de 2002. 130
Figura 4.4 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 6 de março de 2002. 130
Figura 4.5 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 6 de março de 2002. 130
Figura 4.6 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003..... 133
Figura 4.7 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de julho de 2003..... 136
Figura 4.8 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de julho de 2003..... 136
Figura 4.9 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de julho de 2003. 136
Figura 4.10 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de julho de 2003..... 136
Figura 4.11 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003. 139
Figura 4.12 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de agosto de 2003. 143
Figura 4.13 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de agosto de 2003..... 143
Figura 4.14 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de agosto de 2003. 143
Figura 4.15 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de agosto de 2003. 143
Figura 4.16 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004. 145
Figura 4.17 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 27 de julho de 2004. 149
Figura 4.18 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 27 de julho de 2004. 149
Figura 4.19 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 27 de julho de 2004. 149
Figura 4.20 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 27 de julho de 2004. 149

Figura 4.21 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005. 151
Figura 4.22 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 20 de agosto de 2005. 155
Figura 4.23 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 20 de agosto de 2005. 155
Figura 4.24 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 20 de agosto de 2005. 155
Figura 4.25 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 20 de agosto de 2005. 155
Figura 4.26 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005. 157
Figura 4.27 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 21 de agosto de 2005. 161
Figura 4.28 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 21 de agosto de 2005. 161
Figura 4.29 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 21 de agosto de 2005. 161
Figura 4.30 - Percentagem de área ardida e ocorrência pelas classes de perigosidade do IP no dia 21 de agosto de 2005. 161
Figura 4.31 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo o IDW, e a respetiva área ardida e ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005. 163
Figura 4.32 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de outubro de 2005. 167
Figura 4.33 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de outubro de 2005. 167
Figura 4.34 - Percentagem de área ardida e ocorrência pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de outubro de 2005. 167
Figura 4.35 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de outubro de 2005. 167
Figura 4.36 - ICRIF e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002. 168
Figura 4.37 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 6 de março de 2002. 169
Figura 4.38 - ICRIF e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003. 170
Figura 4.39 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de julho de 2003. 171
Figura 4.40 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003. 172
Figura 4.41 - Percentagem de área ardida e as ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de agosto de 2003. 173

Figura 4.42 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004. 174
Figura 4.43 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 27 de julho de 2004. 175
Figura 4.44 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005. 176
Figura 4.45 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 20 de agosto de 2005. 177
Figura 4.46 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005. 178
Figura 4.47 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 21 de agosto de 2005. 179
Figura 4.48 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005. 180
Figura 4.49 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de outubro de 2005. 181

Índice de quadros

Quadro 2.1 - Conjunto de episódios considerados na avaliação de perigo. 57
Quadro 2.2 - Medidas de avaliação e parâmetros de estatística descritiva considerados na comparação dos resultados obtidos por cada modelo. 59
Quadro 3.1 - Métodos de interpolação espacial. 78
Quadro 3.2 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 6 de março de 2002, segundo alguns métodos de interpolação. 86
Quadro 3.3 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 6 de março de 2002. 87
Quadro 3.4 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de julho de 2003, segundo alguns métodos de interpolação. 91
Quadro 3.5 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de julho de 2003. 92
Quadro 3.6 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de agosto de 2003, segundo alguns métodos de interpolação. 97
Quadro 3.7 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de agosto de 2003 99
Quadro 3.8 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 27 de julho de 2004, segundo alguns métodos de interpolação 103
Quadro 3.9 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 27 de julho de 2004. 104
Quadro 3.10 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 20 de agosto de 2005, segundo alguns métodos de interpolação. 107
Quadro 3.11 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 20 de agosto de 2005. 108

Quadro 3.12 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 21 de agosto de 2005, segundo alguns métodos de interpolação. 111
Quadro 3.13 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 21 de agosto de 2005..... 112
Quadro 3.14 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de outubro de 2005, segundo alguns métodos de interpolação. 115
Quadro 3.15 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de outubro de 2005..... 116
Quadro 4.1 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 6 de março de 2002. 129
Quadro 4.2 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de julho de 2003. 135
Quadro 4.3 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de agosto de 2003. 141
Quadro 4.4 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 27 de julho de 2004..... 147
Quadro 4.5 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 20 de agosto de 2005..... 153
Quadro 4.6 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 21 de agosto de 2005..... 159
Quadro 4.7 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de outubro de 2005..... 165
Quadro 4.8 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 6 de março de 2002..... 169
Quadro 4.9 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de julho de 2003..... 171
Quadro 4.10 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de agosto de 2003. 173
Quadro 4.11 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 27 de julho de 2004. 175
Quadro 4.12 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 20 de agosto de 2005. 177
Quadro 4.13 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 21 de agosto de 2005. 179
Quadro 4.14 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de outubro de 2005. 181
Quadro 4.15 - Avaliação dos índices de perigosidade de incêndio florestal de acordo com o seu desempenho nos diferentes episódios..... 182

Acrónimos

AFN - Autoridade Florestal Nacional
APIF - Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais
BEHAVE - *Behave Fine Fuel Moisture Content* (Sistema de Comportamento de Fogo)
BI - *Burning Index*
BUI - *Build Up Index* (Índice de combustível do fogo)
CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal
CKO - Cokrigagem Ordinária
CRCIF - Carta de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal
CRIF - Cartografia de Risco de Incêndio Florestal
CLC - *Corine Land Cover*
CNIG - Centro Nacional de Investigação Geográfica
DC - *Drought Code* (Índice de seca)
DEF/ISA - Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia
DGRF - Direção Geral de Recursos Florestais
DMC - *Duff Moisture Code* (Índice de humidade dos combustíveis grosseiros)
DFCI - Defesa da Floresta Contra Incêndios
EFFIS - *European Forest Fire Information System*
EAM - Erro Absoluto Médio
EM - Erro Médio
EAM% - Erro Percentual Absoluto Médio
EQM - Erro Quadrático Médio
ERQM - Erro Reduzido Quadrático Médio
ETRS 89 - *European Terrestrial Reference System*
ETP - Evapotranspiração potencial
FFMC - *Fine Fuel Moisture Code* (Índice do teor de humidade de combustíveis finos)
FMA - Fórmula de Monte Alegre
FMA+ - Fórmula de Monte Alegre Modificada
FFDM - *Forest Fire Danger Meter*
FMC - *Fuel Moisture Content* (Conteúdo de humidade dos combustíveis)
FPI - *Fire Potencial Index* (Índice de Potencial de Incêndio)
FWI - *Fire Weather Index* (Índice Meteorológico de Perigo de Incêndio)
FVC - Fração de cobertura do solo com vegetação
HI - Índice de Haines
ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
ICONA - *Instituto de Conservacion de la Naturaleza*
ICRIF - Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal
IDW - *Inverse Distance Weigthed* (Função do Inverso da Distância)
IFDI - *Italian Fire Danger Index*
IGEO - Instituto Geográfico do Exército
IGP - Instituto Geográfico Português
II - Índice de Ignição
IP - Índice de Propagação

IP - Índice Português
IRDIF - Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal
IREPI – *Indice di Reduzione Evapotraspirazionale per il Pericolo di Incendio*
ISI - *Initial Spread Index* (Índice de propagação inicial)
IM - Instituto de Meteorologia
INAG - Instituto da Água
INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
JRC - *Joint Research Center*
KO - Krigagem ordinária
LAI - Índice de área foliar
LASI - *Lower Atmosphere Severity Index*
LI - *Load Index*
MDT - Modelo Digital de Terreno
NDFRS - *National Fire Danger Rating System* (Índice Nacional de Deteção de Perigo de Incêndio)
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação de Diferença Normalizado)
OI - *Ocurrence Index*
PNDFCI - Plano Nacional de Defesa da Floresta contra os Incêndios Florestais
SIG - Sistemas de Informação Geográfica
SGIF - Sistema de Gestão de Incêndios Florestais
TM - *Thematic Mapper*

Introdução

Introdução

Enquadramento geral do tema

Os incêndios florestais são indiscutivelmente um dos riscos que mais relacionado está com o clima mediterrâneo. São considerados um dos maiores flagelos devido às graves consequências em termos sociais, económicos e ambientais que acarreta. Tal como outras regiões mediterrâneas, Portugal é dos países mais afetados pelos incêndios florestais. Segundo o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, desde de 1990 até à atualidade[1], registaram-se um total de 525.171 ocorrências de incêndios, que resultaram em 2.752.860 ha de área ardida nos espaços florestais.

Este panorama resulta da conjugação de vários fatores, quer sejam de origem humana, quer sejam de origem natural. Nos países mediterrâneos, o clima e a intervenção humana contribuem para uma maior incidência dos incêndios florestais. As temperaturas elevadas e a diminuição da precipitação durante o verão proporcionam o desenvolvimento da vegetação e a secura dos combustíveis, aumentando assim o seu grau de inflamabilidade. No que toca à intervenção humana, há que considerar as alterações socioeconómicas ocorridas nas áreas mais ruralizadas. Além do decréscimo populacional nas áreas rurais, com o consequente abandono das atividades agropecuárias, importantes áreas agrícolas vão sendo gradualmente abandonadas e ocupadas por vegetação natural, acumulando uma notável quantidade de biomassa inflamável. Para além disso, a deficiente gestão e conservação florestal e o aumento da utilização dos espaços florestais para fins recreativos contribuem também para um número elevado de incêndios florestais.

Neste contexto, torna-se evidente o desenvolvimento e a utilização de metodologias no âmbito da avaliação do risco de incêndio. Estas constituem um instrumento de apoio às atividades de prevenção e combate aos incêndios florestais. “A proteção das florestas contra o fogo começa com a prevenção. A melhor maneira de combater um incêndio é evitar que ele ocorra. Considerando que a grande maioria dos

[1] No ano de 2011, foram apenas consideradas as áreas ardidas e as ocorrências de incêndios até 31 de Outubro e para o ano decorrente somente até 30 de Maio.

incêndios florestais são provocados por ação antrópica, eles são, em sua maior parte, teoricamente evitáveis" (Soares, 1984, citado por Sampaio, 1999, p. 1).

É do conhecimento geral de que as condições meteorológicas influenciam nitidamente os incêndios florestais nas suas diferentes fases: deflagração, propagação e supressão. A perigosidade de incêndio, uma das componentes do risco, entendida como a *probabilidade de ocorrência, num determinado intervalo de tempo e dentro de uma determinada área* (Varnes, 1984, citado por Autoridade Florestal Nacional, 2012, p. 47), em resultado dos fatores variáveis, envolve em grande medida as condições meteorológicas e pode ser estimada, recorrendo a diversas metodologias. Estes métodos apresentam como resultado final o nível de perigosidade numa escala de cinco níveis.

Atualmente, existem diferentes metodologias de estimação de perigosidade de incêndio, fundamentadas essencialmente em parâmetros dinâmicos ou estruturais, que são utilizados por diversos países. Neste contexto, não se pretende aplicar a diversidade de métodos existentes. Porém, serão considerados neste estudo os seguintes índices: o Índice Português (IP), o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF), o *Italian Fire Danger Index* (IFDI), o Sistema de Indexação Canadiano *Fire Weather Index* (FWI) e o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF). Numa fase posterior, serão explanadas as razões que fundamentam a seleção dos aludidos índices.

A utilização de um determinado índice para uma determinada área necessita de, simultaneamente, considerar as características meteorológicas e os demais fatores biofísicos (topografia, combustível, ocupação do solo) e a atividade humana. Deve ainda ter em linha de conta, o regime dos incêndios e a estrutura organizativa de prevenção e combate de uma determinada região.

Esta dissertação tem por objetivo comparar o desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal, nos distritos que integram a Região Centro de Portugal. Este estudo específico pretende demonstrar espacialmente a perigosidade, estimada de acordo com os índices utilizados e a distribuição da área ardida e ocorrências de incêndios.

Objetivos da investigação

O objetivo central deste estudo assenta na comparação do desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal. Nesse sentido, procedeu-se à avaliação da sua eficiência com recurso a um conjunto de episódios, na Região Centro, privilegiando substancialmente as ferramentas ligadas aos Sistemas de Informação Geográfica.

Para o efeito, é fundamental a consideração de objetivos mais específicos, segundo os quais se procurará responder nos diferentes capítulos:

- comparação dos diversos métodos de interpolação espacial (em função do inverso da distância, krigagem e cokrigagem) com a finalidade de verificar a interpolação mais ajustada, no caso dos índices dinâmicos;

- confrontação dos resultados dos índices, nomeadamente o Índice Português (IP), o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF), o *Italian Fire Danger Index* (IFDI), o Sistema de Indexação Canadiano *Fire Weather Index* (FWI) e o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF), no sentido de avaliar o mais adequado ao conjunto dos episódios estudados;

- análise da área ardida e das ocorrências de incêndios florestais pelas diferentes classes de perigosidade dos índices.

Com o intuito de avaliar o desempenho dos índices, a investigação iniciou-se com a seleção dos índices de perigosidade e os respetivos cálculos e elaborou-se a cartografia, utilizando os métodos de interpolação espacial, validando-os com a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade.

Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em várias partes de modo a apresentar uma estrutura consequente entre as diferentes etapas, começando com uma introdução e enquadramento temático geral, a revisão teórica e metodológica (capítulo 1 e 2), a descrição e aplicação dos métodos de interpolação espacial (capítulo 3), a análise dos resultados e discussão dos mesmos (capítulo 4) e as conclusões.

A parte inicial corresponde a um enquadramento geral do tema e delineação dos principais objetivos que nortearam este estudo.

O primeiro capítulo, de cariz teórico, resulta de uma pesquisa, seleção e leitura de referências bibliográficas consideradas pertinentes no âmbito da elaboração do enquadramento teórico do tema de investigação. Evidentemente que a concretização

deste trabalho implicou o conhecimento de diferentes estudos aplicados à realidade nacional e internacional, visando estabelecer o estado da arte sobre os vários aspetos relativos aos incêndios florestais e métodos de avaliação das diferentes componentes de risco utilizadas na prevenção e mitigação de fogos florestais. De uma forma breve, procurou-se abordar e resumir os diferentes tópicos considerados relevantes neste estudo: os incêndios florestais, dando especial enfoque às suas causas e aos fatores ambientais, os índices e as diferentes metodologias existentes no âmbito da avaliação das componentes de risco de incêndio florestal.

No segundo capítulo, é apresentado um breve enquadramento da área de estudo, dando relevo particularmente aos aspetos biofísicos que caracterizam o território. Seguidamente, é exposto o processo metodológico empregue nesta dissertação, procurando, assim, esclarecer as diferentes etapas do percurso, traçando os aspetos relacionados com a aquisição, processamento e tratamento da informação geográfica, bem como a descriminação dos procedimentos utilizados, demonstrando constantemente as opções tomadas e a fundamentação das mesmas. Do mesmo modo, são descritos os índices de perigosidade utilizados.

O terceiro capítulo é dedicado a uma revisão dos modelos de interpolação espacial e dos critérios de avaliação destinados à comparação das estimativas produzidas pelos mesmos, demonstrando também a sua aplicação aos incêndios florestais. Neste capítulo serão comparadas diferentes técnicas de interpolação e apresentada a cartografia resultante.

O quarto capítulo, seguindo uma perspetiva geográfica, aborda o estudo dos índices dinâmicos e integrado, procedendo à análise e discussão dos resultados derivados da observação espacial, sempre com recurso a métodos estatísticos e cartográficos, privilegiando-se fortemente a componente espacial.

Por último, far-se-ão as considerações finais resultantes da realização do trabalho, bem como algumas recomendações de desenvolvimento futuro.

Capítulo 1
Abordagem Conceptual

Capítulo 1. Abordagem Conceptual

1.1. Fogos e incêndios florestais

Quando nos debruçamos sobre a conceptualização de incêndio florestal, é importante, em primeiro lugar, diferenciar o conceito de fogo e de incêndio. O primeiro conceito aplica-se à "presença controlada e desejada da combustão nos espaços naturais" (Viegas *et al.*, 2011, p. 2), ao passo que o segundo refere-se "a essa mesma presença, mas de uma forma descontrolada e não desejada" (*id., ib.).* Do ponto de vista de Cottrell (1989), o conceito de fogo pode ser definido como uma "reação química rápida e persistente, que combina combustível e oxigénio para produzir calor e luz. Uma luz externa de calor normalmente é necessária para iniciar a reação". O incêndio é uma "combustão livre, sem controlo no espaço e no tempo" (*id*.). O que distingue estes dois conceitos é o facto de existir um controlo no primeiro caso e um descontrolo no segundo.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 254/2009, de 24 de setembro, o incêndio florestal refere-se a "qualquer incêndio que decorra em espaços florestais, não planeado e não controlado e que, independentemente da fonte de ignição, requer acções[2] de supressão".

Segundo a Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais (APIF) (2005), o incêndio florestal pode ser definido como "um incêndio que deflagra e se estende por espaços com aptidão florestal (arborizados ou não arborizados) ou que, tendo início noutros terrenos, se propaga por espaços florestais. Excluem-se os fogos controlados, geralmente destinados a diminuir ou eliminar o material combustível acumulado no terreno". Enquanto processo físico-químico de combustão de material vegetal, os incêndios florestais estão dependentes de dois fenómenos complementares: a ignição e a propagação. O primeiro consiste no aparecimento da primeira chama, após a absorção da energia de activação pelo material combustível; o segundo baseia-se na disseminação da combustão pelos materiais combustíveis circundantes (através da transmissão de calor por convecção, condução ou radiação, ou através do aparecimento de focos

[2] O texto foi editado num determinado ano, anterior ao da aplicação do Novo Acordo Ortográfico, por isso, ao longo da redação da dissertação, as transcrições foram feitas tal como se encontravam registadas na fonte, respeitando a grafia original.

secundários, por projeção de material em combustão (adaptado de Gonçalves, 2006, p. 264).

1.1.1. Causas dos incêndios florestais

Nas últimas décadas, a ocorrência dos incêndios florestais aumentou drasticamente no nosso país, acarretando graves consequências ambientais, sociais e económicas. Esta elevada frequência resulta quase exclusivamente da ação humana que será responsável pela maioria dos incêndios. "Muito embora esta acção humana corresponda a uma grande variedade de situações que vão muito além do vulgarizado fogo posto, e cuja análise por vezes se reveste de uma complexidade apreciável" (Silva *et al*., 2007, p. 42). Considerando que os incêndios são causados por fatores de ordem antrópica, há a necessidade de distinguir os que são provocados intencionalmente e os que resultam de negligência.

De acordo com a classificação das causas dos incêndios florestais utilizada em Portugal, pela Autoridade Florestal Nacional (AFN) (entidade designada atualmente por Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas), as causas encontram-se agrupadas em seis categorias, bem definidas segundo a sua origem: uso do fogo, acidentais, estruturais, incendiarismo, não determinadas e naturais (Figura 1.1). Para cada categoria, estão identificados grupos de comportamentos e atividades e cada grupo, por sua vez, encontra-se dividido em subgrupos de atitudes e motivações de forma objetiva e inequívoca.

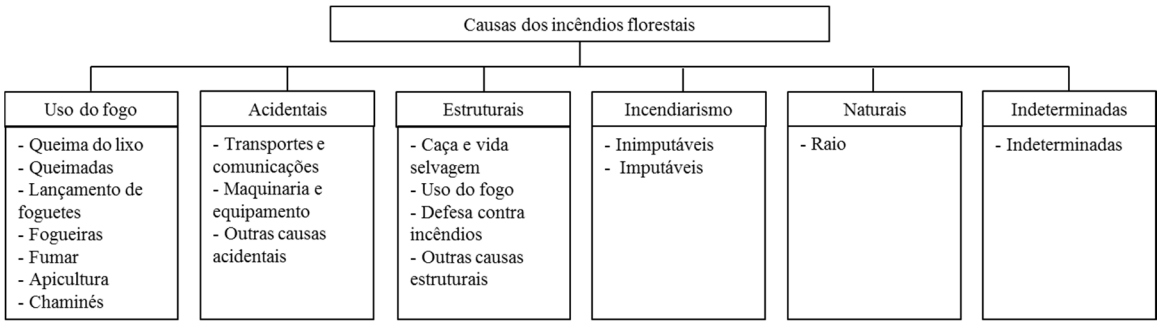

Figura 1.1 - Representação simplificada das causas dos incêndios florestais de acordo com a classificação da AFN[3].

[3] Adaptado de: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-codificacao-causas.pdf.

A compreensão das causas dos incêndios florestais constitui o ponto de partida para a definição de políticas de prevenção dos incêndios florestais. Deste modo, só conhecendo as diferentes razões que estão por detrás das ignições e as suas proporções será possível definir ações de prevenção no sentido de combater os comportamentos que originam os fogos florestais.

1.1.2. Fatores ambientais determinantes na ignição e propagação do fogo

A ignição e propagação de um incêndio florestal dependem fundamentalmente de três fatores, que definem o conhecido triângulo do fogo: a topografia, o combustível e a meteorologia.

O combustível florestal é um dos fatores mais importante na propagação do fogo, uma vez que "determina se um fogo se inicia, a dificuldade de controlá-lo e a probabilidade deste exibir um comportamento extremo ou regular. (…) Podem ser divididos em combustíveis mortos (folhas caídas ou secas, ervas, ramos caídos) ou vivos (ervas, arbustos, árvores), consoante o seu estado vegetativo" (Viegas *et al.*, 2011, pp. 29 e 30).

De acordo com o mesmo autor, as partes das plantas envolvidas na propagação dos incêndios florestais podem ser finas (com diâmetros inferiores a 6mm), regulares (com diâmetros entre 6 e 25mm), médios (com diâmetros entre 25 e 75mm) e grossos ou pesados (com diâmetros superiores a 75mm). "O tamanho das partículas é uma das características dos combustíveis que mais afecta a combustão e o comportamento do fogo" (Byran, 1959, citado por Viegas *et al.*, 2011, p. 32). Geralmente, as partículas maiores necessitam de mais energia em relação às partículas de menores dimensões.

Segundo Viegas *et al*. (2011, pp. 30 e 31), "a classificação dos combustíveis por estratos está estritamente ligada ao processo de propagação dos incêndios florestais, visto que cada um está associado a um determinado tipo de propagação do fogo". Assim, são considerados três estratos: a) combustíveis do solo, que se encontram imediatamente por baixo da manta morta ou no solo mineral e que incluem raízes velhas ou apodrecidas, troncos ou ramos enterrados e matéria orgânica em decomposição; b) combustíveis superficiais, englobando tanto combustíveis vivos como mortos: folhas ou agulhas mortas, ramos mortos no chão, troncos caídos ou resíduos de exploração, herbáceas, arbustos ou pequenas árvores; c) combustíveis aéreos, constituídos pelas copas das árvores e de arbustos elevados.

Os combustíveis podem ser agrupados em função de um conjunto de parâmetros, designadamente, a dimensão, forma, teor de humidade (vivo ou morto), composição química, inflamabilidade e densidade. Este conjunto de parâmetros permite-nos compreender a ação dos combustíveis nos fenómenos de propagação do fogo ao longo do seu processo de combustão.

Quanto à meteorologia, esta intervém ativamente na ignição e propagação dos incêndios florestais, bem como nos seus efeitos. Enquanto elemento principal que regula o início da época de incêndios, determina os períodos mais favoráveis à ocorrência dos mesmos, conjugando as condições meteorológicas com o estado da vegetação.

De acordo com Viegas *et al*. (2011), os fatores meteorológicos classificam-se em dois grupos: os fatores condicionantes, a saber, a precipitação, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a nebulosidade e as trovoadas, e os fatores determinantes, designadamente, a velocidade do vento, o rumo do vento, a intensidade de turbulência e a estabilidade atmosférica. O primeiro conjunto de fatores condiciona a ocorrência dos incêndios florestais, bem como no desenvolvimento da vegetação e no processo de secura dos combustíveis. O segundo grupo afeta principalmente o transporte de oxidantes, oxigénio, a combustão e os processos de transmissão de energia e da temperatura no incêndio, pelo que influencia claramente as condições de propagação do fogo.

A topografia, a par das condições meteorológicas e do combustível, atua na deflagração e comportamento de um incêndio florestal. A morfologia do terreno num determinado local, nomeadamente a sua altitude, declive, exposição solar e a área envolvente em geral, determina o tipo de clima, a vegetação e os regimes do vento, influenciando nitidamente o comportamento do fogo.

Os vales, juntamente com seus declives acentuados, a formação de ventos locais associados aos mesmos, influenciam significativamente a progressão das chamas, principalmente no sentido ascendente. Estas, ao subirem as vertentes de maior declive, aproximam-se mais dos combustíveis a montante, condição que, ligado ao caráter ascendente do calor produzido na combustão, contribui para o aquecimento dos mesmos e para a diminuição dos seus índices de humidade, contribuindo, desta forma, para uma maior capacidade de progressão do fogo.

A exposição constitui um fator muito importante na capacidade de propagação dos incêndios, já que influi decisivamente no desenvolvimento e no estado fisiológico dos combustíveis. Geralmente, as vertentes viradas a sul são as mais soalheiras, pelo

que apresentam condições de menor humidade e maior insolação. Possuem, portanto, menos combustível e são mais secas, ao contrário das vertentes sombrias. Estas apresentam condições climáticas e um mosaico de vegetação favorável à rápida inflamação e propagação do fogo.

Existe ainda um quarto fator, o tempo, que Viegas *et al.* (2011, p. 101) "consideram fundamental para a descrição do comportamento do fogo". De acordo com os mesmos autores, o tempo "intervém de uma forma explícita no comportamento de um incêndio. (…) O comportamento do fogo é dinâmico, isto é, mesmo com condições fronteiras permanentes – não variáveis com o tempo – as características de propagação vão-se alterando ao longo do tempo". Esta dependência "resulta da interacção entre o fogo e o meio ambiente, por meio das correntes de convecção, geradas pelo próprio fogo, que vão modificar o ambiente, em torno dele e podem mesmo sobrepor-se aos restantes factores condicionantes" (*id.*, p. 124).

A conjugação destes quatro elementos designa-se o quadrado do fogo, como evidencia a Figura 1.2, substituindo assim o tradicional triângulo do fogo. Estas quatro componentes envolvidas interagem, conjuntamente, variando quer no tempo quer no espaço. Tomemos como exemplo Portugal que surge, frequentemente, como um ambiente propício à ocorrência de incêndios florestais. Esta predisposição para o fogo é decisiva, como se não bastassem os fatores sociais, económicos e culturais que "por acção ou omissão tem facilitado a ignição e a propagação do fogo" (Silva *et al.*, 2007, p. 70).

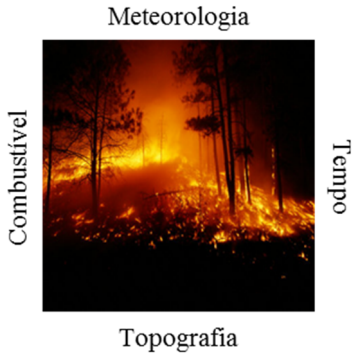

Figura 1.2 - Quadrado do fogo.

1.2. Modelo conceptual de risco de incêndio florestal

Na abordagem das componentes de risco no contexto da problemática dos incêndios florestais, são consideradas diversas aceções de diferentes autores. "Esta ambivalência resulta da diversidade de formação dos autores que lidam com o

fenómeno e, consequentemente, dos seus interesses específicos" (Bergonse *et al*., 2010, p. 81).

O presente estudo terá como suporte o modelo proposto por Bachmann e Allgower e adotado também pela Autoridade Florestal Nacional (AFN), representado na figura que se segue, embora se pretenda avaliar unicamente a perigosidade.

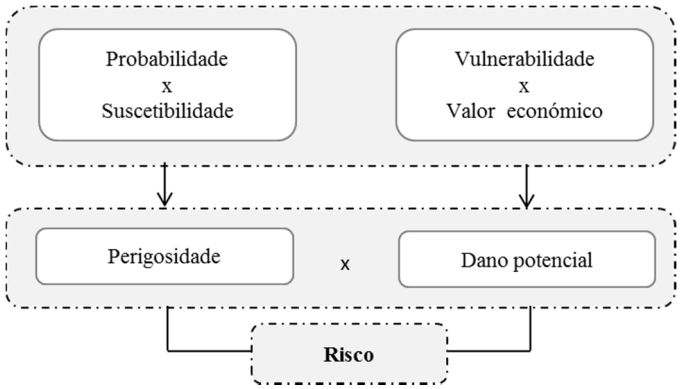

Figura 1.3 - Componentes do modelo de risco.
(adaptado de AFN, 2012, p. 46)

Segundo a Autoridade Florestal Nacional (AFN) (2012), o risco pode ser visto como o resultado entre a perigosidade e o dano potencial. O risco pode ser definido como "a probabilidade de uma perda, o que depende de três coisas: perigosidade, vulnerabilidade e exposição"[4]. Numa aplicação direta aos incêndios florestais, o risco é "a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caraterizadas pelos impactes nos objetos afetados" (Bachmann e Allgöwer, 1998, citado por AFN, 2012, p. 48).

De acordo com a AFN (2012, p. 47), a probabilidade expressa "a verosimilhança de ocorrência de um fenómeno num determinado local em determinadas condições". A suscetibilidade de um território indica "as condições que esse território apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso" (*id., ib.)*. A perigosidade resulta, por sua vez, da suscetibilidade e da probabilidade. Na perspetiva de Varnes (1984, citado em AFN, 2012, p. 47), a perigosidade revela "a probabilidade de ocorrência, num determinado intervalo de tempo e dentro de uma determinada área, de um fenómeno potencialmente danoso".

[4] Exposição, na definição de risco de Crichton, é funcionalmente equivalente a "valor económico" (AFN, 2012).

"O dano potencial de um elemento é o produto do seu valor económico pela vulnerabilidade que lhe é intrínseca. Um elemento que tenha elevado valor económico mas seja totalmente invulnerável, terá um dano potencial nulo por quanto não será afetado pelo fenómeno" (*id.*, p. 47). O valor económico traduz o "valor de mercado em euros dos elementos em risco" (*id.*, p. 48) e a vulnerabilidade refere-se ao "grau de perda a que um determinado elemento em risco está sujeito" (*id.*, p. 47).

1.3. Metodologias existentes no âmbito da avaliação de risco de incêndio

A avaliação das componentes de risco de incêndio constitui um assunto de grande importância na perspetiva de gestão dos incêndios, pelo que vários investigadores se têm debruçado sobre esta temática, tanto em Portugal como em outros países. Estes estudos recaem sobre as diferentes componentes de risco do modelo conceptual também adotado neste trabalho (perigosidade, probabilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade).

Os estudos para o desenvolvimento de índices de perigosidade, isto é, a tentativa de expressar através de números ou escalas o grau de probabilidade temporal de ocorrência de incêndio, tiveram início no século XX. Entretanto, nas últimas décadas, vários autores procuraram aperfeiçoar os índices existentes e/ou desenvolver outros, tendo em vista a obtenção de uma maior eficácia na previsão do grau de perigosidade de incêndio.

Os índices de perigosidade de incêndio florestal são "números que refletem antecipadamente a possibilidade de ocorrência de um incêndio, assim como a facilidade de se propagar, de acordo com as condições meteorológicas" (Vélez, 2000). Segundo Cheney (1968), citado por Nunes (2005, p. 26), os índices de incêndio florestal fornecem uma resposta em 80% dos casos, o que é satisfatório para um planeamento eficaz do controlo dos incêndios.

O desenvolvimento de índices no âmbito da avaliação risco de incêndio "constitui a melhor possibilidade para a salvaguarda de vidas humanas, de propriedades e de recursos naturais" (Chuvieco *et al.*, 1997). Por um lado, os índices de incêndios a curto prazo têm em vista, essencialmente, "o apoio à tomada de decisões actualizadas na fase de pré-supressão e supressão num plano de mitigação de incêndio" (*id.*). Pode ainda ser utilizada para outros fins, tais como, a divulgação de avisos relativos à previsão do comportamento do fogo e alerta do grau de perigosidade, contribuindo, assim, para a tomada de consciência dos problemas que os incêndios podem causar às

florestas, estabelecimento de limitações a certas atividades recreativas ao ar livre, indicação para conceder ou cancelar a realização de queimadas e, finalmente, os índices correlacionados com as ocorrências de incêndios/áreas ardidas que permitem avaliar o êxito das diferentes fases de um programa de defesa das florestas contra incêndios. Por outro, a utilização de índices de incêndios a longo prazo permite determinar as áreas mais propícias à ocorrência de incêndios, possibilitando assim a adopção de medidas preventivas e advertindo o grau de perigo (Freire *et al.*, 2002, p. 2).

Os índices expressam-se através de uma escala de perigosidade, elaborada de acordo com as variáveis e fatores considerados na deflagração e propagação do fogo. "Por questões práticas, um índice apresenta classes de perigo, definindo-se uma classe de perigo como uma porção da escala numérica do perigo de incêndios florestais" (Soares, 1984, citado por Parizotto, 2006, p. 16).

A estimação dos índices de incêndio deve compreender um conjunto de fatores: os combustíveis, a topografia e a meteorologia. Podem-se distinguir dois tipos de fatores determinantes do grau de perigosidade de incêndio: os permanentes, como o tipo de material combustível, tipo de floresta e o relevo, e os variáveis, entre os quais, a humidade do material combustível e as condições meteorológicas, designadamente, a velocidade e a direção do vento, a humidade relativa, a temperatura, o ponto de orvalho, a precipitação e a instabilidade atmosférica.

Os fatores constantes servem para determinar o grau de perigosidade de ocorrência de incêndio, pois estes não variam a curto prazo. A sua utilização é, porém, relevante nos índices mais complexos, na medida em que permite calcular a velocidade de propagação e os danos potenciais dos incêndios. Os fatores variáveis são, por sua vez, muito importantes para estimar apenas o grau de perigosidade de ocorrência.

Os índices de incêndio podem desagregar-se em dois grupos: os de ocorrência e de propagação. Os primeiros indicam a probabilidade de ocorrência de um incêndio, ou seja, se há condições favoráveis ou não para o início do incêndio, recorrendo normalmente a fatores variáveis. Os segundos indicam o comportamento dos incêndios, utilizando alguns fatores variáveis como a velocidade do vento e alguns fatores permanentes. Estes, além de indicarem as condições de ignição, permitem prever o comportamento do fogo.

Em vários países foram desenvolvidos índices para avaliar o potencial risco de incêndio e o seu comportamento. Contudo, não há nenhum sistema de determinação de um índice de risco de incêndio universal, pois existem variações nos sistemas utilizados

nos diferentes países. A importância ou o peso atribuído a determinados fatores varia de país para país, em função das características das diferentes regiões.

A seleção das variáveis e as diferentes metodologias existentes atualmente para a sua combinação derivam de uma diversidade de abordagens no âmbito da cartografia de risco de incêndio. Em resultado desta variedade, há que considerar diferentes classificações. De acordo com Freire *et al.* (2002), podem ser identificados dois tipos de métodos atendendo aos dados de *input* requeridos:

- métodos de risco estritamente meteorológicos, que se baseiam exclusivamente em dados sobre o estado de tempo, nomeadamente, a temperatura do ar, humidade relativa, precipitação e vento, registados geralmente através de uma rede sinóptica*;*

- métodos de risco potencial, nos quais são consideradas abordagens mais avançadas, e envolvem como *input* o estado da vegetação, o tipo de combustível florestal e o seu teor de humidade.

Relativamente ao uso exclusivo de variáveis meteorológicas, os índices podem ser agrupados da seguinte forma:

- os não acumulativos, que consideram apenas os valores diários dos parâmetros meteorológicos;

- os cumulativos, que utilizam um registo de dados climáticos de dias anteriores (*id.*, p. 3).

Segundo o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra os Incêndios Florestais (PNDFCI) (2005, p. 3), a gestão de incêndios florestais deve ser abordada sob duas perspectivas, temporal e analiticamente distintas: o médio/longo prazo e o imediato (dia seguinte).

Relativamente ao médio/longo prazo, procura-se estimar o índice de risco estrutural, calculado, essencialmente, com base nas chamadas variáveis lentas (população, relevo, clima, edificado, vegetação, histórico das áreas ardidas, entre outras). Quanto ao imediato/curto prazo, é comum falar-se de índice de risco dinâmico ou diário, calculado a partir de dados tratados (temperatura, humidade relativa, estado do tempo, entre outros), fornecidos pelos Institutos de Meteorologia.

Recentemente, e seguindo a mesma análise, foi introduzida pela Comissão Europeia, através do *Joint Research Centre* (JRC), a classificação de índices de acordo com a sua escala temporal, que a seguir se indica:

- dinâmicos ou de curto prazo – baseiam-se em parâmetros que variam de forma quase contínua, isto é, as condições meteorológicas e o estado da vegetação;

- estruturais ou de longo prazo – resultantes de factores que não variam rapidamente, isto é, a topografia ou a ocupação do solo;

- integrados ou avançados – incluem variáveis estruturais e dinâmicas, devidamente ponderadas (*id.*, *ib.*).

No âmbito deste trabalho, foi considerada a classificação com base na escala temporal, por isso, nos tópicos que se seguem, proceder-se-á à caracterização dos índices dinâmicos, estruturais e integrados.

1.3.1. Índices dinâmicos ou de curto prazo

Um índice dinâmico visa "a detecção de alterações nas condições de inflamabilidade dos combustíveis florestais durante a época de incêndios, considerando parâmetros que variam de forma contínua, como o estado da vegetação ou o clima" (Freire *et al.*, 2002, p. 5). Assim sendo, determinará a maior ou menor propensão para os combustíveis se inflamarem e entrarem em combustão.

Os índices de curto prazo, calculados diariamente ou várias vezes ao dia, necessitam de informação atualizada e suficientemente detalhada sobre o conteúdo de humidade de combustível (FMC) e as variáveis meteorológicas, tendo em vista a definição de risco de incêndio temporal. Deste modo, a sua estimação permite organizar as atividades do fogo na pré-supressão, deteção e nas decisões de supressão e atualização das mudanças do nível de risco de incêndio. Estudos antecedentes demonstram que o uso desta escala temporal é aplicado principalmente, na atualização do nível de alerta e na organização das ações dos bombeiros diretamente no avanço do fogo (adaptado de Marzano *et al.*, 2002, p. 2).

O estado da humidade da vegetação varia significativamente num curto espaço de tempo, devido à meteorologia e à fisiologia da espécie florestal, pelo que a sua determinação é necessária e, consequentemente, a da perigosidade de incêndio, identificando regularmente os períodos e as áreas de maior risco (adaptado de: Vidal *et al.*, 1997, citado por Carvalho, 2005, p. 50).

A consideração de que a meteorologia interfere na definição do FMC dos combustíveis vegetais e, por consequência, na ignição e propagação do fogo, conduziu ao desenvolvimento de vários índices fundamentados em parâmetros meteorológicos. Por um lado, os parâmetros meteorológicos revelam o "estado atual das variáveis atmosféricas que influenciam o teor em água dos combustíveis" e, por outro, "são

obtidos directamente dos serviços meteorológicos, não necessitando assim de medições específicas no campo" (Ceccato *et al.*,2003, citado por Carvalho, 2005, p. 50).

A determinação dos FMC pode ser realizada recorrendo a outros procedimentos, por amostragem ou através de métodos de deteção remota. "A amostragem de campo é o método mais directo e preciso de determinação da humidade da vegetação viva ou morta" (Carvalho, 2005, p. 51). No entanto, revela alguns inconvenientes no que toca à sua operacionalidade a propósito de garantir uma interpretação espacial e temporal, nomeadamente no que se refere ao período estipulado para a sua realização e a necessidade de englobar todos os tipos de vegetação existentes, tornando-se, deste modo, uma tarefa morosa e dispendiosa, para além de ser "aplicável a uma área geográfica muito restrita (zona de escolha das amostras)" (*id.*, 2005, p. 52).

A determinação da humidade de vegetação para as áreas de grande escala é difícil e os índices calculados, tendo como suporte os dados meteorológicos provenientes de estações meteorológicas, não distribuídas uniformemente, não são generalizáveis a outras áreas florestais, pelo que o recurso à deteção remota tem alcançado um grande relevo. Com efeito, tem aumentado o interesse da utilização da deteção remota, "especialmente de imagens NOAA-AVHRR devido à sua boa resolução temporal (2 imagens/dia) e espectral (visível, infravermelho próximo, médio, e térmico) e média resolução espacial (1,1 Km)" (Vidal *et al.*, 1997; Chuvieco *et al.*, 2002; Aguado *et al.*, 2003, citado por Carvalho, 2005, p. 52).

"A selecção do tipo de imagens de satélite depende em grande medida da escala espacial de análise e menos da resolução temporal do sistema" (Freire *et al*., 2002, p. 3). De facto, convém referir que "existem alguns estudos que se ocupam da produção de mapas de estado dos combustíveis para a avaliação de risco global ou continental, e outros concentram-se a nível regional e local" (*id*.). Para a produção de cartografia de vegetação e determinação do *stress* hidrológico a grandes escalas, são utilizadas as Imagens *Landsat Thematic Mapper* e SPOT e as imagens NOAA-AVHRR são usadas na cartografia a menores escalas, na monitorização do estado da vegetação e teor de humidade.

Importante ainda referir que "os sensores da nova geração, como o AVIRIS, MODIS ou MERIS dispõem de uma melhor resolução espectral e temporal" (*id.*), contribuindo para uma melhor caracterização e monitorização de combustíveis. Para além disso, "*a* tecnologia radar permite obter informação sobre a estrutura do coberto vegetal" (*id*.).

No âmbito da avaliação do risco, o índice mais utilizado para a obtenção do FMC da vegetação viva é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI). Este índice parte do princípio que "a secura dos combustíveis vivos pode ser obtida a partir de imagens de satélite de forma indirecta, uma vez que eles verdadeiramente medem a actividade de clorofilina e não o teor de água" (Ceccato *et al.*, 2003, e Camia *et al.*, 2003, citado por Carvalho *et al*., 2005, p. 52). Trata-se de um cálculo simples e constitui "um bom indicador do estado e vigor da vegetação de cálculo complicado, tais como, a fracção de cobertura do solo com vegetação (FVC) e o índice de área foliar (LAI)" (Bugalho e Pessanha, 2007, p. 158).

1.3.2. Índices estruturais ou de longo prazo

Um índice estrutural ou de longo prazo resulta da "combinação de variáveis que não variam num curto espaço de tempo e pode ser calculado com recurso a diversos tipos de variáveis, tais como: coberto vegetal (tipo de combustível), altitude, declive, orientação, características climáticas, estradas, áreas urbanas, solos, historial de incêndios e densidade populacional" (Freire *et al*., 2002, p. 3). Portanto, "a tendência das variáveis de risco de incêndio a longo prazo que intervêm estão relacionadas na sua maioria com a estrutura dos factores que afectam a ignição e propagação de incêndios numa determinada área" (Marzano *et al*., 2002, p. 2), sendo estes permanentes durante um determinado período de tempo.

A estimação destes índices não se realiza constantemente, necessitando apenas de ser calculado antes do início da época de incêndios, tendo em vista o apoio "no planeamento das acções e gestão dos recursos necessários à sua prevenção" (Freire *et al*., 2002, p. 3).

De acordo com o Freire *et al*. (*id*.), "a escolha e importância relativa das variáveis utilizadas tem normalmente uma base estatística, sendo determinada a partir de um estudo de correlação entre os parâmetros e um registo do historial de incêndios nessa área ao longo de um período significativo. Devido ao facto das causas dos incêndios poderem variar significativamente no espaço, estas relações são mais sólidas em áreas limitadas e perdem poder explicativo com a distância à área de estudo, de forma que estes índices têm essencialmente uma aplicação regional".

1.3.3. Índices integrados ou avançados

Um índice integrado ou avançado parte do pressuposto que a ignição e propagação de um fogo florestal são afectadas por factores de natureza e frequência diferentes, conduzindo, desse modo, a uma análise conjunta desses factores (Freire *et al.*, 2002, p. 4).

Apesar da recomendação do *Joint Research Center* da União Europeia, este tipo de abordagem ainda não tinha sido desenvolvida e implementada por nenhuma instituição de investigação, pelo menos até 2002. "Talvez o problema mais crítico desta abordagem, depois de ultrapassada a questão do acesso aos dados, seja a dificuldade de calibrar os pesos das variáveis relevantes" (*id.*), que, na maior parte das vezes, são difíceis de obter, pelo que frequentemente tem como suporte o conhecimento específico dos especialistas. Deste modo, resulta um procedimento pouco claro e subjetivo e de orientação local, sendo mais difícil a sua aplicação a escalas de análise mais extensas.

1.4. Índices associados à gestão de risco de incêndio utilizados em Portugal

No âmbito da cartografia de risco de incêndio, foram utilizados alguns índices produzidos por outros países e outros desenvolvidos por investigadores portugueses, recorrendo a vários métodos e parâmetros diferentes. Para um melhor conhecimento dos índices utilizados, será apresentada uma breve análise dos mesmos. As diferentes metodologias encontram-se agrupadas em índices dinâmicos, estruturais e integrados, de acordo com a classificação proposta pela Comissão Europeia, indicando de uma forma sintetizada, o autor ou organismo responsável pelos mesmos e os parâmetros utilizados.

Nesta investigação não serão referenciados todos os estudos no âmbito da cartografia de risco de incêndio, pelo que simplesmente serão enumerados os trabalhos considerados pertinentes ou os que constituem estudos de referência para outros trabalhos relacionados com a temática. Alguns deles têm como suporte o quadro conceptual sobre os conceitos de risco e perigo distinto do adotado nesta dissertação.

No que se refere aos índices dinâmicos, foram utilizados/desenvolvidos um conjunto de índices, incorporando unicamente parâmetros meteorológicos (Anexo I – Quadro 1: Índices dinâmicos). Em primeiro lugar, o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG, entidade atualmente designada por Instituto de Meteorologia), a partir da década de 70, utilizou um índice meteorológico de risco de incêndio para o

continente, baseado no índice de *Angstrom*. Este índice apresentava apenas três classes de perigo, razão pela qual não se ajustava à realidade portuguesa. Assim sendo, houve a necessidade da criação de um novo índice, mais preciso principalmente na determinação de situações mais severas.

Com este propósito, foi sugerido, por Luciano Lourenço, um método mais simples e prático, o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF). Este índice tinha por objetivo fundamental "conjugar a eficácia com a operacionalidade, ou seja, ser calculado em qualquer momento e local" (Lourenço, 1992, p. 119).

Entretanto, a evolução da investigação levou ao desenvolvimento de um novo índice meteorológico, o Índice de Risco de Progressão de Fogo Florestal, que incluía outro parâmetro, o rumo e a velocidade do vento. Para além deste, Lourenço apresentou outros índices: o Índice de Risco Máximo de Fogo Florestal e a Tendência de Risco de Fogo para o dia seguinte. De acordo com o mesmo autor (1994), "o conjunto de índices propostos demonstrava claramente a relação estreita das variáveis meteorológicas, designadamente a temperatura e a humidade relativa, na deflagração dos incêndios".

Para além das variáveis anteriormente referidas, era importante que o perigo meteorológico de incêndio pudesse ser calculado com recurso a outras variáveis, nomeadamente a precipitação, a intensidade da radiação solar, o teor de humidade da vegetação e a reserva de água no solo, pelo que era importante utilizar, igualmente, um índice de caráter cumulativo. Neste sentido, o INMG passou a calcular, a partir de junho de 1988, além do índice de *Angstrom*, outro índice de perigo adaptado, o índice de Nesterov. Este índice, o Índice Português, resulta assim de uma versão modificada do índice de Nesterov, adequada à realidade portuguesa.

Paralelamente, Ramos e Ventura, em 1992, desenvolveram um índice climático de perigo de incêndio. Estes autores relacionaram as condições meteorológicas com os grandes incêndios, afirmando que "os dias em que se concentram os grandes incêndios florestais ocorrem, sobretudo, após longos períodos sem precipitação onde se conjugam temperaturas elevadas, acentuada secura e vento favorável à sua propagação" (Ramos e Ventura, 1992, p. 84).

Desde de 1998, o Instituto de Meteorologia (IM) utiliza o índice meteorológico de perigo de incêndio, o sistema de indexação canadiano *Fire Weather Index* (FWI), com base em 61 estações meteorológicas dispersadas pelo continente, integrando redes de estações de outras entidades, nomeadamente do Instituto da Água (INAG).

No que concerne ao risco estrutural, foram já utilizados e/ou adaptados vários índices recorrendo a variáveis estruturais (Anexo I – Quadro 1: Índices estruturais).“Em 1981, o Engenheiro Silvicultor Cecílio Gomes da Silva, baseado nos conceitos disponíveis na época, produziu a primeira carta de risco de incêndio florestal” (APIF, 2005).

Em 1994, foi autorizada a realização de um projeto-piloto, liderado pelo Centro Nacional de Investigação Geográfica (CNIG). Com este projeto pretendia-se produzir cartas de risco de incêndio florestal para 23 concelhos, avaliar as capacidades de colaboração interinstitucional das diversas entidades envolvidas no processo de produção e explorar posteriormente as cartas, com vista à generalização da aplicação da metodologia aos restantes concelhos. Desde 1994 até 2004, este projeto produziu cerca de 60 cartas de risco de incêndio de nível municipal e uma carta de risco de incêndio de nível distrital.

Entretanto, Lourenço e Gonçalves propuseram o Índice de Risco Histórico-Geográfico de Fogo Florestal para diferentes unidades. Trata-se de um índice “geográfico, porque se baseia na história dendrocaustológica (número de fogos e extensão das áreas ardidas da unidade considerada), bem como na sua evolução no tempo, ou seja, ao longo dos anos” (Lourenço e Gonçalves, 1998, p. 177 e 178). Este índice “permite conjugar a importância dos incêndios ocorridos nos anos anteriores, com a sua localização, através da combinação do número de fogos com o valor das áreas ardidas na unidade considerada” (Lourenço e Gonçalves, 1998, p. 178).

No ano de 2007, a metodologia considerada inicialmente foi reformulada, procedendo à desvalorização do critério visibilidades por posto de vigia. Em contrapartida, foi atribuído um maior peso às variáveis densidade demográfica e rede viária e foram integrados ainda novos critérios no modelo, a saber, a rede viária, a rede ferroviária e as linhas de média e alta tensão.

Em 2003, a Direção-Geral das Florestas (DGRF) (organismo atualmente designado de Autoridade Florestal Nacional), publicou um estudo designado Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal. O Professor Cardoso Pereira e a sua equipa do Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia (DEF/ISA), em colaboração com a DGRF, publicaram uma nova carta de risco de incêndio de Portugal Continental (estrutural), com base na relação entre os padrões espaciais de ocorrência de fogo na década de 1990-1999, e um conjunto de variáveis ambientais e socioeconómicas subjacentes.

Entretanto, Cardoso Pereira e Brito Carreira produziram a Carta de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal (CRCIF2005), considerando as alterações ocorridas nos últimos anos, em termos da influência da área ardida na ocupação do solo, incorporando duas componentes: variáveis de resposta lenta e variáveis de resposta rápida. Esta cartografia destina-se basicamente a ser utilizada no estabelecimento de prioridades de prevenção, tanto no que diz respeito à defesa da floresta como à proteção civil. Este mapa conjuntural é utilizado igualmente pelo IM. O ICNF disponibiliza ao IM o mapa da perigosidade que este cruza com o sistema canadiano, com o intuito de produzir um mapa conjuntural de risco da ICNF (anteriormente designada por Autoridade Florestal Nacional), integrando assim os dois mapas.

Em 2008, João Verde propôs uma nova metodologia com vista a avaliação da perigosidade de incêndio florestal para Portugal Continental, utilizando poucas variáveis. De acordo com o mesmo autor (2008, p. 89), "as vantagens de implementação de um modelo simplificado com o recurso a apenas três variáveis passam pela rapidez da actualização periódica e facilidade processual".

Na abordagem de índices integrados ou avançados, foram desenvolvidas duas metodologias (Anexo I – Quadro 1: Índices integrados). Freire *et al.* propuseram uma metodologia de cartografia de risco de incêndio florestal, no âmbito do projeto PREMFIRE, do Instituto Geográfico Português (IGP). Esta metodologia combinava um índice estrutural e outro dinâmico para o desenvolvimento de cartografia diária de risco de incêndio florestal, tendo por base a utilização de imagens de satélite e dados auxiliares, evidenciando uma boa correlação com as ocorrências dos fogos florestais.

Paralelamente, o Instituto de Meteorologia desenvolveu o Índice Combinado de Risco de Incêndios Florestais (ICRIF), que combina as condições meteorológicas com o estado da vegetação e o risco estrutural, com o intuito de obter um índice de risco de incêndio para Portugal que respondesse melhor às condições de incêndios florestais.

1.5. Índices associados à gestão de risco de incêndio utilizados em vários países

Desde o segundo quarto do século XX, alguns países, como o Canadá, Estados Unidos da América, Austrália e Nova Zelândia, preocuparam-se com a problemática dos incêndios florestais e efetuaram os primeiros estudos sobre a determinação do perigo de incêndio, os quais estiveram na origem dos sistemas canadiano e americano. Segundo o Chandler *et al*. (1983), "o desenvolvimento da avaliação de perigo de incêndio, no entanto, teve origem principalmente na América do Norte e Austrália". A

investigação foi levada a cabo pelo Serviço Florestal com a finalidade de desenvolver um sistema de classificação de perigo de incêndio para proporcionar informação e orientação no combate contra os incêndios florestais (Davis 1959, Gisborne 1933, 1936, 1942, Hayes 1944, Jemison 1944, Nelson 1964, Show 1919, citado por Marzano *et al.*, 2002).

Este marco constitui o ponto de partida para a investigação científica sobre esta temática, a qual tem vindo a ser analisada sob diferentes perspetivas. Entre as várias abordagens consideradas, os índices são analisados de acordo com os aspetos meteorológicos, enquanto outros consideram fundamentos estatísticos ou empíricos, apesar da primeira alcançar uma maior relevância na literatura. "Neste sentido, os incêndios são fenómenos que acontecem ao nível mais baixo da atmosfera e, portanto, devem ser estudados tendo em conta a sua relação com as características da superfície de descontinuidade solo-atmosfera" (adaptado de Martín, 2008, p. 9). Assim sendo, a física constitui a única abordagem conceptual que explica de uma forma coerente as razões da ocorrência deste fenómeno à superfície.

No seguimento desta temática, nas décadas de 1980 e 1990, surgiram várias conceções sobre o problema, como as de Brotak, Stocks e Haines. Contudo, "existem diferentes pontos de vista da conceção do problema que não são estreitamente físicos e que tratam de explicar estatisticamente a fenomenologia sem nenhum fundamento causal ou determinista que o sustente" (Martín, 2008, p. 9). Neste sentido, alguns autores desenvolveram alguns índices que "incluíam valores de diversos parâmetros meteorológicos relacionados sem componente física" (Orieux 1979, Carrega 1987, etc., citado por Martín, 2008, p. 9). Por outro lado, foram desenvolvidos outros índices ao longo do século XX, nomeadamente o NDFRS[5], o BEHAVE[6], o FWI[7] e o FFDM[8]. "Estes índices permitem fazer avaliações globais, resultantes de considerações estatísticas, não abordam, porém, a componente física do processo de incêndio" (Martín, 2008, p. 9).

Entre os vários índices (Anexo I – Quadro 2), foi desenvolvido o LASI (*Lower Atmosphere Severity Index*), designado atualmente de Índice de Haines (HI). O modelo de Haines diferencia-se dos índices citados anteriormente, visto que considerando que

5 Índice Nacional de Deteção de Perigo de Incêndio (*National Fire Danger Rating System*).
6 Sistema de Comportamento de Fogo (*Behave Fine Fuel Moisture Content*).
7 Índice Canadiano de Perigo de Incêndio (*Canadian Fire Weather Index*).
8 Forest Fire Danger Meter.

"o problema do fogo como uma dinâmica vertical à mesoescala" (*id.*). Assim, este demonstra o impacto potencial da estabilidade atmosférica e da humidade para definir o maior perigo meteorológico de um incêndio. Aliás, "o Haines foi o primeiro a construir um índice temporal de incêndio baseado nas condições de estabilidade e humidade atmosférica que indica a propagação extrema que o fogo pode adquirir" (*ib.*, 2008, p. 18).

Para além deste modelo, foram ainda desenvolvidos, nos EUA, dois sistemas de deteção de perigo e propagação: o NFDR, índice nacional de deteção de perigo de incêndio, e o BEHAVE, sistema de comportamento de fogo. Estes são os mais divulgados a nível mundial a par do modelo canadiano. De acordo com Bradshaw *et al*. (1983), o NFDR é constituído por um conjunto de índices diários: Índice de ocorrência (OI), Índice de combustão (BI) e Índice de carga (LI) e um índice de severidade sazonal. Este é o produto final do procedimento, é o resultado do somatório dos índices BI e LI, sendo uma indicação de trabalho necessária para o controlo dos incêndios que ocorrerão numa determinada época. Dado que o NFDR integra variáveis dinâmicas e estruturais, pode ser considerado um índice integrado.

Segundo Rothermel e Burgan (1984), o BEHAVE é um índice de propagação, pelo que a sua utilização é relevante no momento da deflagração de um incêndio. Trata-se, portanto, de um índice que orienta o desenvolvimento de um incêndio que já teve início, não sendo por isso um indicador de perigo. De referir que tanto o NFDR como o BEHAVE não analisam o perigo de incêndio de acordo com uma perspetiva estrutural da camada atmosférica, tal como o Haines.

Um índice de perigo de incêndio que integra parâmetros meteorológicos é o Sistema Canadiano de Indexação de Perigo de Incêndio Florestal (FWI) (Van Wagner, 1987), incorporando, assim, os efeitos da meteorologia nos combustíveis florestais e no comportamento do fogo. Tal como acontece com o sistema americano, não avalia o estado da camada atmosférica. O índice americano, juntamente com o canadiano, é um dos índices mais utilizados no combate contra o fogo, incluído, por exemplo, no Sistema de Alerta de Perigo de Incêndios da União Europeia. O índice canadiano é utilizado por vários países, tendo obtido bons resultados, evidenciando a sua consistência. "Uma comparação quantitativa realizada no âmbito do projeto europeu de MINERVA encontra um sistema muito preciso para a estimação dos incêndios do Mediterrâneo" (Viegas *et al*., 1999).

O *Forest Fire Danger Meter* (FFDM) (McArthur, 1967, 1996, citado por Martín, 2008), desenvolvido entre 1967 e 1996, é o sistema utilizado na Austrália. É constituído

por dois índices, o Índice de Seca e o Índice de Perigo. O primeiro avalia as condições de inflamabilidade do combustível, e o segundo pressupõe a probabilidade de ocorrência de incêndios, a sua velocidade de propagação e as dificuldades na sua extinção.

Na Europa, foram vários os países que desenvolveram alguns índices de perigo de incêndio. No caso da França, Orieux e Carrega determinaram uma série de fórmulas estatísticas, demonstrando que os principais fatores que influenciam o risco de incêndio são os meteorológicos. Ambos são modelos de caráter esotérico que não integram nenhuma fundamentação física. Na definição do alerta, Orieux considera que a seca e o vento são dois parâmetros que influenciam o aparecimento dos incêndios florestais. O primeiro parâmetro é determinado através do déficit de água no solo, que é a saturação do solo (150 mm) menos a reserva existente dependente da evapotranspiracão potencial (ETP). O segundo parâmetro é a velocidade do vento. Para além deste, foi proposto pelo Sol (1990) e Drouet (Drouet e Sol, 1993, citado por Camia e Bovio, 2000, p. 11), o *Numerical Risk*, aplicado no sul de França. Trata-se de um índice cumulativo que é calculado durante a época de verão.

O Índice Italiano de Perigo de Incêndio (IFDI) foi adaptado pelo *Italian State Forestry Corps*, na Itália, tendo como suporte os dados meteorológicos. Este deriva dos modelos de McArthur utilizados na Austrália. "Este foi elaborado segundo as indicações de uma consulta técnica da FAO/UNESCO, de 1977, para uniformizar um método de predição do risco de fogo na área mediterrânea" (Reifsnyder, 1977, citado por Martín, 2008, p. 21). Este índice é constituído por dois subíndices: um Índice de Ignição e um Índice de Propagação.

De referir que também foram desenvolvidos outros índices na Itália. O Índice de Rodriguez e Moretti (Nunes, 2005, p. 31) foi aplicado na região Andino-Patagónica. As variáveis temperatura e humidade relativa determinam o conteúdo de humidade e a resistência dos combustíveis face à ignição; a ocorrência ou não da precipitação determina a transição entre períodos secos e húmidos. Já o Índice IREPI, desenvolvido pelo Bovio *et al.* (1984), no noroeste da Itália, na época dos incêndios entre a primavera e o verão, baseia-se na estimação da perda do solo devido à evapotranspiração real.

Outros países desenvolveram também os seus sistemas de perigo de incêndio, como é o caso do Brasil, Rússia, entre outros. No Brasil, Soares desenvolveu um índice cumulativo, a Fórmula de Monte Alegre (FMA), integrando dados da região central do Estado do Paraná, no ano de 1972. Entretanto, este índice foi reformulado, Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA+), incluindo dados da mesma região, por Nunes, em

2005. De igual modo, foram propostos por Sampaio, no mesmo país, dois índices cumulativos, o P-EVAP e EVAP/P.

De acordo com Vélez (2000), o índice chileno, desenvolvido em 1989, define a probabilidade do início de ocorrência de incêndios florestais. E o Índice de Telicyn e o Índice de Nesterov, ambos desenvolvidos na Rússia, embora o último tenha sido aperfeiçoado na Polónia, são índices cumulativos. Já o Índice de Angstron, desenvolvido na Suécia, é um índice não cumulativo.

Na abordagem de índices estruturais (Anexo I – Quadro 2: Índices estruturais), Chuvieco e Congalton (1989) são autores de referência internacional no âmbito da cartografia de suscetibilidade a incêndios florestais. A sua metodologia assenta numa análise multicritério com o intuito de obter um mapa de suscetibilidade a incêndio florestal. Do mesmo modo, Vettorazzi e Ferraz (1998) aplicaram uma metodologia semelhante à proposta por Chuvieco e Congalton (1989), alterando meramente alguns dos critérios.

Em relação aos índices integrados desenvolvidos em alguns países, foi produzido, em Espanha, um modelo de deteção de perigo de incêndio designado método ICONA (Anexo I – Quadro 2: Índices integrados). Este compreende um Índice de Probabilidade de Ignição e um Índice de Alerta, que inclui o efeito do vento. Tal como o americano e o canadiano, não considera a avaliação das condições da camada atmosférica. Acresce-se ainda duas metodologias, uma produzida por Guillermo Julio, no Chile, o Índice de Risco de Incêndio Florestal e o Índice de Potencial de Incêndio (FPI), desenvolvido nos EUA e incorpora dados derivados de imagens de satélite e observações de superfície num único índice de risco.

Capítulo 2
Enquadramento da área de estudo e metodologia de trabalho

Capítulo 2. Enquadramento da área de estudo e metodologia de trabalho

2.1. Enquadramento geográfico

A área de estudo localiza-se na Região Centro de Portugal, estendendo-se por uma área total de 27453,22 km^2. Grosso modo, corresponde, territorialmente, à antiga região da Beira, sendo esta constituída por duas regiões distintas: a Beira Litoral, que abarca os distritos de Aveiro, Coimbra, Viseu e Leiria, e a Beira Interior, que compreende os distritos da Guarda e de Castelo Branco. Como se pode verificar na Figura 2.1, confronta a norte com os distritos do Porto, Vila Real e Bragança, a este com Espanha, a sul com os distritos de Portalegre, Santarém e Lisboa e a oeste pelo oceano Atlântico.

Em termos administrativos, é constituída por 101 concelhos e 330 freguesias, repartidos pelos distritos de Aveiro, Viseu, Guarda, Castelo Branco, Coimbra e Leiria.

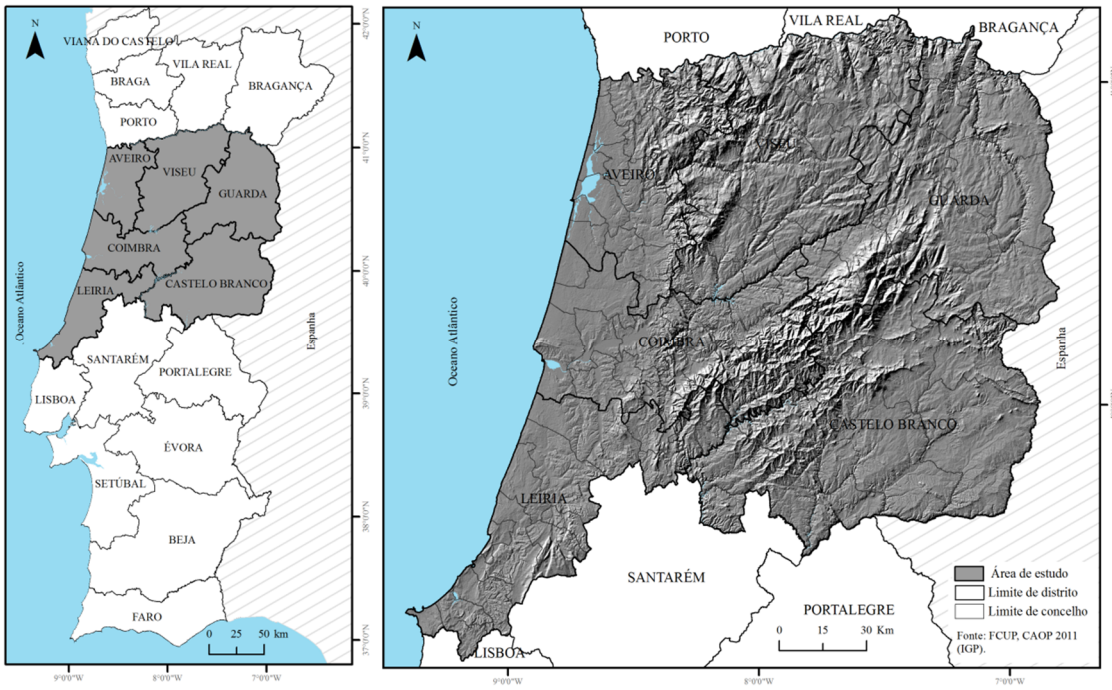

Figura 2.1 - Enquadramento geográfico da área de estudo.

A área de estudo apresenta características morfológicas diferenciadas com uma altimetria compreendida entre 1 e 1990m, como evidencia a Figura 2.2. As menores altitudes, entre 1 e 200m, encontram-se particularmente na faixa do litoral e as maiores cotas, superiores a 800m, coincidem com a localização dos sistemas montanhosos. Os conjuntos mais elevados correspondem às serras de Montemuro, Caramulo, Freita, localizados na parte ocidental, e as serras da Lousã, Açor, Gardunha e Malcata, na parte

oriental. O ponto culminante é a Serra da Estrela, que atinge a altitude máxima correspondente a 1990m, na Cordilheira Central e está inserida também nos distritos da Guarda e Castelo Branco.

Na análise dos declives (Anexo II - Figura 1), a Região Centro apresenta predominantemente declives suaves, inferiores a 20ºC, distribuídos pela plataforma do litoral e planaltos. Apresentam-se, porém, particularmente acentuados, superiores a 20ºC, nos sistemas montanhosos. É essencialmente na Cordilheira Central, marcada pelas vertentes que dão acesso às superfícies culminantes da Serra da Estrela, Açor e Lousã, e na barreira montanhosa, integrando o Caramulo, Montemuro, Freita e Arada, que sobressaem algumas áreas mais declivosas.

Com respeito à exposição de terreno (Anexo II - Figura 2), prevalecem as encostas viradas a oeste (15%) e noroeste (14%) e a norte e plano apresentam menor destaque, ambas com 6%.

Os movimentos tectónicos são evidentes, não só nas formas de relevo, como no traçado da rede hidrográfica. Os principais rios que atravessam o território são o Mondego, o Zêzere, o Vouga e o Lis.

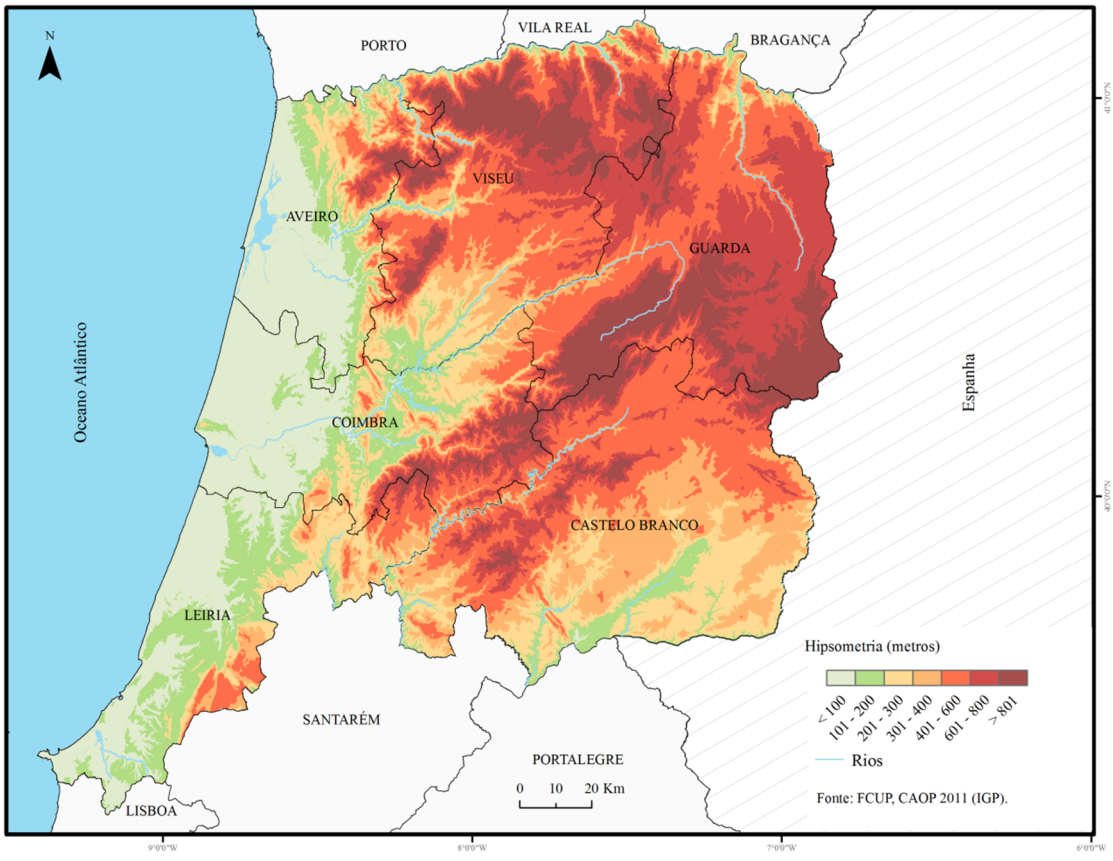

Figura 2.2 - Hipsometria da área de estudo.

Em termos climáticos, a Região do Centro abrange uma área geograficamente diversificada, com diferentes comportamentos climáticos, influenciados pelo relevo, altitude e proximidade do mar. É notável o efeito da continentalidade à medida que se aproxima a fronteira de Espanha. As maiores diferenciações existem no interior, por um lado, entre as áreas montanhosas e o restante território e, por outro, entre as partes norte e sul da Cordilheira Central: a sul o clima é mais quente e seco. No litoral, os contrastes são menores e a transição faz-se, nas componentes físicas, de uma forma muito gradual.

De um modo geral, a Região Centro é marcada pelos invernos frios e com tendência à ocorrência de aguaceiros no interior e nas áreas adjacentes de Espanha. No ponto mais alto de Portugal Continental, a Serra da Estrela, verifica-se frequentemente a queda de neve. No litoral, os invernos são mais temperados e húmidos, não se registando temperaturas tão baixas. Em contrapartida, os verões são quentes e secos, atingindo temperaturas muito elevadas no interior, enquanto no litoral, o calor é moderado, influenciado pelas correntes marítimas de oeste.

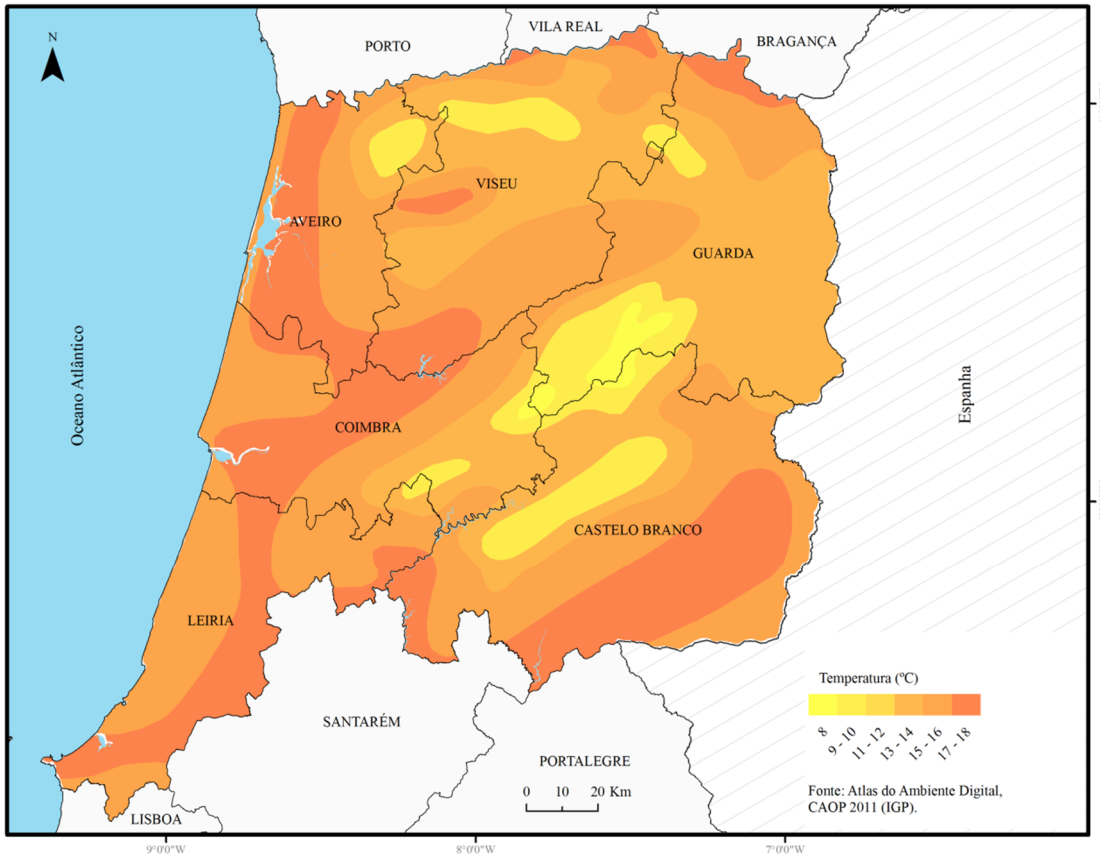

Figura 2.3 - Temperatura média diária anual (1931-1960) da área de estudo.

De acordo com os dados climáticos disponíveis do Atlas do Ambiente Digital, a temperatura média diária anual varia entre 8 a 18ºC na Região Centro. Como é visível

na Figura 2.3, os valores mais elevados sobressaem na faixa do litoral e, em contrapartida, verificam-se menores valores no interior. Segundo o mapa da Suzanne Daveau, as precipitações oscilam entre os 400 e 2750 mm, ocorrendo os valores mais elevados na Serra da Estrela, a par das serras do Caramulo, Freita e Montemuro, como se pode verificar na Figura 2.4.

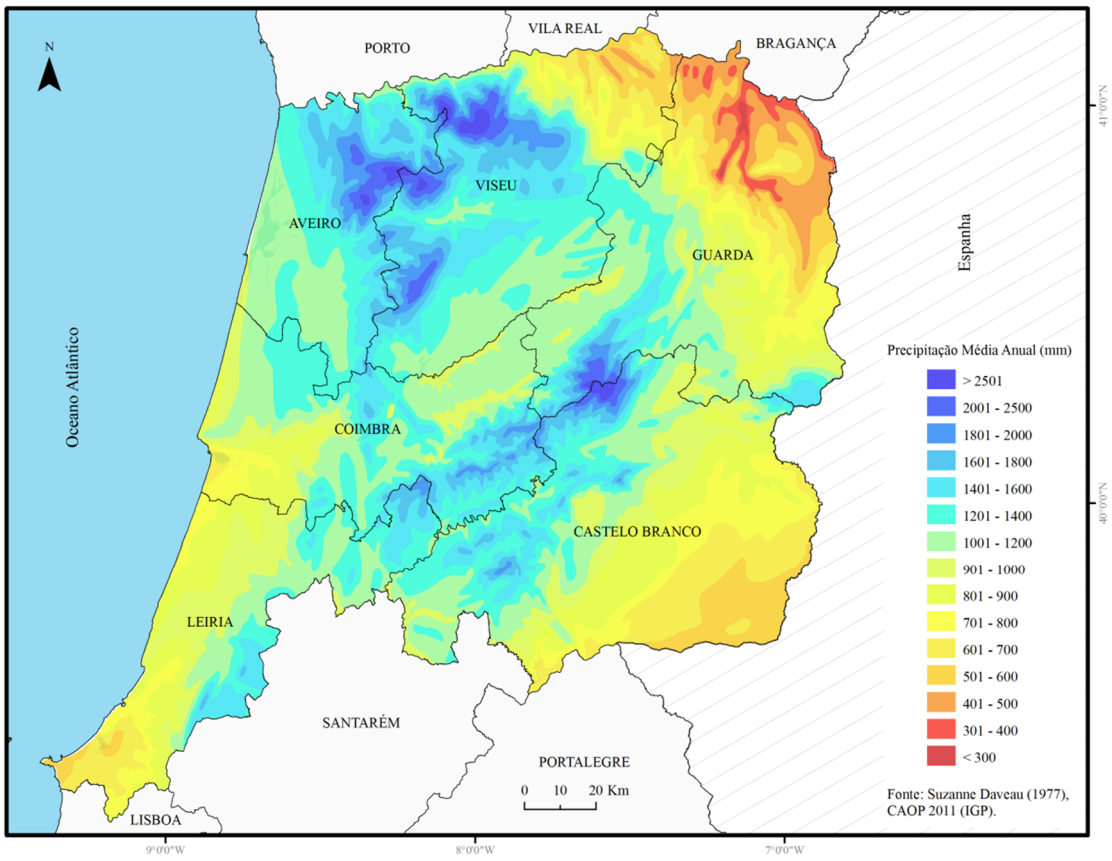

Figura 2.4 - Precipitação média anual da área de estudo, de 1931-1960.
Fonte: Adaptado de Suzanne Daveau (1977).

Na abordagem da ocupação do solo, resultante da *Corine Land Cover* (CLC)[9] 2006 (Figura 2.5), constata-se que as florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea (vegetação herbácea natural, matos, vegetação esclerófila e florestas abertas, cortes e novas plantações) ocupam grande parte da superfície, representando 32%. Complementarmente, as florestas (folhosas, resinosas e mistas) inserem-se também no quadro florestal da região, ocupando uma superfície correspondente a 27% do território.

[9] Na caracterização da ocupação do solo, foi utilizada a informação da *Corine Land Cover* 2006, uma vez que, neste estudo, foram analisados episódios compreendidos entre 2002 e 2005. Assim, esta informação era a mais adequada para a análise pretendida.

As áreas agrícolas heterogéneas (culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes, sistemas culturais e parcelares complexos, agricultura com espaços naturais e seminaturais e áreas agrícolas e agroflorestais e sistemas agroflorestais) ocupam uma superfície correspondente a 21% do território. As culturas permanentes e as culturas temporárias abrangem aproximadamente 6 e 7% da superfície, respetivamente.

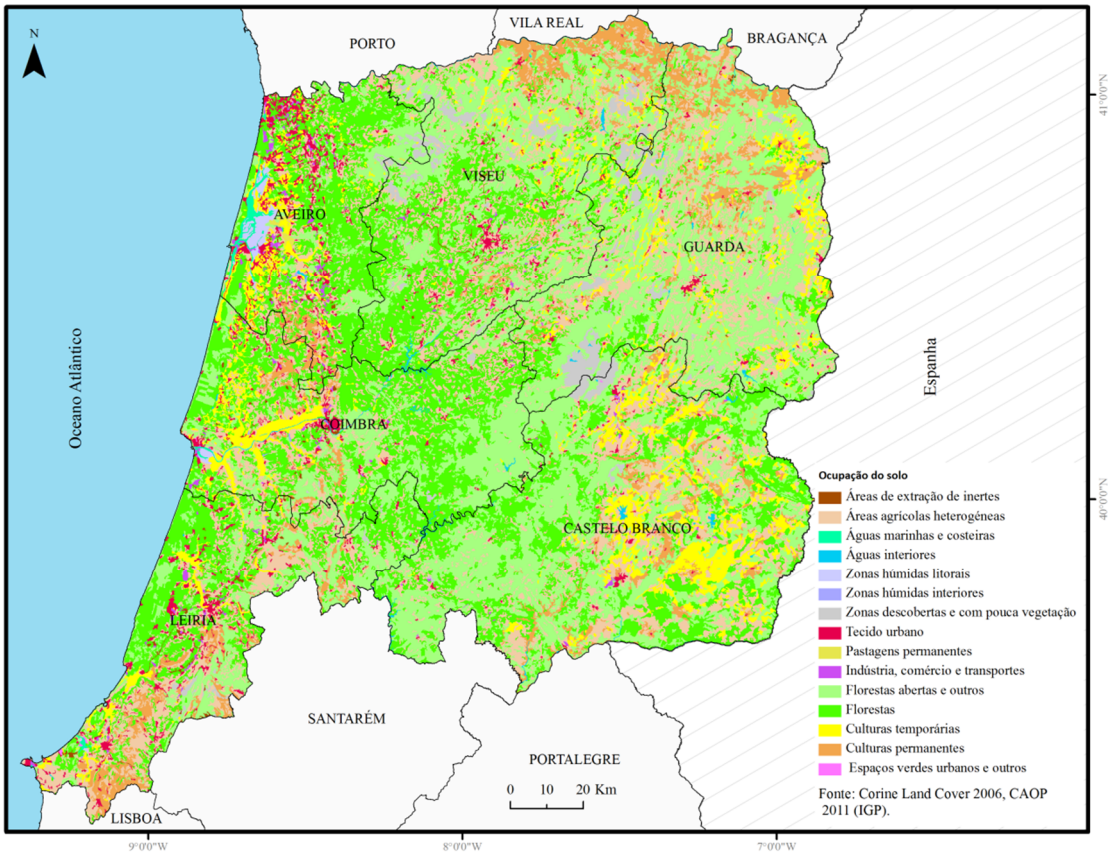

Figura 2.5 - Ocupação do solo da área de estudo.

As zonas descobertas e com pouca vegetação (praias, dunas e areais, rocha nua, vegetação esparsa e áreas ardidas), bem como o tecido urbano correspondem individualmente a 2% da superfície da região, embora no caso dos aglomerados urbanos coincidam, na sua maioria, com o centro das cidades.

As restantes classes de ocupação do solo apresentam uma menor extensão, representando, na totalidade, apenas 2% do território. As florestas abertas, cortes e novas plantações marcam consideravelmente o mosaico florestal da área de estudo. A paisagem é também marcada por um conjunto diversificado de espécies florestais resinosas (21%), folhosas (10%) e mistas (12%) e mato (8%).

Em síntese, e de acordo com Gaspar (1993), o Centro "é um mosaico-charneira entre o Norte e o Sul, pois é uma área de transição do Norte para o Sul com características muito diferentes, sendo constituído por uma multiplicidade de pequenos territórios com identidade própria"[10].

2.2. Recolha da informação e metodologia de trabalho

Como foi referido no capítulo inicial da investigação, um dos principais objetivos é comparar o desempenho dos índices de perigosidade de incêndio florestal. No sentido de atingir tal objetivo, foi delineado um esquema metodológico de trabalho envolvendo um conjunto sequencial de etapas, como evidencia a Figura 2.6.

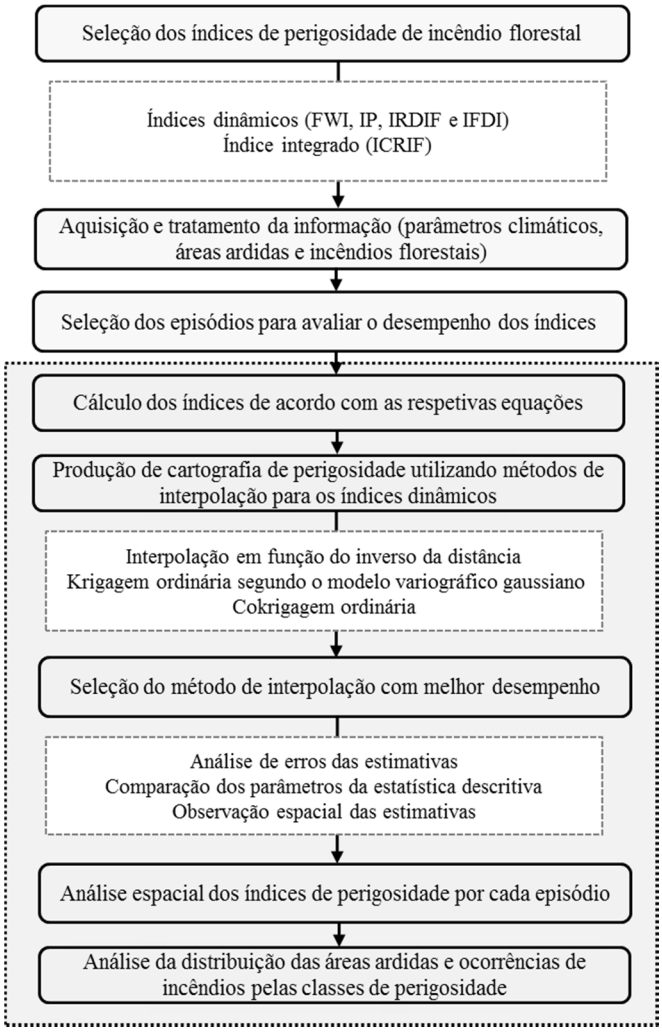

Figura 2.6 - Representação esquemática da metodologia adotada.

[10]Extraído de: http://pt.scribd.com/doc/39202344/Especializacao-funcional-na-Regiao-Centro.

Com o fim de aplicar e testar a metodologia empregue nesta dissertação, a escolha da área de estudo, os distritos da Região Centro, teve como base a ocorrência elevada de incêndios e a correspondente área ardida, particularmente os grandes incêndios que ocorreram em 2003 e 2005, como mostra a gráfico (Anexo II – Figura 3), tendo em vista a consequente validação dos resultados. Como refere Viegas *et al.* (2011, p. 10), os anos de 2003 (430 kha) e de 2005 (240 kha) (…) foram os dois piores em termos de áreas ardidas desde que há registos". Esta região reunia, pois, as condições proporcionadas aos objetivos iniciais desta investigação.

A primeira etapa baseou-se na pesquisa e seleção dos índices de perigosidade de incêndio florestal. Assim, foram considerados os seguintes índices: o Sistema de Indexação Canadiano *Fire Weather Index* (FWI), o Índice Italiano de Perigo de Incêndio (IFDI), o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF), o Índice Português (IP) e o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF). A seleção dos mesmos teve em conta, por um lado, as recomendações de alguns estudos já realizados e, por outro, a disponibilidade dos dados meteorológicos.

No caso do sistema de indexação canadiano FWI, a razão da sua seleção prende-se essencialmente pelos bons resultados obtidos num estudo realizado no âmbito de um projeto europeu MINERVE. Neste estudo procedeu-se à comparação do desempenho de vários métodos de indexação de perigo de incêndio em quatro países do Sul da Europa. Concluiu-se que o sistema canadiano apresentava um melhor desempenho quer na área ardida, quer no número de ocorrências por dia numa determinada área. Na consequência deste estudo, a Comissão Europeia recomendou que todos os países da UE adotassem um método comum de indexação de perigo de incêndio, sendo neste caso o FWI. Em resultado desta recomendação, o Instituto de Meteorologia começou a estimar diariamente o sistema canadiano de perigo de incêndio.

Para além do FWI, o IM utiliza atualmente o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF) e, como o mesmo apresenta resultados satisfatórios, considerou-se relevante a sua utilização neste trabalho.

Em relação ao Índice Italiano de Perigo de Incêndio (IFDI), este resulta de uma aplicação do Índice de Perigo de Incêndio Australiano (FFDM) ajustado à região mediterrânea, na Itália. Como uma parte considerável da área de estudo apresenta um clima com características mediterrâneas, afetado por uma secura estival, considerou-se importante a sua aplicação na Região Centro.

No que respeita ao Índice Português (IP), visto que este foi uma versão modificada do Índice de Nesterov adaptada ao território nacional, e utilizado pelo IM

durante vários anos, era conveniente a sua aplicação a fim de verificar sua consistência. O mesmo sucedeu com o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF), que foi proposto com a intenção de ser aplicado em Portugal. Segundo Lourenço (1994, p. 155), "a aplicação desta metodologia ao período de Junho a Outubro de 1982 a 1987 não só permitiu testar o índice mas também confirmou bons resultados da relação descrita". Por isso, considerou-se relevante a utilização deste índice.

Houve, ainda, a tentativa de considerar outras metodologias sobre a avaliação de perigosidade de incêndio florestal, mas a limitação relativa às variáveis consideradas não o permitiu.

Após a escolha dos aludidos índices, procedeu-se à recolha da informação geográfica necessária para o desenrolar das etapas seguintes. A obtenção dos dados provém de várias entidades, em diversos formatos e com diferentes tipos de informação. No caso dos incêndios florestais, a informação encontrava-se disponível *online* pela Autoridade Florestal Nacional, os dados meteorológicos foram cedidos pelo Instituto de Meteorologia e a informação geográfica complementar utilizada estava disponível por diferentes entidades.

Consultando a Base de Dados da AFN, foram recolhidos dados referentes às ocorrências dos incêndios florestais registados nos distritos de Aveiro, Viseu, Guarda, Castelo Branco, Coimbra e Leiria, para os meses de março a novembro, entre 2002 e 2006. De referir que estes dados poderão apresentar alguns erros e que a variação espacial e temporal da base de dados poderá ser interrogada. Aliás, convém mencionar que, no ano de 2010, houve uma reformulação do Sistema de Gestão de Incêndios Florestais (SGIF), no sentido de corrigir a base de dados das ocorrências de incêndios, em consequência da deteção de algumas incoerências que resultaram em valores diferentes dos que haviam sido publicados pela AFN[11]. Porém, atendendo que são os únicos dados disponíveis, os mesmos parecem garantir uma consistência suficiente para o estudo que se pretende desenvolver.

A série de dados meteorológicos, compreendida entre o mês de março a outubro, entre 2002 a 2006, corresponde aos valores registados em 11 estações meteorológicas, do IM, com valores observados para a temperatura do ar, temperatura máxima diária, humidade relativa do ar, velocidade do vento, humidade relativa do ar ao meio-dia,

[11] Adaptado de: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/estatistica-sgif.

temperatura do ar ao meio-dia, velocidade do vento ao meio-dia, precipitação nas últimas 24 horas.

Para a cartografia temática referente ao enquadramento da área de estudo, foi utilizada informação (temperatura) disponível *online* pelo Atlas do Ambiente Digital, do Instituto do Ambiente, o mapa de precipitação de Suzanne Daveau, a Carta Administrativa de Portugal (CAOP) 2011 e a *Corine Land Cover* (CLC) 2006 disponibilizada pelo Instituto Geográfico Português (IGP) e ainda o Modelo Digital de Terreno (MDT) disponível no site: http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/, a partir do qual se extraíram alguns dados, nomeadamente a altimetria.

Com o recurso a uma folha de cálculo, procedeu-se à organização e tratamento da informação referente aos incêndios florestais e aos dados climáticos. As ocorrências de incêndios florestais foram organizadas em função do dia da ocorrência, ano e número de pontos de ignição para os distritos em estudo, durante os meses de março a novembro. Esta disposição visava essencialmente a seleção prévia de determinados episódios para proceder à avaliação do desempenho dos índices de perigosidade de incêndio. No que concerne aos parâmetros climáticos, a informação foi preparada para cada episódio, tendo em conta a localização das estações meteorológicas e as respetivas variáveis envolvidas nos diferentes índices.

A escolha de episódios teve em consideração alguns critérios, como evidencia o Quadro 2.1. Era importante a análise dos índices em diferentes situações, englobando desde dias com condições de maior ou menor propensão à ocorrência de incêndios, compreendendo igualmente o registo de um número reduzido ou elevado de pontos de ignição e a área ardida.

Quadro 2.1 - Conjunto de episódios considerados na avaliação de perigosidade.

Episódios	**Nº de pontos de ignição**	**Critérios**
6 março 2002	3	Situação normalmente menos favorável à ocorrência de incêndios (número reduzido de pontos de ignição)
2 julho 2003	6	Situação com um número reduzido de pontos de ignição
2 agosto 2003	154	Situação afetada por uma onda de calor
27 julho 2004	121	Situação com um número médio de pontos de ignição
20 agosto 2005	215	Situação com um número elevado de pontos de ignição
21 agosto 2005	196	Situação com uma elevada área ardida
2 outubro 2005	153	Situação normalmente menos favorável (elevado número de pontos de ignição)

Foram considerados dois episódios em dias consecutivos, mas por razões diferentes. O episódio de 20 de agosto teve em linha de conta o número elevado de pontos de ignição e o episódio de 21 de agosto a dimensão da área ardida. Uma vez que as condições meteorológicas variam de uma forma quase contínua, os índices revelam resultados diferentes, determinando assim a maior ou menor propensão para a ignição e propagação de um incêndio. Por isso, os índices poderiam indicar condições favoráveis num dia, como também poderiam apresentar condições menos favoráveis noutro dia. Deste modo, os dois episódios foram analisados independentemente da sua sequência.

Numa fase posterior, os índices foram calculados de acordo com as respetivas fórmulas, com exceção do índice integrado, o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF). O seu processamento foi efetuado pelo IM e, posteriormente, procedeu-se ao tratamento e seleção da informação relativa à área de estudo, recorrendo às ferramentas dos SIG. Para a produção de modelos dos índices dinâmicos FWI, IFDI, IRDIF e IP, recorreu-se à extensão do *Geostatistical Analyst*, do *ArcGIS*, utilizando diferentes métodos de interpolação espacial.

Partindo da localização das estações meteorológicas consideradas, foram atribuídos os valores de perigosidade de incêndio dos respetivos índices. De referir que os dados resultantes da perigosidade são pontuais, pelo que houve a necessidade de proceder a uma interpolação desses valores, de forma a obter uma mancha contínua, associando-os, deste modo, a cada estação meteorológica. Importa mencionar que a cartografia elaborada integrou somente a informação associada a onze estações meteorológicas. Para produzir cartografia com maior pormenor permitindo fazer outra análise, era fundamental informação de uma rede mais densa de estações dispersas pelo território.

Para a análise de variáveis univariadas, foram utilizadas as interpolações, em função do inverso da distância (IDW), krigagem ordinária (KO) segundo o modelo variográfico gaussiano. Em relação às técnicas de interpolação multivariadas, foi utilizada apenas a cokrigagem ordinária (CKO), integrando a variável altimetria. Esta opção resultou da leitura efetuada de vários estudos, nos quais são comparados diferentes métodos de interpolação, assim como tendo em linha de conta as recomendações dos mesmos aplicados no âmbito da climatologia e de outras ciências ambientais.

Após a produção dos modelos com vários interpoladores dos dados dos índices, houve a necessidade de confrontar os diferentes resultados com vista à seleção do método de interpolação com o melhor desempenho para a distribuição espacial de

perigosidade de incêndio. Neste sentido, foram utilizadas as seguintes medidas de avaliação: erro médio, erro absoluto médio, erro percentual absoluto médio, o erro quadrático médio e o erro reduzido quadrático médio. Da mesma forma, foram calculados e comparados para as amostras os parâmetros da estatística descritiva: o valor médio, o valor mínimo, o valor máximo, a mediana e o desvio padrão, entre os valores observados e os valores estimados, como evidencia o Quadro 2.2.

A seleção do método mais ajustado à produção dos mapas de perigosidade teve como suporte a avaliação conjunta da observação visual como a análise dos erros ou desvios de estimação efetuados para os diferentes modelos.

Quadro 2.2 - Medidas de avaliação e parâmetros de estatística descritiva considerados na comparação dos resultados obtidos por cada modelo.

Medidas de avaliação	**Estatística descritiva**
Erro médio (EM), o mais próximo de zero que possível; Erro absoluto médio (EAM), menor possível; Erro percentual absoluto médio (EAM%); Erro quadrático médio (EQM), deve ser o mais baixo possível, indicando, assim, a menor dispersão dos erros.	Média (deverá ser o menor possível); Mediana; Desvio padrão; Valor mínimo; Valor máximo.

O processo de validação proposto baseou-se na análise espacial dos resultados derivados dos mapas produzidos e na análise estatística da relação entre os valores obtidos para os diferentes índices e a distribuição das áreas ardidas e ocorrências de incêndios florestais pelas classes de perigosidade, com intuito de avaliar o desempenho dos índices. Este método de validação colocou naturalmente algumas interrogações relativamente à cartografia das áreas ardidas, visto que os dados diários das mesmas são de difícil acesso.

Assim, em virtude da inexistência dessa informação e a necessidade de cartografar as áreas ardidas para os diferentes episódios, foram consideradas as ocorrências de incêndios dentro da área de estudo para validação dos índices nos diferentes episódios. Utilizando os SIG e tendo por base a cartografia das áreas ardidas da AFN, entre 2002 a 2005, foi viável sobrepor esta informação para os diferentes episódios com a localização dos pontos de ignição, disponíveis na base de dados da mesma entidade.

A propósito da informação coerente das áreas ardidas e em conformidade da mesma com a lista de ocorrências de incêndios, teve-se em atenção a dimensão dos

polígonos das áreas ardidas que intersectavam com os pontos de ignição. Na intersecção da área ardida com as ocorrências, apenas foram consideradas as ocorrências com uma área superior a 5 ha, dado que a AFN apenas disponibiliza a *shapefiles* para os incêndios com o mesmo tamanho. Portanto, foram consideradas unicamente as áreas ardidas com uma área superior a 5ha, o que de certo modo não se distancia dos resultados reais.

Importa referir que a análise do comportamento dos índices para determinadas situações, nomeadamente nos dias 6 de março de 2002 e 3 de julho de 2003, teve em conta simplesmente o número de ocorrências em resultado da inexistência de áreas ardidas cartografadas. No caso das áreas ardidas para alguns episódios, foram consideradas as ocorrências de incêndios que intersectavam com as áreas ardidas, que tiveram início anteriormente ao episódio em análise e que se prolongaram por vários dias. Por exemplo, na análise do dia 20 de agosto de 2005, foram considerados alguns incêndios que tiveram início no dia 19 de agosto e estes só refletiram em área ardida no dia 20. O mesmo aconteceu com o episódio de 21 de agosto, em que a maioria das ignições do dia 20 de agosto apenas retratou a área ardida no dia 21 de agosto.

No que respeita à análise da relação entre a ocorrência de fogos florestais e os diferentes índices, foi necessário, para além da cartografia das áreas ardidas, determinar a localização exata dos pontos de ignição de todos os incêndios ocorridos nos diferentes episódios, tendo como suporte a base de dados da AFN, que reúne um conjunto de informação, nomeadamente as coordenadas dos pontos de ignição dos incêndios diários, a sua dimensão, causa, tipo de pontos de ignição ocorridos num ficheiro vetorial de pontos, entre outros aspetos. Referir que as ocorrências, que apresentavam uma área total inferior a 1 hectare (fogachos) foram excluídas. Procedeu-se, de igual forma, à eliminação dos falsos alarmes da base de dados das ocorrências de incêndios.

Relativamente ao desempenho dos índices, não existe nenhuma metodologia bem definida para a sua avaliação, embora as metodologias sejam conhecidas e utilizadas por vários investigadores. Assim sendo, e tomando como referência alguns estudos efetuados previamente, foram utilizados diversos métodos que já foram testados para áreas e índices específicos. A título exemplificativo, foram empregues o teste estatístico da distância de Mahalanobis, o *Skill score* ou o desempenho dos índices, a normalização dos valores dos índices, a distribuição das ocorrências de incêndios e das áreas ardidas através das classes de perigosidade e, por último, o número de dias através das classes de perigo. Contudo, visto que no presente estudo foram analisados meramente alguns episódios, os resultados dos diferentes índices foram confrontados, utilizando os SIG e diversas operações de análise espacial. Procedeu-se, depois, através

de uma folha de cálculo, à análise da distribuição das áreas ardidas e ocorrência de incêndios pelas classes de perigosidade para os diferentes índices.

A cartografia temática produzida ao longo da dissertação foi realizada em SIG, com a resolução de 50 metros, adotando o sistema de referência, o ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System*), excetuando o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal, construído usando o sistema WGS84, para a resolução de 1.1km, correspondente à resolução das imagens de NOAA.

2.3. Índices de incêndio florestal utilizados

Neste ponto serão descritos, de uma forma sucinta, os índices utilizados, apresentando as variáveis necessárias e as respetivas fórmulas aplicadas para o cálculo dos mesmos[12].

2.3.1. Canadian Forest Fire Weather Index System

O sistema de indexação canadiano *Fire Weather Index* (FWI), desenvolvido pelo Serviço das Florestas Canadiano, permite determinar a perigosidade de incêndio a partir do estado dos diferentes combustíveis existentes no solo. O objetivo do FWI é incorporar os efeitos da meteorologia nos combustíveis florestais e, por conseguinte, no comportamento do fogo. Este índice é calculado com base num conjunto de parâmetros meteorológicos observados às 12 UTC, designadamente a:

- temperatura do ar;
- humidade relativa do ar;
- velocidade do vento, medida a 10m de altura;
- precipitação ocorrida nas últimas 24 horas.

Trata-se de um índice cumulativo, o que significa que o seu valor no dia reflete tanto as condições observadas, como a sua evolução ao longo do tempo desde do início do seu cálculo. Logo, é necessário conhecer os valores das variáveis meteorológicas para um conjunto prévio de dias.

Como podemos observar na Figura 2.7, a estrutura do sistema canadiano é constituída por três níveis:

[12] Os intervalos de classes identificadas para os diferentes índices utilizados encontram-se em Anexo III – Quadro 1.

- observações meteorológicas;

- índices de teor de humidade;

- índices de comportamento do fogo.

O sistema canadiano é constituído por seis componentes: três índices iniciais que representam o teor de humidade dos combustíveis (FFMC, DMC e DC), dois subíndices intermédios que revelam o comportamento ou a propagação do fogo (ISI e BUI) e um índice de perigo (FWI).

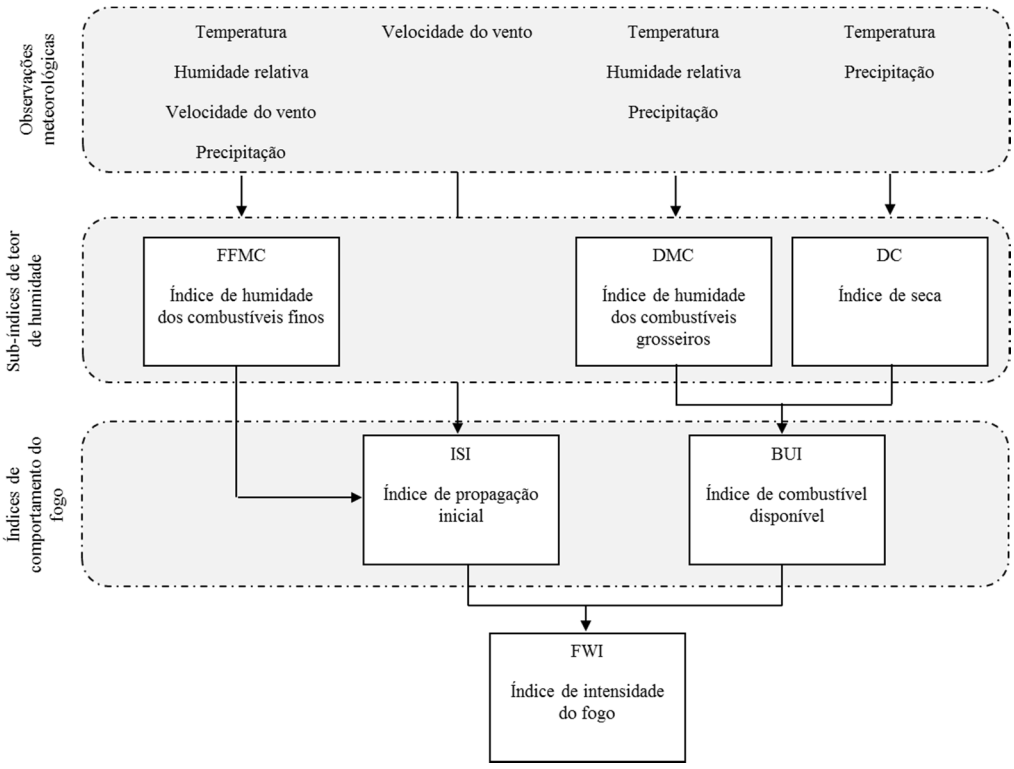

Figura 2.7 - Estrutura do sistema canadiano de indexação de perigo de incêndio (FWI).
(adaptado de Viegas *et al.*, 2004, p. 81)

Os três índices de teor de humidade dos combustíveis incluem:

- *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC): "Índice do teor de humidade de combustíveis finos mortos situados na camada superior da manta morta (folhada)" (Viegas *et al.*, 2011, p. 81).

- *Duff Moisture Code* (DMC): "Índice de teor de humidade da camada orgânica, de manta morta de profundidade moderada (5 a 10 cm) e pouco compacta" (*id.*, *ib.*);

- *Drought Code* (DC): "Índice de teor de humidade das camadas de combustível compactas e/ou profundas; com uma profundidade entre 10 a 20 cm" (*id.*, *ib.*);

Os dois índices de comportamento do fogo compreendem:

- *Initial Spread Index* (ISI): Índice de Propagação Inicial, que "incorpora o índice de teor de humidade dos combustíveis finos e o valor da velocidade do vento para produzir uma medida da velocidade de propagação do fogo em terreno plano" (*id., ib.*);

- *Build Up Index* (BUI): Índice de Combustível Disponível. "É uma combinação dos subíndices restantes, DMC e DC, para obter uma estimativa da proporção da vegetação disponível, que irá participar efectivamente na propagação" (*id., ib.*).

O resultado final do sistema canadiano é o *Fire Weather Index* (FWI) (Índice de Perigo Meteorológico), calculado em função dos seus subíndices ISI e BUI. Esta combinação "constitui o parâmetro de saída que mais directamente se relaciona com possibilidade de ocorrência de incêndios e com a respectiva perigosidade" (Viegas *et al.*, 2004).

Na estimação do FWI, são consideradas um conjunto de equações para cada subíndice, como poderemos verificar de seguida.

Simbologia utilizada nas equações[13]:
f(D) - Função de humidade dos combustíveis;
R - Índice de propagação inicial (ISI);
U - Índice de combustível disponível (BUI);
B - FWI (forma intermédia);
S - FWI (forma final).

1. Cálculo de f (D)

$$\text{Se } U \leq 80 \text{ que } \quad f(D) = 0{,}626\, U^{0{,}809} + 2$$
$$\text{Se } U > 80 \text{ que } f(D) = 1000 / (25 + 108{,}64\, e^{-0{,}023\, U})$$

2. Cálculo de B

$$B = 0{,}1\, R\, f(D)$$

3. Cálculo de S

$$\text{Se } B > 1 \text{ que } \quad S = EXP(2{,}72\, (0{,}434 \ln(B))^{0{,}647})$$

[13] A simbologia das equações, usadas nos diferentes subíndices do FWI, foi traduzida a partir dos documentos originais. De qualquer forma, procurou-se fazer a tradução mais adequada ao contexto.

$$\text{Se } B \leq 1 \text{ que } \quad S = B$$

Índice de humidade de combustíveis finos (FFMC)

Simbologia utilizada nas equações:

m_o - Conteúdo de humidade de combustível fino dos dias anteriores;

m_r - Conteúdo de humidade de combustível após a precipitação;

m - Conteúdo de humidade de combustível fino após a drenagem;

r_f - Precipitação efetiva, FFMC;

E_d - TEE (Teor de humidade de combustível) dos combustíveis finos após a drenagem;

E_w - TEE (Teor de humidade de combustível) dos combustíveis finos após humedecimento;

K_o - Valor intermédio do cálculo de K_d;

K_d - Logarítmico da taxa de seca, FFMC, Log_{10}m/dia;

K_1 - Valor intermédio do cálculo de K_w;

K_w - Logarítmico da taxa de humidade, Log_{10}m/dia;

F - FFMC;

F_o - FFMC dos dias anteriores.

1. F do dia anterior é F_o

2. Cálculo de m_o

$$m_o = 147{,}2\ (101 - F_o) / (59{,}5 + F_o)$$

3a. Se $\leq 0{,}5$ mm que $r_o = r_f$

$$\text{Se } r_o > 0{,}5 \text{ mm que } r_f = r_o - 0{,}5$$

3b. Cálculo de m_r em função de r_f e m_o

$$\text{Se } m_o \leq 150 \Rightarrow m_r = m_o + 42{,}5\ r_f\ (e^{-100/(251-m_o)})(1 - e^{-6{,}93/r_f})$$

$$\text{Se } m_o > 150 \Rightarrow m_r = m_o + 42{,}5\ r_f\ (e^{-100/(251-m_o)})(1 - e^{-6{,}93/r_f})(1 - e^{-6{,}93/r_f}) + 0{,}0015\ (m_o - 150)^2\ r_f^{0{,}5}$$

$$\text{Se } m_r > 250 \text{ que } m_r = 250$$

3c. $m_r = m_o$

4. Cálculo de Ed

$$E_d = 0{,}942\ H^{0{,}679} + 11e^{(H - 100)/10} + 0{,}18\ (21{,}1 - T)\ (1 - e^{-0{,}115H})$$

5a. Se $m_o > E_d$ que K_d

$$k_o = 0{,}424\ [1 - (H/100)^{1{,}7}] + 0{,}0694\ W^{0{,}5}\ [1 - (H/100)^{8}]$$

$$k_d = k_o * 0{,}581\ e^{0{,}0365T}$$

5b. Cálculo de m

$$m = E_d + (m_o - E_d) * 10^{-k_d}$$

6. Se $m_o < E_d$ que E_w

$$E_w = 0{,}618\ H^{0{,}753} + 10e^{(H - 100)/10} + 0{,}18\ (21{,}1 - T)\ (1 - e^{-0\ 115H})$$

7a. Se $m_o < E_w$ que k_w

$$k_l = 0{,}424\ \{1 - [(100 - H)/100]^{1{,}7}\} + 0{,}0694\ W^{0{,}5}\ \{1 - [(100 - H)/100]^{8}\}$$

$$k_w = k_l * 0{,}581\ e^{0\ 0365T}$$

7b. Cálculo de m

$$m = E_w - (E_w - m_o) * 10^{-k_d}$$

8. Se $E_d \geq m_o \geq E_w$ que $m = m_o$

9. Cálculo F como a função de m

$$F = 59{,}5\ (250 - m)\ /\ (147{,}2 + m)$$

Índice de humidade de combustíveis grosseiros (DMC)

Simbologia utilizada nas equações:

M_o - Conteúdo de humidade dos combustíveis dos dias anteriores;

M_r - Conteúdo de humidade dos combustíveis após a precipitação;

M - Conteúdo de humidade dos combustíveis após de drenagem;

K - Logarítmico da taxa de seca, DMC, Log_{10}m/dia;

r_e - Precipitação efetiva, DMC;

L_e - Longitude efetiva do dia DMC, em horas;

b - Variável declive no efeito de chuva no DMC;

P_o - DMC dos dias anteriores;

P_r - DMC após a precipitação;

P - DMC.

2a. Se $r_o \leq 1{,}5$ que $r_o = r_e$

Se $r_o > 1{,}5$ que $r_e = 0{,}92 r_o - 1{,}27$

2b. Cálculo de M_o em função de P_o

$$M_o = 20 + e^{(5{,}6348 - P_o/43{,}43)}$$

2c. Cálculo de b

$$\text{Se } P_o \leq 33 \qquad b = 100 / (0{,}5 + 0{,}3\, P_o)$$

$$\text{Se } 33 < P_o \leq 65 \qquad b = 14 - 1{,}3 \ln P_o$$

$$\text{Se } P_o > 65 \qquad b = 6{,}2 \ln P_o - 17{,}2$$

2d. Cálculo de M_r

$$M_r = M_o + 1000\, r_e / (48{,}77 - b r_e)$$

2e. Cálculo de P_r em função do M_r

$$P_r = 244{,}72 - 43{,}43 \ln (M_r - 20)$$

$$\text{Se } P_r < 0 \text{ que } P_r = 0$$

$$P_r = P_o$$

3. Pesquisa L_e na seguinte tabela

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
L_e	6,5	7,5	9,0	12,8	13,9	13,9	12,4	10,9	9,4	8,0	7,0	6,0

4. Cálculo de K

$$K = 1{,}894\, (T + 1{,}1)\, (100 - H)\, L_e * 10^{-6}$$

$$\text{Se } T < -1{,}1 \text{ que } T = -1{,}1$$

5. Cálculo de P em função de P_o

$$P = P_o + 100\ K$$

Índice de seca (DC)

Simbologia utilizada nas equações:

Q - Humidade equivalente ao DC, em unidade de 0,254 mm;

Q_o - Humidade equivalente ao DC, dos dias anteriores;

Q_r - Humidade equivalente após a precipitação;

r_d - Precipitação efetiva, DC;

V - Evapotranspiração potencial, unidade de 0,254 mm em água/dia;

L_f - Longitude do dia ajustada a DC, em horas;

D_o - DC dos dias anteriores;

D_r - DC após a precipitação;

D - DC.

2a. Se $r_o \leq 2{,}8$ que $r_o = r_d$

$$\text{Se } r_o > 2{,}8 \text{ que } r_d = 0{,}83 r_o - 1{,}27$$

2b. Cálculo de Q_o em função de D_o

$$Q_o = 800\ e^{-D_o/400}$$

2c. Cálculo de Q_r

$$Q_r = Q_o + 3{,}937\ r_d$$

2d. Cálculo de D_r em função de Q_r

$$D_r = 400 \ln (800/ Q_r)$$

$$\text{Se } D_r < 0; \text{ que } D_r = 0$$

$$D_r = D_o$$

3. Pesquisa L_f na seguinte tabela

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
L_f	-1,6	-1,6	-1,6	0,9	3,8	5,8	6,4	5,0	2,4	0,4	-1,6	-1,6

4. Cálculo de V

$$V = 0,36 (T + 2,8) + L_f$$

Se $T < -2,8$ que $T = -2,8$

Se $V < 0$ que $V = 0$

5. Cálculo de D em função de D_o

$$D = D_o + 0,5\ V$$

Índice de propagação inicial (ISI)

Simbologia utilizada nas equações:

f (W) - Função do vento;

f(F) - Função de humidade de combustíveis finos;

m - Teor de água no combustível fino após a drenagem;

R - ISI.

$$1.\ f(W) = e^{0,05039\ W}$$

$$2.\ f(W) = 91,9e^{-0,1386m} [1+m^{5,31} / (4,93 * 10^{7})]$$

$$3.\ R = 0,208\ f(W)\ f(F)$$

Índice de combustível disponível (BUI)

Simbologia utilizada nas equações:

U - Índice de combustível disponível (BUI);

P - DMC;

D - DC.

$$1a.\ \text{Se } P \leq 0,4D \text{ que } \quad U = 0,8\ PD/(P + 0,4D)$$

$$1b.\ \text{Se } P > 0,4D \text{ que } \quad U = P - [1 - 0,8D / (P + 0,4\ D)]\ [0,92 + (0,0114P)^{1,7}]$$

2.3.2. Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal

O Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF) constitui um índice de risco meteorológico simples, baseado na relação existente entre os valores de temperatura e da humidade relativa do ar. Este índice é calculado através da divisão da temperatura do ar (T) pela humidade relativa (U):

$$IRDIF_{LL}=T/U$$

Sendo,

$IRDIF_{LL}$ - Índice de risco de deflagração de fogo florestal;

T - Temperatura do ar, em °C;

U - Humidade relativa do ar, em %.

2.3.3. Índice Português

O Índice Português (IP), elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, baseia-se na avaliação das condições atmosféricas na proximidade com a ocupação do solo. É composto por três indicadores numéricos.

O primeiro [I (i)] pode ser considerado como um índice de ignição.

O segundo [B (i-1)] é cumulativo e é dado pela soma de indicadores diários do dia anterior (I), a partir da época de incêndios, corrigido por um coeficiente fator (R), que é uma função da precipitação (P), ocorrida no dia anterior.

O terceiro indicador [ifa (i)] é o índice de perigo final que resume as duas anteriores, apresentando uma correção para a velocidade do vento, que poderá ser considerada como um fator de ponderação de perigo de incêndio.

Para a estimação deste índice, são utilizados os seguintes parâmetros:

T - Temperatura do ar ao meio-dia, °C;

Td - Ponto de orvalho ao meio-dia, %;

V - Velocidade do vento ao meio-dia, Km/h;

P - Precipitação nas últimas 24 horas, mm.

No seu cálculo são consideradas um conjunto de equações:

1. O índice no primeiro dia de ignição

$$I\,(\mathrm{i}) = T\,(\mathrm{i})\,[\,T\,(\mathrm{i}) - Td\,(\mathrm{i})]$$

2.

$$B(i\ -1)\ = r * \sum_{k\ -i}^{i-1} I(k)$$

3. O índice de perigo de incêndio para o dia é o resultado da soma de valores dos dois dias anteriores, corrigido pela velocidade do vento e divididos em classes de acordo com tabelas específicas (Anexo III - Quadros 2, 3, 4 e 5).

$$Ifa(i)\ =\ I(i)\ \div\ B(i-1)$$

2.3.4. Italian Fire Danger Index

O *Italian Fire Danger Index* (IFDI) resulta do modelo de McArthur utilizado na Austrália, sendo considerado fiável apenas para a parte mediterrânica da Itália. Este método é composto por duas etapas:

- cálculo do déficit de água no solo e o índice de seca, em função da quantidade de precipitação, número de dias desde a última precipitação e a temperatura máxima do ar.

- cálculo do índice de perigo, em função do índice de seca, velocidade do vento, humidade relativa e temperatura do ar.

O cálculo do IFDI integra os seguintes parâmetros:

T - Temperatura máxima diária (°C);

N - Número de dias desde a última precipitação;

T - Temperatura do ar (°C);

P - Precipitação das últimas 24 horas (mm);

U - Humidade relativa do ar (%);

V - Velocidade do vento (Km/h).

O seu cálculo é efetuado através das seguintes equações:

Déficit de água do solo determinado pela fórmula:

$$IS(j) = IR(j) + AS$$

Sendo:
IS(j) - Déficit de água do dia;
IR(j) - Déficit de água reduzida;
AS - Aumento do déficit de água.

$$IR(j) = IS(j-1) – Pnet$$

Sendo:
IS(j-1) - Déficit de água do dia anterior;
Pnet = Precipitação líquida, com exclusão de interceção da dose (5 mm).

Pnet = Prec - 5
Se Pnet < 0 que Pnet = 0

O aumento do déficit (AS) encontra-se no quadro (Anexo III – Quadro 6) em função da temperatura máxima e IR (j).

O índice de seca (Ar) encontra-se nos quadros (Anexo III – Quadros 7, 8, 9 e 10) em função de IS (j), número de dias desde a última precipitação e a quantidade de precipitação.

O índice de perigo meteorológico (IMPI) é determinado pela equação:

$$IMPI = 1.33 * Ar * 2^{(0\ 048T\ --\ 0\ 051U\ +\ 0\ 033V)}$$

2.3.5. Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal

O Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF) integra diferentes indicadores, como ilustra a Figura 2.8:

- um índice meteorológico FWI (*Fire Weather Index Canadian Index*);

- um mapa de risco estrutural, indicativo da facilidade de deflagração e propagação de incêndios florestais, frequentemente denominado mapa de combustível, baseado na ocupação do solo CORINE 2000;

- o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), indicador do estado de *stress* em que a vegetação se encontra.

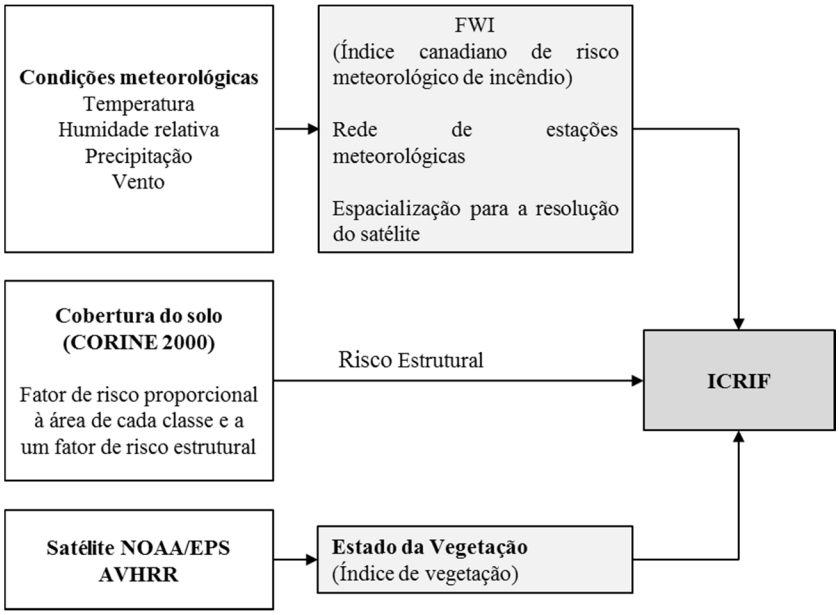

Figura 2.8 - Modelo do ICRIF.

(adaptado de Bugalho e Pessanha, 2007[14])

No primeiro caso, o índice é processado diariamente pelo Instituto de Meteorologia, a partir dos dados climáticos provenientes de 85 estações do continente. Numa fase posterior, os valores são espacializados, calculando-se um valor para cada um dos pixéis, para a resolução de 1.1km correspondente à resolução das imagens de NOAA.

Relativamente ao índice de risco estrutural, é obtido para cada pixel a percentagem da área coberta por cada uma das classes de ocupação do solo da *CORINE* 2000 (A_k). No caso da classe de ocupação do solo, foi estabelecido empiricamente um valor de risco relacionado com a facilidade de deflagração e propagação (R_K). No final, resulta um risco estrutural (FUELRISK) para cada pixel, sendo uma combinação dos diferentes riscos pela área correspondente.

$$\mathrm{FUELRISK} = \sum (A_k * R_k)$$

[14] Disponível em: http://www.nicif.pt/riscos/Documentos/Congressos/I_Cong_Int_Riscos_PDFs/56-Lourdes_Bugalho_Analise_incendios_florestais.pdf.

O NDVI é calculado recorrendo às medidas do radiómetro AVHRR/NOAA (Advanced Very High Resolution Radiometer). A reflectância medida no canal 1 (Ch1, visível: 0.58 – 0.68 mícron) e no canal 2 (Ch2, infravermelho próximo: 0.725 – 1.0 mícron) são usados no cálculo (Bugalho e Pessanha, 2007, p. 158).

NDVI (PIXEL) = (Ch2-Ch1)/(Ch2+h1)

Assim, o ICRIF representa um risco conjuntural, calculado através da combinação ponderada dos parâmetros anteriormente mencionados. "Os pesos correspondentes a estes indicadores são valores selecionados e compreendidos entre o 0 e 100, para que o valor final do ICRIF esteja compreendido também entre 0 e 100. Note-se, no entanto, que, sendo a escala do FWI uma escala aberta, a do ICRIF também é. Existem, assim, vários valores pontuais de ICRIF superiores a 100" (Bugalho e Pessanha, 2007, p. 109).

Capítulo 3
Produção de modelos de interpolação espacial de perigosidade de incêndio

Capítulo 3. Produção de modelos de interpolação espacial de perigosidade de incêndio

Um dos objetivos deste trabalho é comparar alguns métodos de interpolação espacial, com a finalidade de verificar a interpolação mais ajustada, no caso dos índices dinâmicos. Para tal, foram realizadas várias simulações com vários interpoladores utilizando os dados dos índices.

Para uma melhor compreensão dos modelos de interpolação espacial, efetua-se, neste capítulo, uma breve abordagem dos mesmos. Posteriormente, serão demonstrados os resultados obtidos pelos diferentes métodos de interpolação, nos vários episódios, com o objetivo de encontrar o método de interpolação com melhor desempenho.

3.1. Métodos de interpolação espacial

Os métodos de interpolação espacial têm sido desenvolvidos e aplicados em diferentes áreas de investigação. De acordo com o Lourenço (1998), os mapas de isolinhas, que demonstram a variabilidade de determinadas variáveis, constituem resultados cada vez mais frequentes no âmbito da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (citado por Jakob *et al.*, 2006, p. 7). Estes, além de incluírem estas técnicas, permitem ainda efetuar procedimentos de análise e visualização, funcionando como uma mais-valia para as diferentes áreas de investigação.

A interpolação é "uma técnica utilizada para a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte os dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas" (Jakob *et al*., 2006, p. 8). De acordo com Santos (2009, p. 101), "o principal problema na estimação de dados [meteorológicos] relaciona-se com a disponibilidade de estações meteorológicas e dispersão do território".

A interpolação espacial parte do princípio expresso pela primeira lei da geografia, proposto por Waldo Tobler (1979): tudo está relacionado, mas as realidades tendem a ser semelhantes em locais mais próximos do que em locais mais afastados. "Este conceito fundamenta a base das relações espaciais entre fenómenos geográficos, a correlação espacial" (Gonçalves, 2009, p. 36).

De acordo com Li & Heap (2008, p. 4), os métodos de interpolação espacial dividem-se em três categorias, designadamente os métodos não geoestatísticos, geoestatísticos e os métodos combinados, como evidencia o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Métodos de interpolação espacial[15].

Não geoestatísticos	**Geoestatísticos**		**Combinados[16]**
	Univariados	**Multivariados**	
Vizinho mais próximo Triangulação (TIN) Vizinhos naturais Função do inverso da distância Modelos de regressão Análise de superfície de tendência Splines Classificação Árvore de regressão Séries de Fourier	Krigagem simples Krigagem ordinária Krigagem de blocos Krigagem fatorial Krigagem dupla Krigagem indicativa Krigagem disjuntiva	Krigagem universal Krigagem simples com média local variável Krigagem com deriva externa Cokrigagem simples Cokrigagem ordinária Cokrigagem co-localizada Krigagem fatorial multivariada Krigagem indicativa Cokrigagem indicativa Krigagem de probabilidade	*Classification combined other interpolation methods* *Trend surface analysis combined with kriging* *Lapse rate combined with kriging* *Linear mixed model* *Regression trees combined with kriging* *Residual maximum likelihood-empirical best linear unbiased predictor* *Regression kriging* *Gradient plus inverse distance squared*

Fonte: Li & Heap (2003, p. 5) (adaptado).

No primeiro caso, a interpolação espacial fundamenta-se na "utilização de uma função matemática da distância ou na função do grau de suavização" (Gonçalves, 2009, p. 37). Já os métodos geoestatísticos "resultam da união do conceito de variáveis aleatórias com a noção de variáveis regionalizadas, gerando um novo conceito de funções aleatórias que incorporam também características estatísticas das amostras (*id*.) e, por último, os métodos combinados "derivam da aplicação dos dois conceitos anteriores" (*id*.).

Do conjunto dos métodos de interpolação espacial, em função do inverso da distância, a krigagem ordinária e a cokrigagem ordinária serão expostos de uma forma mais detalhada, uma vez que serão utilizados neste trabalho.

A função do inverso da distância (IDW) "estima os valores de um atributo em pontos não amostrados usando uma combinação linear dos valores aos pontos amostrados ponderados por uma função inversa da distância desde o ponto de interesse

[15] O conjunto de métodos de interpolação espacial apresentado resulta de uma sistematização dos modelos considerados num estudo desenvolvido por Li & Heap, em 2008. Convém salientar, no entanto, que não foram enumerados todos os métodos, apenas os considerados mais importantes no âmbito das ciências ambientais. Uma explicação com maior pormenor sobre os diversos métodos de interpolação espacial pode ser consultada em diferentes estudos, como é o caso de Nicolau (2002), Li & Heap (2008), Santos (2009).

[16] Relativamente aos métodos combinados, foram consideradas as designações do documento original, uma vez que a tradução das mesmas poderia não ser a mais correta.

para os pontos amostrados. Pressupõe que os pontos da amostra que estão mais próximos uns dos outros são mais parecidos do que os mais afastados" (Li & Heap, 2008, p. 7). De acordo com Santos (2009, p. 102), "o método do inverso da distância de uma potência (…) pode ser exato ou aproximado dependendo da configuração dada pelo autor".

O principal fator que influência a precisão do IDW é o valor do parâmetro de potência. Os pesos diminuem à medida que a distância aumenta, especialmente quando o valor do parâmetro aumenta o poder, de modo que as amostras mais próximas têm um peso maior e mais influência na estimativa e o resultado da interpolação espacial é local (Isaaks e Srivastava, 1989, citado por Li & Heap, 2008, p. 7). A fórmula é expressa da seguinte forma:

$$\hat{Z}\,(S_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i\, Z\,(S_i)$$

Onde:

$\hat{Z}\,(S_0)$ – Valor a ser predito para o local S_0;

N – Número de pontos observados usados ao redor do valor a ser predito;

λ_i – Pesos atribuídos para cada ponto observado a ser utilizado;

$Z\,(S_i)$ – Valor observado no local S_i.

A krigagem, "sugerido como um dos procedimentos mais adequados" (Monteiro & Fernandes, 1996, p. 65), pressupõe que "os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados" (Santos, 2009, p. 103). De referir também que este método "assume que os dados recolhidos de uma determinada população encontram-se correlacionados no espaço até uma distância *x*" (Cunha *et al.*, 2009, p. 6). Contudo, "a partir de determinada distância de *x*, não se encontrarão valores aproximados de *x* porque a correlação espacial pode deixar de existir". A krigagem atribui diferentes pesos às amostras e estas são calculadas de forma a minimizar a variância estimada. Esta variância é calculada em função de um modelo selecionado com base num variograma, [que pode ser gaussiano, exponencial, esférico e linear], a localização de cada uma das amostras em relação às outras e os pontos que se pretende estimar (Freitas *et al.*, 2010, p. 8).

Entre os vários métodos de interpolação disponíveis, a krigagem é "considerado o melhor estimador linear sem viés, pois as suas estimativas são combinações lineares

ponderadas dos dados existentes (baseia-se numa média-móvel-ponderada) e faz com que a média dos erros (diferença entre o valor real e o valor estimado) seja nula. Esta técnica é a melhor porque os erros de estimação apresentam uma variância (variância da estimação) mínima" (*id.*, p. 9). Para além disso, é o procedimento geoestatístico mais utilizado, na medida em que "possui uma excelente flexibilidade para a interpolação, podendo interpolar grandes áreas, com melhor precisão, mantendo os valores originais e uma boa visualização dos dados em relação aos demais métodos" (Cunha *et al.*, 2009, p. 6).

A krigagem abrange um conjunto de métodos de estimação: simples, ordinária, universal, disjuntiva, indicativa, de probabilidade, cokrigagem, etc. (Oliver e Webster (1990), citado por Camargo; Jacok *et al.*, (2006)). Os diferentes tipos de krigagem variam em função do modelo adotado para a função aleatória z (x) (Goovaerts, 1997, citado por Li & Heap, 2008, p. 28).

Segundo o mesmo autor, admite que a função aleatória de interesse Z (X) é usualmente decomposta em duas componentes aditivas: uma componente residual R (x) e uma componente designada por tendência M (x). Assumindo que a componente residual tem uma média nula, o valor esperado da função aleatória Z (x) será M (x), ou seja, a componente de tendência. Em função do modelo considerado para a tendência, m (x), podemos distinguir três técnicas do âmbito da geostatística: a krigagem simples, a krigagem ordinária e a krigagem universal (Goovaerts, citado por Garcia, 2004, p. 8, 1997; Santos, 2009, p. 103). Neste trabalho, serão apenas apresentadas as técnicas krigagem ordinária e cokrigagem, que se descrevem a seguir.

A krigagem ordinária "assume que o valor esperado da função aleatória Z (x) é constante mas desconhecido" (Nicolau, 2002, p. 27). Esta técnica caracteriza-se por "considerar que produzem flutuações locais da média, limitando o domínio de estacionariedade da mesma para cada vizinhança local" (Garcia, 2004, p. 81). É determinada através da seguinte equação:

$$Z_{OK}\,(x_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \, \mathrm{Z}\,(x_\mathrm{i})$$

Onde;

$Z_{OK}\,(x_0)$ – Estimativa do fenómeno Z para a localização 0;

λ_i – Fator de ponderação atribuído à observação do fenómeno Z na localização i;

$\mathrm{Z}\,(x_\mathrm{i})$ – Observação do fenómeno Z na localização i.

O método de interpolação cokrigagem permite "integrar uma série de informação secundária referente a outros atributos relacionados com a principal" (*id.*). Segundo Nicolau (2002), essa contribuição só é significativa se as variáveis auxiliares estiverem relacionadas com a variável a estimar e se a densidade de amostragem daquelas for superior à da variável de interesse. É estimada a partir da seguinte fórmula:

$$[Z_1(x_0)]^*_{CK} = \sum_{i=1}^{N_1} a_i Z_1(x_i) + \sum_{i=1}^{N_2} b_i Z_2(x_j)$$

Em que:

$Z_1(x_0)$ – Estimativa do fenómeno Z para a localização 0;

$Z_1(x_i)$ – Observação do fenómeno Z na localização i;

$Z_2(x_j)$ – Valor da variável auxiliar para a localização j;

n_1, n_2 – Número de observações das variáveis Z_1 e Z_2 utilizadas na estimação.

Quando os dados da amostra são escassos ou se encontram muito pouco correlacionados no espaço, a estimação melhora substancialmente quando a informação complementar é incorporada. A variável principal é estimada num ponto mediante uma combinação linear dos dados obtidos em lugares diferentes para as variáveis principal e secundária (Garcia, 2004, p. 82).

3.2. Características dos métodos de interpolação espacial

Os métodos de interpolação espacial são aplicados em diferentes áreas ou até mesmo para variáveis específicas de acordo com os dados a utilizar. Cada método tem, portanto, os seus pressupostos e características específicas, podendo ser global ou local, exato ou inexato, determinista ou estocástico, gradual ou abrupto, univariado ou multivariado (Li & Heap, 2008, p. 27).

Primeiramente, as técnicas globais utilizam a "totalidade das observações disponíveis para o domínio espacial de interesse no cálculo de cada estimativa (Nicolau, 2002), como por exemplo, a análise de superfície de tendência, análise espectral (séries de Fourier) e modelos de regressão polinomial. Já as técnicas locais recorrem apenas às observações que se encontram na vizinhança em torno da posição geográfica para a qual se pretenda produzir a estimativa (*id.*), como é o caso do vizinho mais próximo, em função do inverso da distância, spline, krigagem e polígonos de Thiessen.

Os métodos de interpolação podem ser exatos ou inexatos. Um método de interpolação que prevê um valor idêntico ao valor medido na estimativa é conhecido como um interpolador exato. Todos os outros métodos são inexatos, o que significa que pressupõem um valor diferente do valor conhecido (Burrough & McDonnell, 1998, citado por Li & Heap, 2008, p. 27). A função do inverso da distância e as funções de base radial são interpoladores exatos, enquanto polinomial global e local são inexatos.

As técnicas de interpolação podem ser agrupadas em métodos estocásticos e métodos deterministas. No primeiro caso, fornecem tanto as estimativas como os erros associados, ou seja, as incertezas representadas como variâncias estimadas. No segundo caso, não incluem esses tipos de erros e apenas produzem as estimativas. Por outras palavras, os métodos determinísticos não têm nenhuma avaliação de erros com os valores previstos, enquanto os métodos estocásticos fornecem uma avaliação dos erros associados aos valores previstos (Li & Heap, 2008, p. 27).

Os métodos de interpolação espacial (por exemplo, vizinhos mais próximos) produzem uma superfície discreta e abrupta e os outros (por exemplo, com base na distância média ponderada) criam uma superfície suave e gradual. A suavidade depende dos critérios utilizados na seleção do peso dos valores em relação à distância. Os critérios incluem as relações de distância simples (por exemplo, a função do inverso da distância), a minimização da variância (por exemplo, krigagem simples, krigagem ordinária e cokrigagem) e minimização de curvatura e execução de suavidade (por exemplo, splines) (*id*.).

Os métodos de interpolação espacial podem ser desenvolvidos utilizando uma ou várias variáveis. Segundo Li & Heap (2008), os métodos que envolvem unicamente uma variável na estimação, como a krigagem simples, a krigagem ordinária, a krigagem de blocos denominam-se métodos univariados e os que incluem informação secundária, nomeadamente cokrigagem simples, cokrigagem ordinária, krigagem com deriva externa, designam-se métodos multivariados.

3.3. Medidas de avaliação dos resultados dos métodos de interpolação espacial

Com a progressiva aplicação dos métodos de interpolação espacial, há uma preocupação crescente sobre a sua exatidão e precisão (Hartkamp *et al.*, 1999). Tal como acontece com outras técnicas de estatística, os métodos de interpolação espacial produzem um determinado grau de erros relacionado com a estimativa. Por isso, é fundamental a avaliação dos resultados dos métodos de interpolação, calculando os

"desvios produzidos pelo modelo de estimação, através dos valores estimados e dos valores observados" (Santos, 2009, p. 107).

As medidas de erro mais utilizadas são: erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), erro percentual absoluto médio (EAM%), erro quadrático médio (EQM) e erro reduzido quadrático médio (ERQM).

O erro médio é usado para determinar o grau de viés nas estimativas, muitas vezes referido como o "preconceito" (Isaaks e Srivastava, 1989, citado por Li & Heap, 2008, p. 43), mas deve ser usado com atenção enquanto indicador de precisão, porque as estimativas negativas e positivas contrapõem-se mutuamente e o EM resultante tende a ser menor do que o erro real (Nalder e Wein, 1998, citado por Li & Heap, 2008). É determinado a partir da seguinte fórmula:

$$EM = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \hat{z}\,(x_i) - z\,(x_i)$$

Onde:

EM – Erro médio cometido na estimação do fenómeno;

n – Número de observações do fenómeno;

$\hat{z}\,(x_i)$ – Observação do fenómeno para uma posição geográfica i;

$z\,(x_i)$ – Observação do fenómeno para uma posição geográfica i.

O erro absoluto médio (EAM) reflete a magnitude de desvio cometido, em unidades independentes da escala de valores associada às observações do fenómeno (Nicolau, 2002, p. 35). É calculado através da seguinte equação:

$$EAM = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} |z_i^* - z_i|$$

Em que,

EAM – Erro absoluto médio cometido na estimação do fenómeno;

n – Número de observações do fenómeno;

z_i^* – Observação do fenómeno para a posição geográfica i;

z_i – Estimativa do fenómeno para a posição geográfica i.

O erro percentual absoluto médio (EAM%) não depende da direcção dos desvios mas (…), possui a vantagem de fornecer uma ordem de grandeza do erro cometido em

percentagem (*id.*, p. 36). É importante referir que "o erro percentual absoluto médio de um modelo seja tão pequeno quanto possível" (*id.*). Para o seu cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$EAM\% = 1/n_{i=1}^{n} \left[\left| \frac{f^{\wedge}(x,y) - f(x,y)}{f(x,y)} \right| * 100 \right]$$

Sendo:

EAM% – Erro percentual absoluto cometido na estimação do fenómeno em estudo para a posição geográfica i;

f(x, y) – Observação do fenómeno para a posição geográfica i;

f^(x, y) – Estimativa do fenómeno para a posição geográfica i.

O erro quadrático médio (MSE) é utilizado como estimativa da variância dos desvios quando a média dos desvios é nula. Na comparação deste parâmetro produzido por diferentes estimações para o mesmo conjunto de dados, é habitual optar pelo modelo que apresente o EQM mais reduzido (Nicolau, 2002, p. 37). É calculado através da seguinte expressão:

$$EQM = 1/n_{i=1}^{n} (f^{\wedge}(x_i, y_i) - f(x_i, y_i))^2$$

Em que:

EQM – Erro quadrático médio cometido na estimação do fenómeno;

n – Número de observações do fenómeno;

f(x, y) – Observação do fenómeno para a posição geográfica i;

f^(x, y) – Estimativa do fenómeno para a posição geográfica i.

O erro reduzido quadrático médio fundamenta-se na variância de erro fornecido pela krigagem. Se os erros reduzidos forem normalmente distribuídos, o parâmetro ERQM deve ser próximo de 1 (Nicolau, 2002, p. 38). É efetuado de acordo com a seguinte fórmula:

$$ERQM = 1/n_{i=1}^{n} \left[\frac{(f^{\wedge}(x_i, y_i) - f(x_i, y_i))^2}{\sigma_k^2 (f^{\wedge}(x_i, y_i))} * 100 \right]$$

Onde:

ERQM – Erro reduzido quadrático médio cometido na estimação do fenómeno;

n – Número de observações do fenómeno disponíveis;

σ_k^2 (f^ (x_i, y_i)) – Variância do erro associada à estimativa do fenómeno produzida por krigagem para a localização i.

De acordo com Nicolau (2002, p. 38), deve-se também comparar algumas estatísticas descritivas (valor médio, mediana, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo) das estimativas produzidas por cada técnica com as estatísticas descritivas equivalentes das observações.

3.4. Análise comparativa dos resultados obtidos pelos diferentes métodos de interpolação espacial nos vários episódios

Episódio de 6 de março de 2002

Da análise dos resultados obtidos pelos métodos de interpolação neste episódio, constata-se a existência de diferenças no comportamento dos algoritmos considerados. Assim, na estimação de perigosidade de incêndio florestal, no dia 6 de março de 2002, a interpolação desenvolvida em função do inverso da distância demonstrou, de uma forma geral, melhores resultados na maioria dos parâmetros considerados para os diferentes índices FWI, IFDI, IRDIF e IP. Os outros modelos, desenvolvidos através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano e a cokrigagem, evidenciaram piores resultados, como ilustra o Quadro 3.2.

Se tivermos em conta unicamente o erro médio, os modelos em função do inverso da distância e a cokrigagem ordinária registaram um menor erro médio nos diferentes índices, com exceção do IP, cujo modelo desenvolvido através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano, apresentou um erro médio inferior.

A técnica em função do inverso da distância evidenciou menores valores nos vários índices relativamente aos parâmetros de avaliação, erro absoluto médio e erro percentual absoluto médio.

Relativamente ao erro quadrático médio, o método em função do inverso da distância foi igualmente o que apresentou menores valores nos diferentes índices, excetuando o FWI, cuja interpolação desenvolvida através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano, indicou um valor inferior.

Quadro 3.2 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 6 de março de 2002, segundo alguns métodos de interpolação.

Índices	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	**0,00**	**0,82**	**64,94**	1,35
	KO-Gaussiano	0,06	**0,82**	122,03	**1,33**
	COK-Ordinária	**0,00**	0,87	69,24	1,42
IFDI	IDW	**0,00**	**0,63**	**35,09**	**0,76**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,65	36,55	0,80
	COK-Ordinária	**0,00**	0,65	36,45	0,79
IRDIF	IDW	**0,00**	**0,04**	**15,18**	**0,00**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,05	17,95	**0,00**
	COK-Ordinária	**0,00**	0,05	17,60	**0,00**
IP	IDW	-0,01	**0,98**	**22,03**	**1,83**
	KO-Gaussiano	**0,00**	1,26	28,36	2,06
	COK-Ordinária	0,05	1,30	32,50	2,28

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Após uma observação visual, procede-se à análise crítica dos resultados obtidos entre os valores observados e os valores estimados pelas estatísticas de erros, em consequência da produção anteriormente descrita. Os resultados alcançados variam em função dos índices, como demonstra o Quadro 3.3.

No caso do FWI, as interpolações em função do inverso da distância e da cokrigagem ordinária apresentaram valores mais próximos dos valores observados no que respeita à média. Relativamente à mediana e máximo, o método em função do inverso da distância mostrou valores mais próximos. Já o modelo realizado através da cokrigagem ordinária alcançou valores mais próximos no que toca ao desvio padrão e mínimo.

Relativamente ao IFDI, a interpolação desenvolvida através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou valores mais próximos dos valores observados para as diferentes medidas de estatística descritiva: média, mediana, desvio padrão, mínimo e máximo. O mesmo já não aconteceu com o IRDIF, em que os diferentes modelos de interpolação evidenciaram valores distintos. A técnica em função do inverso da distância mostrou valores mais próximos da média e mediana. Já a interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária revelou valores mais próximos de desvio padrão, mínimo e máximo dos valores observados.

Na análise do IP, o modelo realizado através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou valores mais próximos da média e a técnica

em função do inverso da distância obteve valores mais próximos dos valores observados nas restantes medidas descritivas: mediana, desvio padrão, mínimo e máximo.

Quadro 3.3 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 6 de março de 2002.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	1,26	0,95	1,07	0,41	4,25
	IDW	**1,25**	**1,22**	0,23	0,90	**1,76**
	KO-Gaussiano	1,22	1,29	0,17	0,87	1,35
	COK-Ordinária	**1,25**	1,34	**0,26**	**0,85**	1,68
IFDI	Valores observados	1,78	1,40	0,86	0,86	3,92
	IDW	1,82	1,72	0,30	1,62	2,56
	KO-Gaussiano	**1,79**	**1,68**	**0,38**	**1,51**	**2,60**
	COK-Ordinária	**1,79**	**1,68**	0,37	**1,51**	2,55
IRDIF	Valores observados	0,26	0,25	0,05	0,20	0,36
	IDW	**0,25**	**0,25**	0,01	0,25	0,27
	KO-Gaussiano	**0,25**	0,24	**0,02**	0,23	0,28
	COK-Ordinária	**0,25**	0,24	**0,02**	**0,22**	**0,29**
IP	Valores observados	4,45	4,00	1,37	2,00	6,00
	IDW	4,40	**4,37**	**0,87**	**2,67**	**5,91**
	KO-Gaussiano	**4,46**	4,61	0,32	3,91	4,84
	COK-Ordinária	4,51	4,70	0,54	3,63	5,16

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A figura que se segue demonstra as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 6 de março de 2002, desenvolvidas segundo os três modelos utilizados para os quatro índices dinâmicos. Pela leitura da mesma, e atendendo aos resultados derivados tanto das medidas de avaliação das estimativas como da estatística descritiva, a interpolação em função do inverso da distância foi a que apresentou um melhor desempenho.

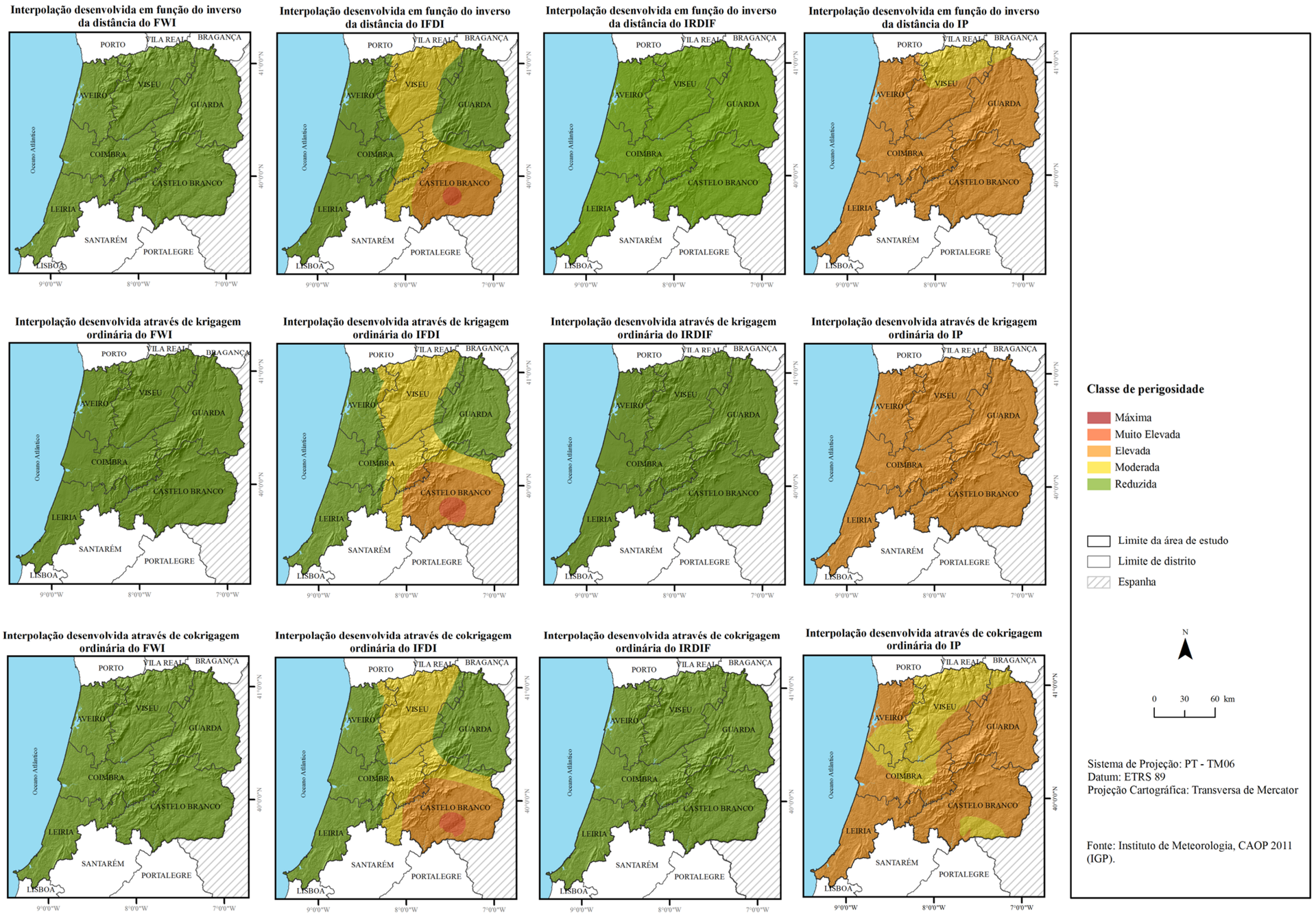

Figura 3.1 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 6 de março de 2002.

Episódio de 2 de julho de 2003

Na avaliação de perigosidade de incêndio, no dia 2 de julho de 2003, a interpolação desenvolvida através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano foi o modelo com melhor desempenho. Por outro lado, a função do inverso da distância evidenciou os piores resultados, como ilustra o Quadro 3.4.

Na análise do parâmetro erro médio, a interpolação efetuada através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou menores valores para os índices FWI, IFDI e IRDIF, e o método desenvolvido em função do inverso da distância demonstrou um valor inferior no IP.

Quanto ao erro absoluto médio e erro percentual absoluto médio, a técnica realizada através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano mostrou menores valores no caso dos índices FWI e IP. Já a interpolação em função do inverso da distância evidenciou menores valores para o IFDI e o modelo realizado através da cokrigagem ordinária obteve valores inferiores no caso do IRDIF.

No que toca ao erro quadrático médio, o método desenvolvido através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano alcançou menores valores no conjunto dos índices.

Quadro 3.4 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de julho de 2003, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	-0,02	8,88	50,83	99,11
	KO-Gaussiano	**0,01**	**8,50**	**48,64**	**98,07**
	COK-Ordinária	0,05	9,40	53,83	107,84
IFDI	IDW	-0,01	**0,27**	**21,57**	**0,13**
	KO-Gaussiano	**0,00**	**0,27**	22,19	**0,13**
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,27**	21,93	**0,13**
IRDIF	IDW	**0,00**	0,07	23,90	**0,01**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,07	23,30	**0,01**
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,06**	**21,94**	**0,01**
IP	IDW	**-0,02**	3,79	134,58	25,26
	KO-Gaussiano	0,03	**3,61**	**128,16**	**21,84**
	COK-Ordinária	0,03	3,65	129,52	22,46

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Da análise estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados de acordo com os modelos de interpolação, podemos referir que os resultados são diferentes consoante os índices, como evidencia o Quadro 3.5.

O método desenvolvido através da cokrigagem ordinária mostrou um valor mais próximo da média no índice FWI. A técnica realizada através da cokrigagem ordinária revelou valores mais próximos para as restantes medidas (mediana, desvio padrão, mínimo e máximo).

Relativamente ao IFDI, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou valores mais próximos tanto da média como da mediana. A cokrigagem ordinária alcançou valores mais próximos para o mínimo e máximo. As duas interpolações mostraram, porém, o mesmo valor no que se refere ao desvio padrão.

No caso do IRDIF, a técnica em função do inverso da distância apresentou valores mais próximos dos valores observados para todos os parâmetros. De referir ainda que as restantes interpolações revelaram valores iguais aos valores indicados pelo IDW, excluindo o parâmetro máximo.

Analisando o IP, o método em função do inverso da distância alcançou valores mais próximos para a média e mediana. Já a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano mostrou valores mais próximos nas restantes medidas de estatística (desvio padrão, mínimo e máximo).

Quadro 3.5 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de julho de 2003.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	17,47	18,50	10,38	2,75	33,31
	IDW	17,24	17,91	3,98	12,55	25,79
	KO-Gaussiano	**17,58**	17,88	2,74	13,23	22,76
	COK-Ordinária	17,97	**18,27**	**5,34**	**11,70**	**30,17**
IFDI	Valores observados	1,24	1,18	0,39	0,68	2,11
	IDW	1,19	**1,18**	0,17	0,99	1,64
	KO-Gaussiano	**1,21**	**1,18**	**0,22**	0,91	1,76
	COK-Ordinária	1,20	1,17	**0,22**	**0,90**	**1,77**
IRDIF	Valores observados	0,29	0,29	0,09	0,17	0,43
	IDW	**0,29**	**0,29**	**0,04**	**0,24**	**0,37**
	KO-Gaussiano	**0,29**	**0,29**	0,03	**0,24**	0,36
	COK-Ordinária	**0,29**	**0,29**	**0,04**	**0,24**	0,36
IP	Valores observados	2,82	0,00	5,60	-3,00	13,00
	IDW	**2,63**	**2,00**	2,41	-0,18	8,62
	KO-Gaussiano	3,14	3,07	**3,33**	**-1,50**	**10,36**
	COK-Ordinária	3,16	2,97	3,27	-1,30	10,34

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A figura seguinte mostra a avaliação de perigosidade de incêndio, para o dia 2 de julho de 2003, desenvolvida segundo os três modelos utilizados para os índices dinâmicos. Pela observação da mesma, e refletindo sobre os resultados derivados quer

das medidas de avaliação das estimativas quer da estatística descritiva, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano foi a que evidenciou um melhor desempenho.

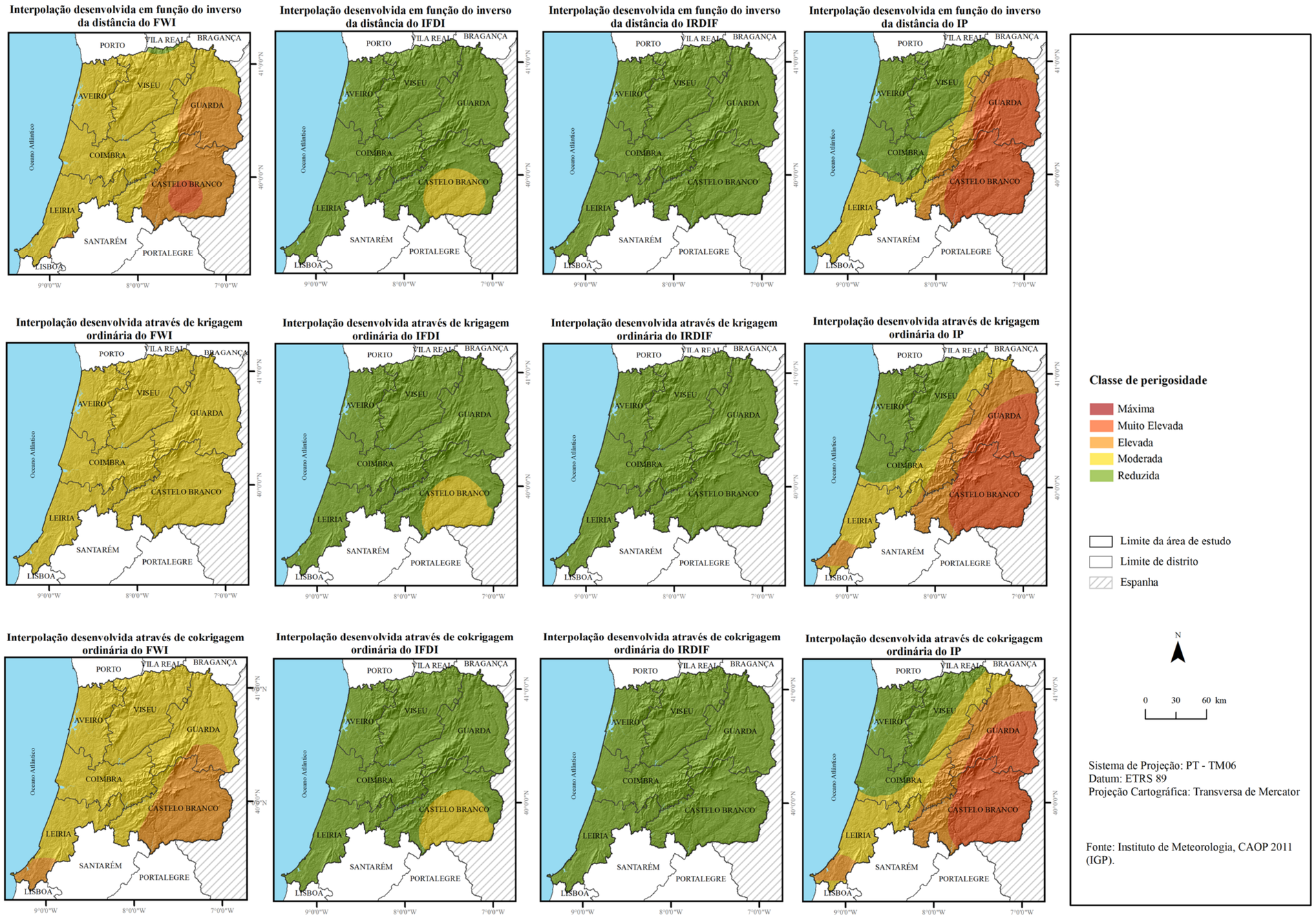

Figura 3.2 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de julho de 2003.

Episódio de 2 de agosto de 2003

Na estimação de perigosidade de incêndio para o dia 2 de agosto de 2003, destaca-se a cokrigagem ordinária como o método de interpolação que demonstrou melhores resultados (Quadro 3.6). Por outro lado, a técnica efetuada através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano evidenciou resultados menos satisfatórios.

Quando analisamos o erro médio, o método da krigagem ordinária segundo o modelo gaussiano indicou menores valores no FWI, sendo o modelo da cokrigagem ordinária o que apresentou valores inferiores no caso dos índices IFDI e IP. Já a técnica em função do inverso da distância revelou um menor valor relativamente ao IRDIF.

Quanto aos parâmetros erro absoluto médio e erro percentual absoluto médio, a interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária alcançou menores valores para os índices FWI, IRDIF e IP. Em contrapartida, a função do inverso da distância demonstrou valores inferiores para o IFDI.

O método em função do inverso da distância teve menores valores respeitante ao erro quadrático médio para os índices FWI e IFDI, enquanto que a técnica cokrigagem ordinária mostrou valores inferiores para os índices IRDIF e IP.

Quadro 3.6 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de agosto de 2003, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	-0,12	14,01	28,63	**336,39**
	KO-Gaussiano	**0,10**	14,05	28,72	351,50
	COK-Ordinária	0,16	**12,97**	**26,50**	336,82
IFDI	IDW	-0,01	**2,39**	**25,80**	**7,89**
	KO-Gaussiano	-0,02	2,44	26,34	9,66
	COK-Ordinária	**0,02**	2,51	27,07	9,42
IRDIF	IDW	**0,00**	0,49	47,71	0,37
	KO-Gaussiano	0,01	**0,48**	46,49	**0,36**
	COK-Ordinária	0,01	**0,48**	**46,29**	**0,36**
IP	IDW	-0,05	2,18	17,93	9,05
	KO-Gaussiano	-0,02	1,43	11,75	3,21
	COK-Ordinária	**-0,01**	**1,34**	**11,02**	**2,91**

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Na abordagem da estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados pelas diferentes técnicas de interpolação, podemos verificar que os índices apresentaram resultados diferenciados, como mostra o Quadro 3.7.

No caso do FWI, a técnica desenvolvida através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano exibiu valores mais próximos dos valores observados para a maioria das medidas, excetuando o valor máximo em que a cokrigagem ordinária mostrou valores mais próximos.

Analisando o IFDI, o modelo desenvolvido através da função do inverso da distância apresentou valores mais próximos relativamente à mediana e máximo, enquanto que a interpolação krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano demostrou valores mais próximos para a média, desvio padrão e mínimo.

Atendendo ao IRDIF, a interpolação em função do inverso da distância evidenciou valores mais próximos para a média, a técnica realizada através da krigagem segundo o modelo variográfico gaussiano revelou valores mais próximos no que toca à mediana, desvio padrão e mínimo, enquanto que a cokrigagem ordinária teve o valor mais próximo referente ao máximo.

No caso do IP, o método realizado através da cokrigagem ordinária obteve valores mais próximos dos valores observados para a média, mediana, desvio padrão e mínimo, já o valor mais próximo do máximo foi obtido pela interpolação em função do inverso da distância.

Quadro 3.7 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de agosto de 2003.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	48,92	42,58	18,43	30,26	92,92
	IDW	47,72	49,11	4,91	40,98	57,05
	KO-Gaussiano	**49,94**	**48,69**	**9,73**	**35,98**	63,34
	COK-Ordinária	50,56	49,51	8,99	37,09	**64,65**
IFDI	Valores observados	9,28	7,42	4,70	3,86	19,56
	IDW	**9,20**	**7,72**	3,71	5,67	**16,25**
	KO-Gaussiano	9,07	7,78	**4,21**	**3,28**	15,87
	COK-Ordinária	9,48	7,77	4,14	5,28	16,20
IRDIF	Valores observados	1,03	0,69	0,56	0,56	2,31
	IDW	**1,06**	1,05	0,29	**0,63**	1,70
	KO-Gaussiano	1,08	**1,01**	**0,31**	**0,63**	1,75
	COK-Ordinária	1,11	1,10	0,30	0,65	**1,77**
IP	Valores observados	12,18	13,00	5,25	3,00	18,00
	IDW	11,67	11,71	3,52	6,70	**17,61**
	KO-Gaussiano	11,98	12,06	3,85	6,25	17,17
	COK-Ordinária	**12,06**	**12,40**	**3,99**	**5,92**	17,56

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A figura que se segue indica as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 2 de agosto de 2003, desenvolvidas segundo os três modelos considerados. Da análise da mesma, e atendendo aos resultados obtidos tanto das medidas de avaliação das estimativas como da estatística descritiva, a interpolação efetuada através da cokrigagem ordinária foi a que revelou um melhor resultado.

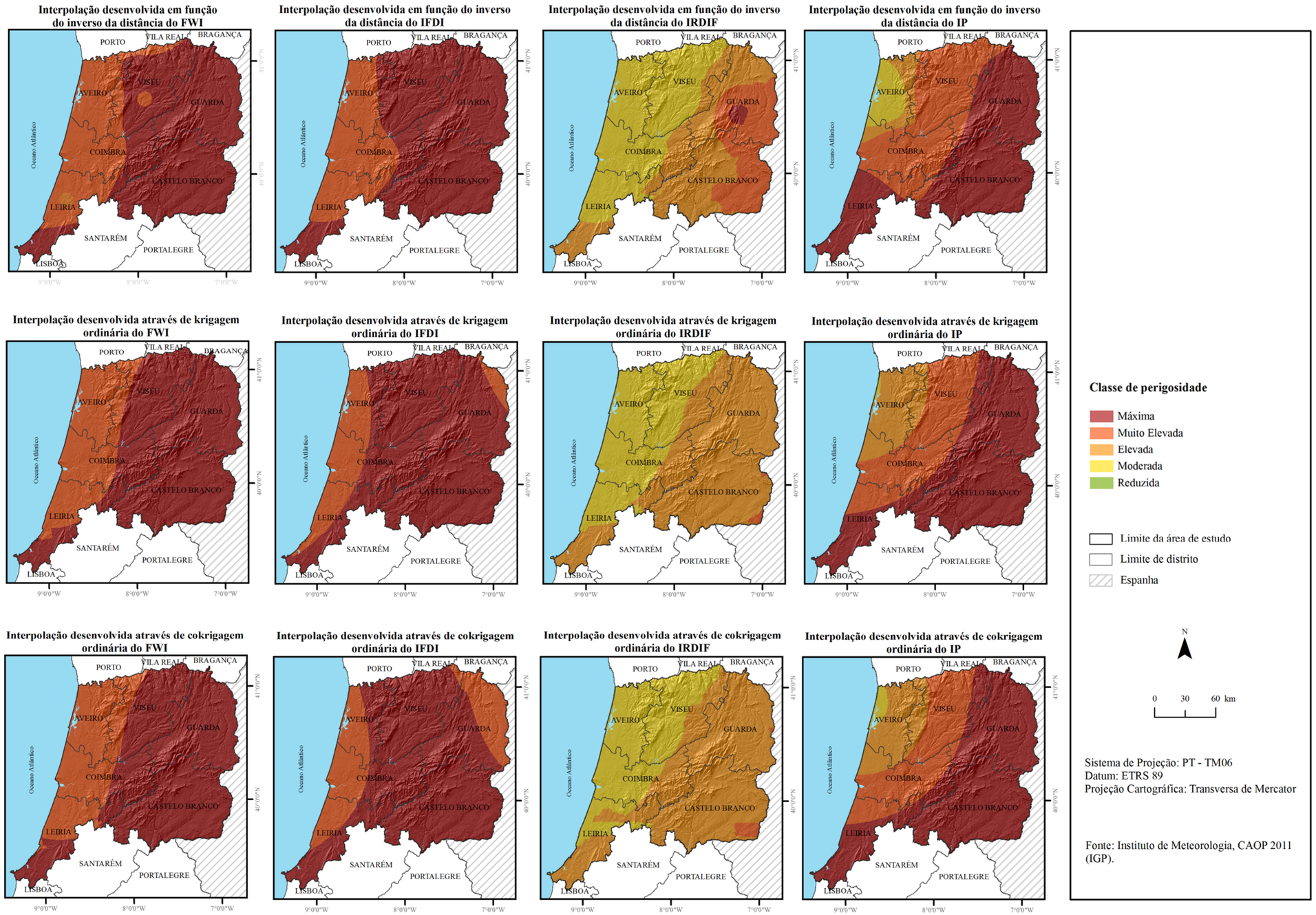

Figura 3.3 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de agosto de 2003.

Episódio de 27 de julho de 2004

Na avaliação de perigosidade de incêndio no dia 27 de julho de 2004, a interpolação desenvolvida em função do inverso da distância e a cokrigagem ordinária evidenciaram melhores resultados. A krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano demonstrou um desempenho desfavorável, como se pode ver no Quadro 3.8.

Atendendo ao erro médio, o método em função do inverso da distância apresentou menores valores nos vários índices.

No que toca ao erro absoluto médio, a cokrigagem ordinária teve menores valores para os índices FWI, IRDIF e IP e a técnica em função do inverso da distância para o IFDI, enquanto que no erro percentual absoluto médio, a cokrigagem ordinária possuiu menores valores para os índices FWI e IP e o modelo em função do inverso da distância apresentou valores inferiores para os índices IFDI e IRDIF.

Na análise do erro quadrático médio, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano mostrou menores valores para o FWI, enquanto o método em função do inverso da distância alcançou valores inferiores para os índices IFDI e IRDIF e, no caso do IP, os menores valores foram obtidos pela cokrigagem ordinária.

Quadro 3.8 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 27 de julho de 2004, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	**0,05**	7,58	17,78	92,14
	KO-Gaussiano	0,10	7,48	17,55	**71,08**
	COK-Ordinária	0,09	**7,15**	**16,77**	73,70
IFDI	IDW	**0,03**	**1,76**	**28,36**	**6,32**
	KO-Gaussiano	0,07	4,23	67,98	21,04
	COK-Ordinária	0,06	4,15	66,69	19,85
IRDIF	IDW	**0,00**	**0,25**	**26,64**	**0,09**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,26	28,02	0,12
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,25**	26,82	0,11
IP	IDW	**0,00**	4,92	35,61	31,81
	KO-Gaussiano	0,05	4,00	28,95	25,82
	COK-Ordinária	0,03	**3,94**	**28,52**	**23,62**

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Na análise estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados segundo as técnicas de interpolação, podemos referir que os resultados das mesmas variam consoante os índices, como se pode verificar no Quadro 3.9.

Relativamente ao FWI, a interpolação desenvolvida em função do inverso da distância apresentou valores mais próximos no que se refere ao desvio padrão e valor mínimo e a cokrigagem demonstrou o valor mais próximo quanto à mediana.

No caso do IFDI, o método em função do inverso da distância revelou valores mais próximos para todas as medidas. No caso do IRDIF, o método em função do inverso da distância teve valores mais próximos para a média, mediana e máximo. No caso do desvio padrão, a krigagem ordinária mostrou o valor mais próximo e a cokrigagem ordinária obteve o valor mais próximo para o mínimo.

Analisando o IP, a função do inverso da distância apresentou valores mais aproximados para a média e mediana, a krigagem ordinária segundo o modelo gaussiano teve valores mais próximos do desvio padrão e máximo e a cokrigagem ordinária mostrou o valor mais próximo do mínimo.

Quadro 3.9 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 27 de julho de 2004.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	42,64	40,25	14,37	23,52	65,34
	IDW	**43,14**	40,75	11,34	30,97	**65,15**
	KO-Gaussiano	43,59	41,10	**12,05**	**24,91**	67,27
	COK-Ordinária	43,54	**40,55**	11,04	25,24	63,36
IFDI	Valores observados	6,22	4,18	6,06	1,11	18,70
	IDW	**6,47**	**5,44**	**5,96**	**1,14**	**18,70**
	KO-Gaussiano	6,97	8,17	5,65	-1,61	18,34
	COK-Ordinária	6,85	7,93	5,45	-1,42	17,69
IRDIF	Valores observados	0,93	0,83	0,59	0,29	2,19
	IDW	**0,94**	**0,83**	0,55	0,37	**2,19**
	KO-Gaussiano	0,98	0,84	**0,56**	0,25	2,06
	COK-Ordinária	0,96	0,84	0,48	**0,26**	1,84
IP	Valores observados	13,82	14,00	6,55	4,00	21,00
	IDW	**13,85**	**13,95**	2,85	10,54	18,49
	KO-Gaussiano	14,34	14,41	**4,11**	9,15	**20,59**
	COK-Ordinária	14,13	14,36	4,06	**8,29**	20,13

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A Figura 3.4 demonstra as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 27 de julho de 2004, desenvolvidas segundo os três modelos utilizados. Da leitura da mesma, e considerando os resultados derivados tanto das medidas de avaliação das estimativas como da estatística descritiva, as interpolações em função do inverso da distância e a cokrigagem ordinária foram as que apresentaram um melhor desempenho.

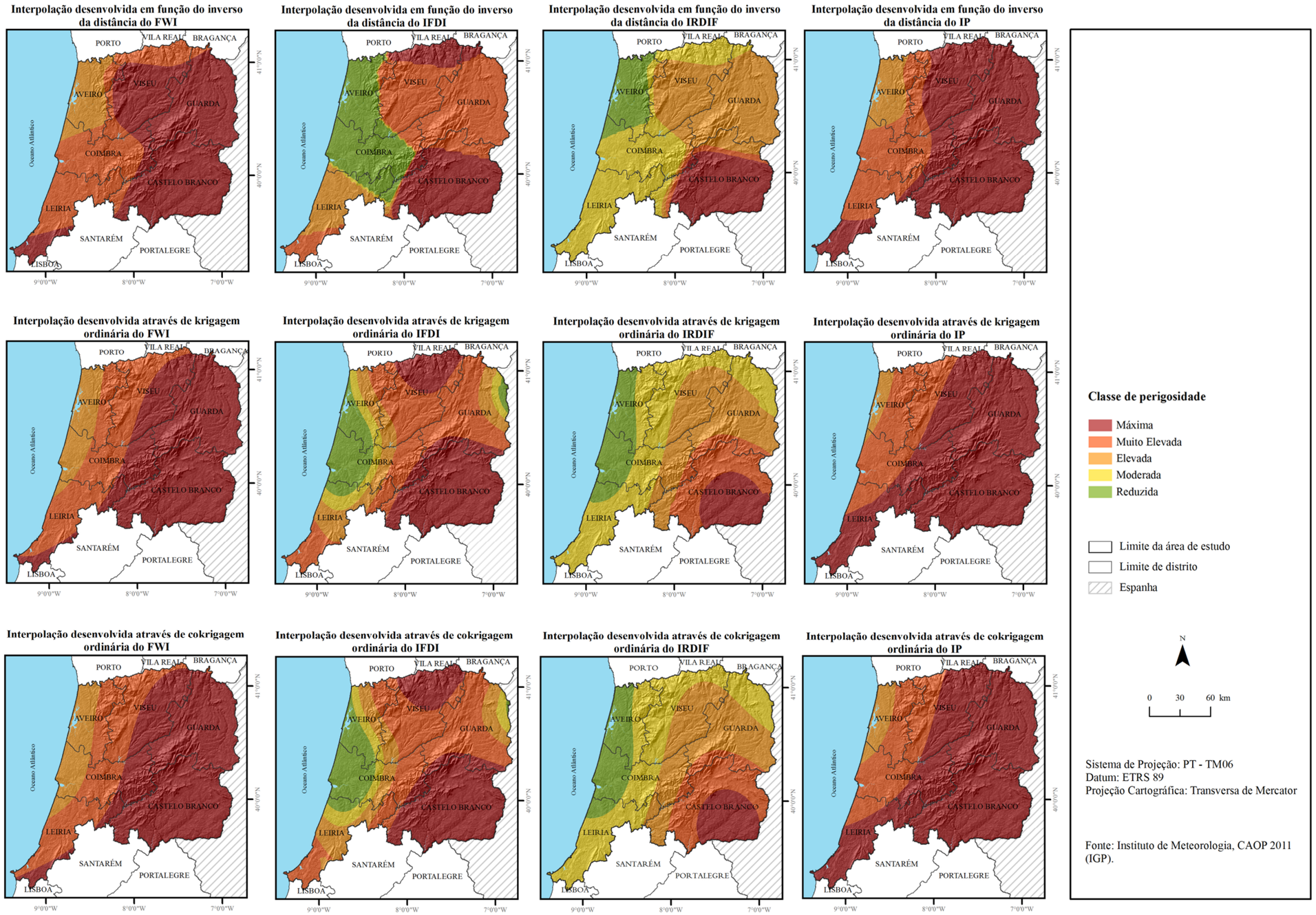

Figura 3.4 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os diferentes métodos de interpolação, no dia 27 de julho de 2004.

Episódio de 20 de agosto de 2005

No dia 20 de agosto de 2005, a interpolação realizada através da cokrigagem ordinária obteve melhores resultados relativamente à estimativa de perigosidade de incêndio e os métodos em função do inverso da distância e a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano evidenciaram resultados pouco satisfatórios, como ilustra o Quadro 3.10.

Considerando o erro médio, a técnica da cokrigagem ordinária obteve menores resultados nos índices IP, IRDIF e IFDI e o método em função do inverso da distância apresentou valores inferiores no caso do FWI.

Quando analisarmos o erro absoluto médio, o erro percentual absoluto médio e o erro quadrático médio, a interpolação desenvolvida em função do inverso da distância mostrou menores valores no índice IFDI, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou valores inferiores para o FWI e a cokrigagem ordinária revelou menores valores para os índices IRDIF e IP.

Quadro 3.10 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 20 de agosto de 2005, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	**0,00**	12,59	23,21	215,53
	KO-Gaussiano	0,02	**12,36**	**22,78**	**197,92**
	COK-Ordinária	-0,12	13,78	25,41	229,88
IFDI	IDW	-0,01	**2,06**	**33,35**	**6,07**
	KO-Gaussiano	**0,00**	2,19	35,38	6,56
	COK-Ordinária	**0,00**	2,19	35,42	6,55
IRDIF	IDW	**0,00**	0,23	24,81	**0,08**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,23	24,41	**0,08**
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,21**	**22,56**	**0,08**
IP	IDW	-0,03	4,77	26,24	28,22
	KO-Gaussiano	-0,01	4,46	33,80	25,33
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,21**	**22,56**	**0,08**

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Na análise estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados pelas diferentes técnicas de interpolação (Quadro 3.11), podemos verificar que os resultados variam em função dos índices, tal como os episódios anteriores.

Na análise do FWI, a técnica em função do inverso da distância apresentou valores mais próximos da média e mediana, enquanto que a cokrigagem ordinária teve valores mais próximos no que se refere ao desvio padrão, mínimo e máximo.

Relativamente ao IFDI, o modelo desenvolvido através da cokrigagem ordinária alcançou valores mais próximos no que respeita à média e mediana e a função do inverso da distância apresentou valores mais próximos para o desvio padrão, mínimo e máximo.

Já no caso do IRDIF, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano mostrou valores mais próximos para a média e mediana, enquanto que a cokrigagem ordinária indicou valores mais próximos para o desvio padrão, mínimo e máximo.

Quanto ao IP, o método de interpolação desenvolvido em função do inverso da distância revelou valores mais próximos no que respeita à média, mediana e máximo, já a krigagem ordinária segundo o modelo gaussiano apresentou valores menores para o desvio padrão e mínimo.

Quadro 3.11 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 20 de agosto de 2005.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	54,25	50,56	13,34	37,28	72,43
	IDW	**54,28**	**53,77**	2,47	50,55	57,69
	KO-Gaussiano	54,49	55,08	1,47	52,44	55,98
	COK-Ordinária	53,10	54,59	**4,62**	**41,95**	**58,34**
IFDI	Valores observados	6,19	5,18	3,43	2,23	13,42
	IDW	6,12	5,52	**2,52**	**3,34**	**10,57**
	KO-Gaussiano	6,15	5,13	2,19	3,38	9,41
	COK-Ordinária	**6,17**	**5,16**	2,19	3,40	9,42
IRDIF	Valores observados	0,94	1,07	0,27	0,38	1,28
	IDW	0,93	**0,93**	0,05	0,82	1,00
	KO-Gaussiano	**0,94**	**0,93**	0,03	0,89	1,00
	COK-Ordinária	0,92	**0,93**	**0,09**	**0,74**	**1,06**
IP	Valores observados	18,18	15,00	5,23	12,00	26,00
	IDW	**17,87**	**17,88**	0,99	16,52	**19,44**
	KO-Gaussiano	13,04	12,56	**1,95**	**9,80**	16,38
	COK-Ordinária	0,92	0,93	0,09	0,74	1,06

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A figura que se segue demonstra as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 20 de agosto de 2005, realizadas segundo os modelos utilizados. Pela observação da mesma, e tendo em linha de conta os resultados alcançados tanto das medidas de avaliação das estimativas como da estatística descritiva, a interpolação realizada através cokrigagem ordinária foi a que teve um melhor resultado.

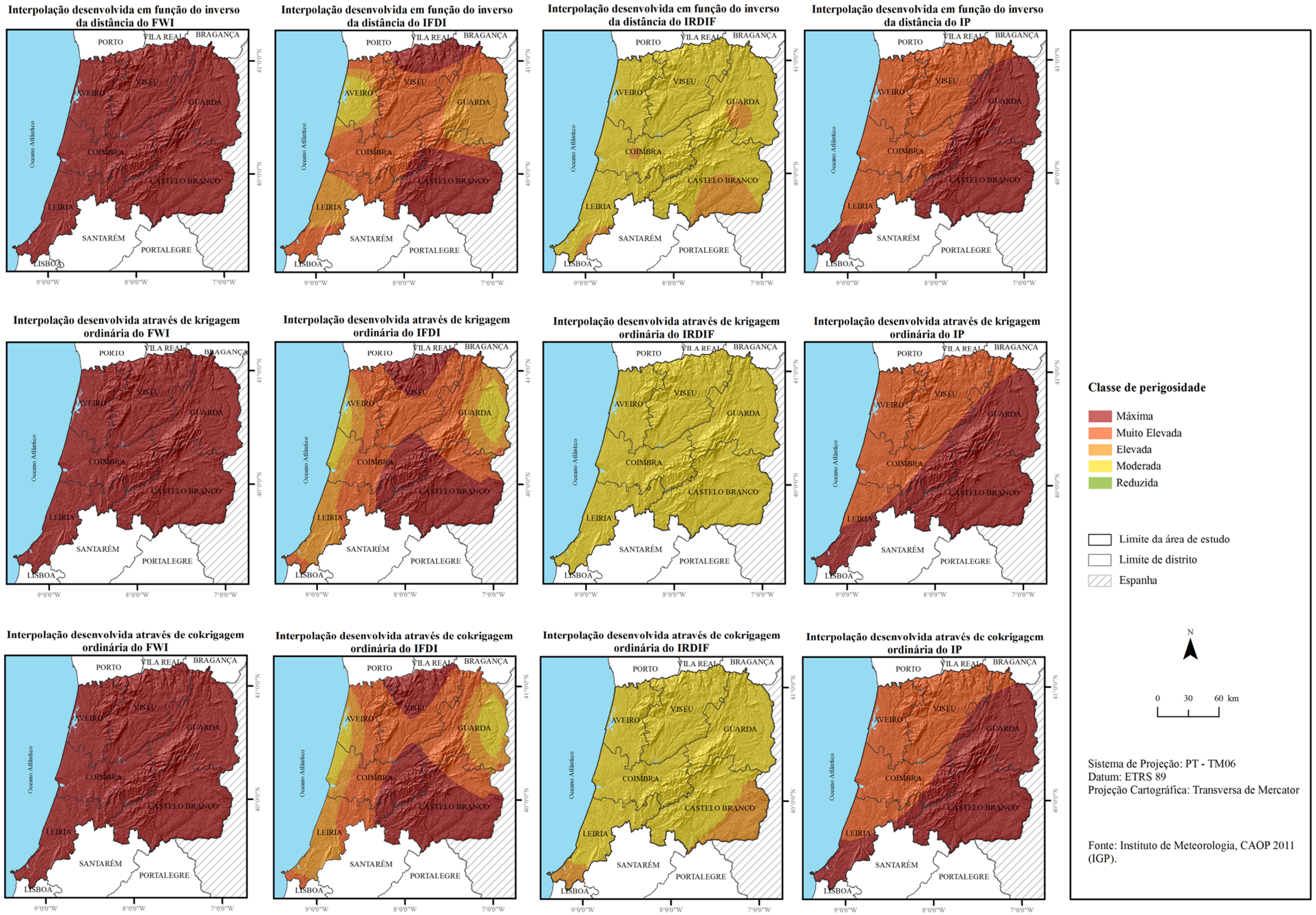

Figura 3.5 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 20 de agosto de 2005.

Episódio de 21 de agosto de 2005

Das técnicas consideradas na estimativa de perigosidade de incêndio no dia 21 de agosto de 2005, as interpolações em função do inverso da distância e a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentaram os melhores resultados. O método realizado através da cokrigagem ordinária revelou um resultado desfavorável (Quadro 3.12).

Por um lado, o método em função do inverso da distância demonstrou menores valores em todas as medidas de avaliação para os índices FWI, IRDIF e IP, embora no caso do IFDI apenas a krigagem ordinária e a cokrigagem ordinária apresentaram menores valores para o erro médio. Por outro lado, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano obteve menores valores nas diferentes medidas para os índices IP e FWI, excetuando, neste último, o erro médio, em que o valor do mesmo obtido pelo método em função do inverso da distância foi inferior.

Quadro 3.12 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 21 de agosto de 2005, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	**-0,01**	23,14	49,63	659,33
	KO-Gaussiano	-0,08	**21,93**	**47,02**	**581,60**
	COK-Ordinária	-0,08	24,17	51,84	707,92
IFDI	IDW	-0,02	**2,02**	**30,94**	**5,92**
	KO-Gaussiano	**-0,01**	2,37	36,26	8,14
	COK-Ordinária	**-0,01**	2,37	36,31	8,13
IRDIF	IDW	**0,00**	**0,31**	**27,84**	**0,14**
	KO-Gaussiano	**0,00**	0,33	30,39	0,18
	COK-Ordinária	**0,00**	0,32	29,46	0,17
IP	IDW	**-0,02**	4,66	34,41	30,02
	KO-Gaussiano	**-0,02**	**4,64**	**34,23**	**28,05**
	COK-Ordinária	**-0,02**	4,79	35,37	30,40

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Na análise estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados pelas diferentes técnicas de interpolação, podemos concluir que os resultados alteram conforme os índices, como é evidente no Quadro 3.13.

Na análise do FWI, o método em função do inverso da distância apresentou valores mais próximos para a média e mediana. Já a cokrigagem ordinária revelou valores mais próximos no que toca ao desvio padrão, mínimo e máximo.

Quanto ao IFDI, o modelo em função da distância evidenciou um valor mais próximo relativamente à mediana e máximo, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano demonstrou os valores mais próximos no que toca à mediana e mínimo e a cokrigagem ordinária revelou valores mais próximos relativamente à média e desvio padrão.

Observando o IRDIF, a técnica em função do inverso da distância apresentou valores mais próximos relativo à média e mediana, enquanto que o método da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano evidenciou valores mais próximos referentes ao desvio padrão, mínimo e máximo.

No caso do IP, a interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária mostrou, de um modo geral, os valores mais próximos para as diferentes medidas de estatística descritiva.

Quadro 3.13 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 21 de agosto de 2005.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	46,63	42,65	22,58	17,74	85,81
	IDW	**46,56**	**46,50**	4,46	40,67	51,94
	KO-Gaussiano	45,84	46,97	2,89	41,87	49,52
	COK-Ordinária	45,85	48,25	**6,28**	**34,73**	**53,84**
IFDI	Valores observados	6,54	5,39	3,11	2,56	13,30
	IDW	6,37	**6,17**	2,07	3,95	**10,21**
	KO-Gaussiano	6,45	6,40	2,19	**3,25**	9,67
	COK-Ordinária	**6,46**	6,44	**2,20**	3,26	9,68
IRDIF	Valores observados	1,10	1,06	0,36	0,52	1,70
	IDW	**1,08**	**1,09**	0,06	0,96	1,15
	KO-Gaussiano	1,13	1,18	**0,17**	**0,80**	**1,42**
	COK-Ordinária	1,13	1,18	**0,17**	0,81	**1,42**
IP	Valores observados	13,55	11,00	5,30	8,00	22,00
	IDW	13,31	13,39	0,87	12,26	14,78
	KO-Gaussiano	**13,39**	13,01	1,70	10,76	16,69
	COK-Ordinária	**13,39**	**12,94**	**2,01**	**10,58**	**17,33**

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A Figura 3.6 apresenta as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 21 de agosto de 2005, desenvolvidas segundo os três modelos usados para os índices dinâmicos. Com base da leitura da mesma, e dos resultados derivados tanto das medidas de avaliação das estimativas como da estatística descritiva, as interpolações em função do inverso da distância e a krigagem ordinária foram as que demonstraram um melhor desempenho.

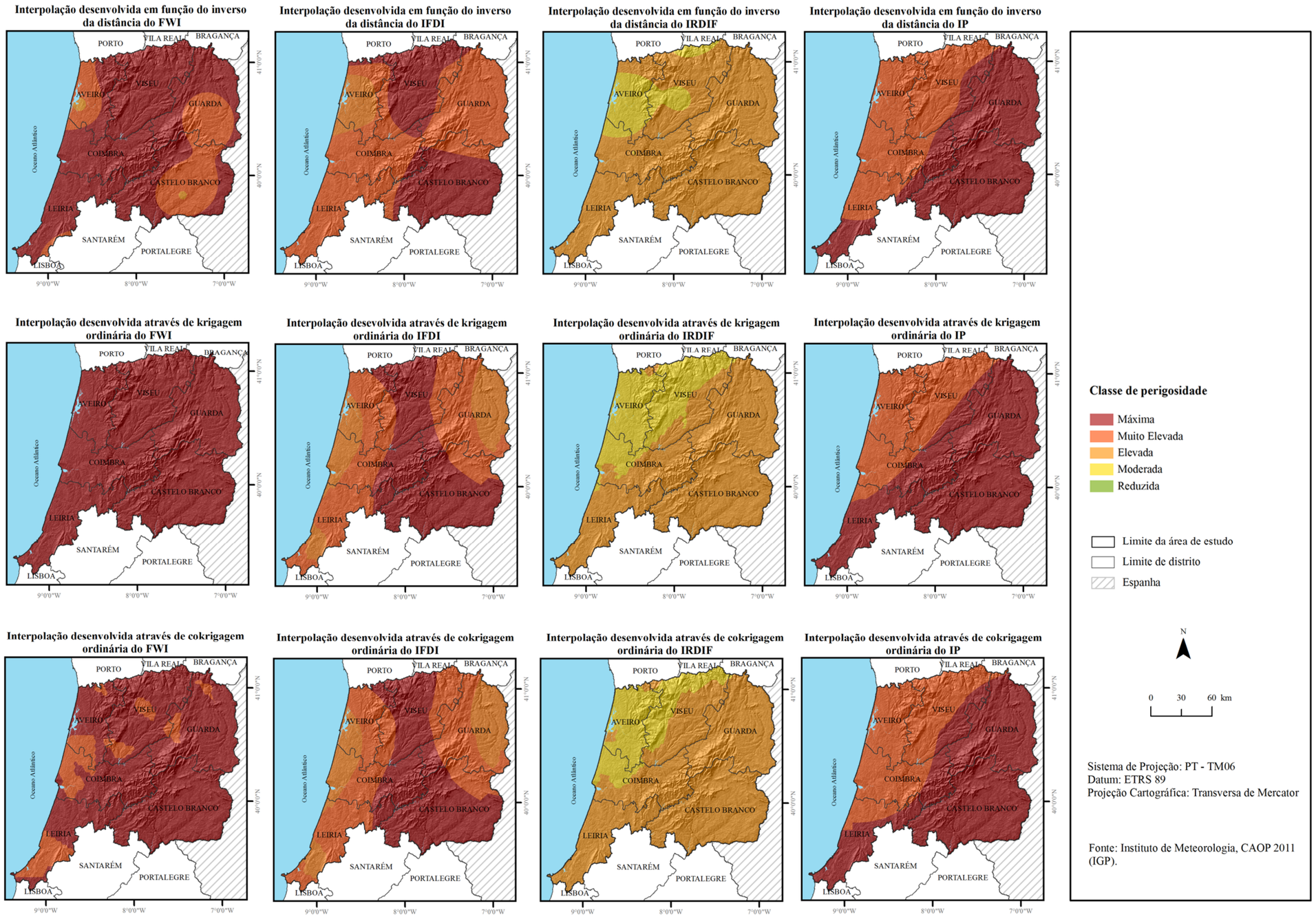

Figura 3.6 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 21 de agosto de 2005.

Episódio de 2 de outubro de 2005

O melhor resultado atendendo às medidas de avaliação na estimação de perigosidade de incêndio, no dia 2 de outubro de 2005, foi obtido pela interpolação em função do inverso da distância e já o modelo desenvolvido através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano apresentou os piores resultados (Quadro 3.14).

Na análise do erro médio, a interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária de um modo geral foi a técnica que revelou melhores resultados para os vários índices.

Quando abordamos os parâmetros erro absoluto médio, erro percentual absoluto médio e erro quadrático médio, a interpolação realizada em função do inverso da distância demonstrou menores valores para os índices FWI e IFDI, a krigagem apresentou menores valores no caso do IRDIF e a cokrigagem ordinária evidenciou valores inferiores para o IP.

Quadro 3.14 - Medidas de avaliação das estimativas de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de outubro de 2005, segundo alguns métodos de interpolação.

Índice	Modelo	Erro Médio (EM)	Erro Absoluto Médio (EAM)	Erro Percentual Absoluto Médio (EAM%)	Erro Quadrático Médio (EQM)
FWI	IDW	-0,20	**8,08**	**20,83**	**95,89**
	KO-Gaussiano	**-0,19**	8,70	22,42	111,51
	COK-Ordinária	**-0,19**	8,65	22,30	110,13
IFDI	IDW	**0,00**	**1,92**	**32,57**	**6,94**
	KO-Gaussiano	**0,00**	2,35	39,92	9,57
	COK-Ordinária	**0,00**	2,33	39,49	9,46
IRDIF	IDW	-0,01	0,20	27,53	0,06
	KO-Gaussiano	**0,00**	**0,15**	**19,78**	**0,03**
	COK-Ordinária	**0,00**	**0,15**	20,70	**0,03**
IP	IDW	0,15	3,80	42,18	20,94
	KO-Gaussiano	-0,05	3,13	31,33	14,36
	COK-Ordinária	**-0,04**	**2,74**	**27,36**	**11,44**

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

Na análise estatística descritiva entre os valores observados e os valores estimados pelas técnicas de interpolação, podemos mencionar que os resultados são diferentes consoante os índices (Quadro 3.15).

Considerando o FWI, a técnica da cokrigagem ordinária apresentou menores valores para a média, desvio padrão, mínimo e máximo, o método em função do inverso

da distância demonstrou um valor mais próximo para a mediana e a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano obteve o melhor resultado para o máximo.

No caso do IFDI, o modelo em função do inverso da distância revelou valores mais próximos no que diz respeito à mediana, desvio padrão e máximo. A interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária teve os valores mais próximos relativamente à média e mínimo.

No que concerne ao IRDIF, a interpolação efetuada através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano obteve valores mais próximos nas diferentes medidas, excluindo o máximo, em que a interpolação desenvolvida através da cokrigagem ordinária apresentou o valor mais próximo.

No caso do IP, o método de interpolação em função do inverso da distância demonstrou valores mais próximos dos valores observados relativamente à mediana, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano revelou valores mais próximos para o mínimo e máximo. A técnica desenvolvida através cokrigagem ordinária alcançou o valor mais próximo para a média e desvio padrão.

Quadro 3.15 - Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados de perigosidade de incêndio para o episódio 2 de outubro de 2005.

Índice	Modelo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
FWI	Valores observados	38,79	39,17	9,76	27,00	60,24
	IDW	36,83	**36,21**	2,31	33,46	40,36
	KO-Gaussiano	**36,89**	34,85	4,99	29,07	**44,11**
	COK-Ordinária	**36,89**	34,71	**5,01**	**28,92**	44,04
IFDI	Valores observados	5,90	4,34	3,14	3,00	13,13
	IDW	5,91	**4,93**	**1,96**	3,83	**9,61**
	KO-Gaussiano	**5,90**	5,33	1,72	3,23	8,89
	COK-Ordinária	**5,90**	5,41	1,74	**3,17**	8,69
IRDIF	Valores observados	0,74	0,73	0,31	0,30	1,22
	IDW	0,68	0,68	0,17	0,47	1,03
	KO-Gaussiano	**0,71**	**0,74**	**0,21**	**0,36**	1,04
	COK-Ordinária	**0,71**	0,75	**0,21**	0,37	**1,05**
IP	Valores observados	10,00	9,00	4,94	4,00	19,00
	IDW	8,81	**8,92**	2,03	6,46	12,28
	KO-Gaussiano	9,50	9,62	2,46	**5,46**	**13,59**
	COK-Ordinária	**9,64**	10,39	**2,59**	5,54	13,18

Nota: Os números destacados a negrito correspondem ao modelo com o melhor resultado para cada parâmetro dos respetivos índices.

A figura seguinte revela as estimativas de perigosidade de incêndio para o dia 2 de outubro de 2005, desenvolvidas segundo os modelos de interpolação utilizados. Pela visualização da mesma, e atendendo aos resultados alcançados tanto das medidas de

avaliação das estimativas como da estatística descritiva, a interpolação em função do inverso da distância foi a que apresentou um melhor desempenho.

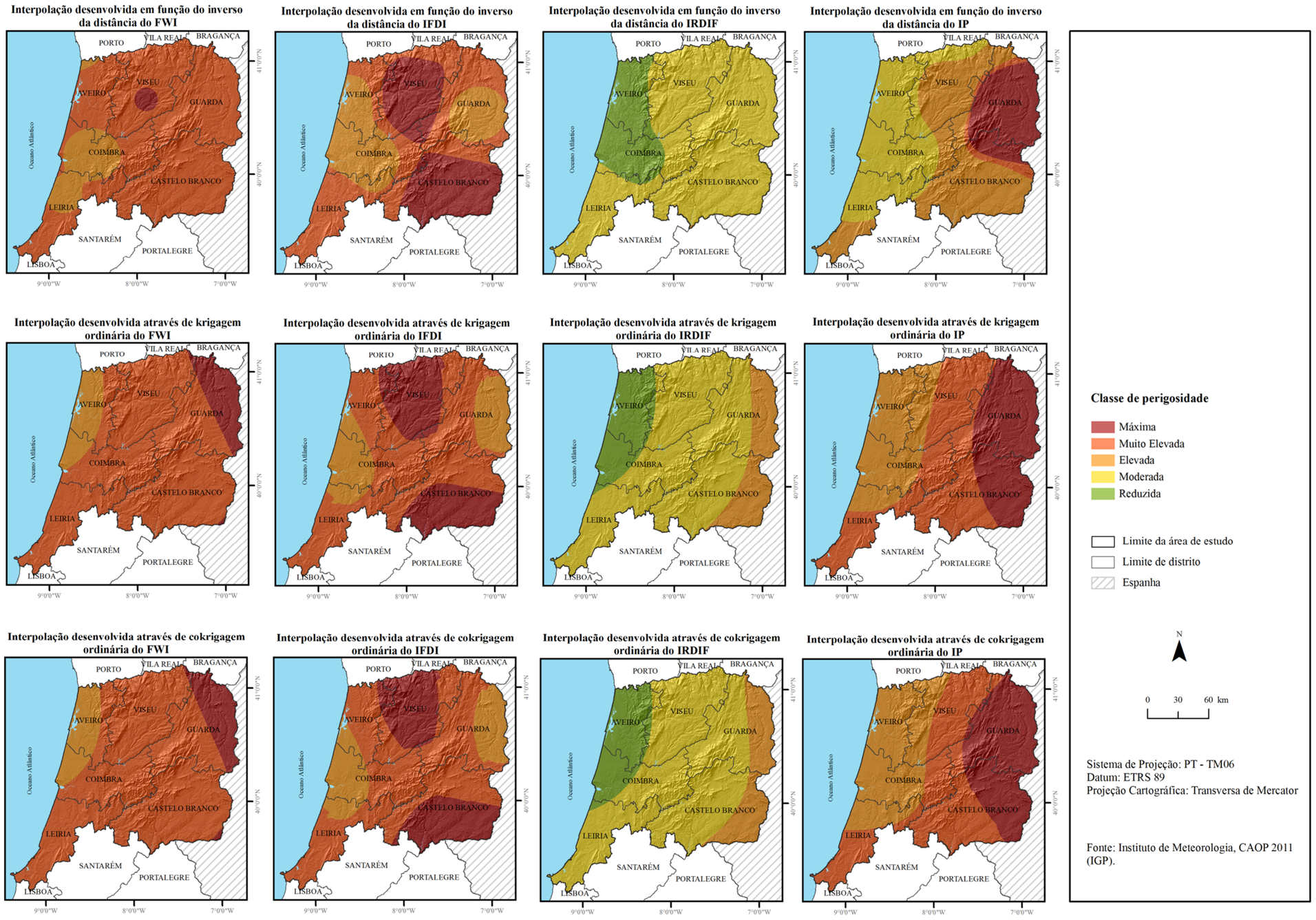

Figura 3.7 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo os métodos de interpolação, no dia 2 de outubro de 2005.

3.5. Síntese conclusiva da aplicação dos métodos de interpolação

Em jeito de síntese e com o intuito de responder à questão inicial deste exercício, na seleção do melhor método de interpolação espacial, foram analisados os resultados obtidos tanto das medidas de avaliação como dos parâmetros de estatística descritiva associada a cada modelo. Dessa análise percebe-se que as diferenças existentes entre os mesmos são bastante significativas. Além dos procedimentos de avaliação dos resultados, a eleição do método mais ajustado à modelação de perigosidade para cada episódio fundamentou-se na visualização dos mapas produzidos em resultado dos modelos aplicados.

Pode-se deduzir que a técnica em função do inverso da distância demonstrou um bom desempenho na maioria dos episódios. As interpolações desenvolvidas através da krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano e a cokrigagem ordinária obtiveram piores resultados, embora apresentassem resultados satisfatórios para alguns dos episódios.

Como conclusão final, destaca-se o método em função do inverso da distância, com base nas metodologias testadas e implementadas, como o mais favorável à produção dos mapas de perigosidade. Esta análise constituiu o ponto de partida e a justificação para a realização de todos os mapas de perigosidade necessários para o estudo do desempenho dos índices dinâmicos desenvolvido no capítulo subsequente.

Capítulo 4
Análise e discussão dos resultados

Capítulo 4. Análise e discussão dos resultados

No presente capítulo, a análise dos resultados encontra-se dividida em duas partes. Numa primeira, é realizada a análise de perigosidade dos índices dinâmicos, em resultado da aplicação do método IDW. Na segunda, é analisado o índice integrado, derivado de uma combinação ponderada dos parâmetros considerados. De referir ainda que, para cada episódio, será estimada a área ardida e as ocorrências de incêndios pelas diferentes classes de perigosidade, de acordo com os índices utilizados.

Em determinadas circunstâncias, os índices apresentaram, por um lado, valores muito elevados de perigosidade, o que corresponde a condições mais drásticas para a ocorrência de incêndios florestais. Por outro, mostraram menores valores, indicando uma menor propensão para a ocorrência dos mesmos. Neste sentido, as classes reduzida, moderada e elevada foram consideradas como as que apresentavam uma menor probabilidade na deflagração dos incêndios florestais e as classes muito elevada e máxima indicavam uma maior possibilidade de ocorrência de incêndios.

Assim sendo, a avaliação do desempenho dos índices teve como suporte os valores percentuais atribuídos segundo a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios e a sua agregação em termos de perigosidade (reduzida ou elevada), correspondendo um conjunto de classes definidas tendo em conta o desempenho década um (Anexo IV – Quadro 1 e Quadro 2).

Posteriormente, foi efetuada uma reflexão, analisando a origem da área ardida e da ocorrência de incêndios florestais com os fatores naturais e antrópicos, tendo por base, fundamentalmente, os episódios estudados.

4.1. Avaliação de perigosidade de incêndio e distribuição espacial da área ardida e ocorrências de incêndios em vários episódios

4.1.1. Análise dos índices dinâmicos (FWI, IFDI, IRDIF e IP)

Episódio de 6 de março de 2002

A Figura 4.1 ilustra a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, pelo método do IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002.

Da análise dos mapas, verificamos que o comportamento dos índices não foi homogéneo. Por um lado, os valores do FWI e IRDIF evidenciaram apenas uma perigosidade reduzida em todos os distritos. Por outro, o IFDI e IP apresentaram um grau mais elevado relativamente aos primeiros índices. No caso do IFDI e tomando como referência as classes – reduzida, moderada, elevada e muito elevada – constatamos uma perigosidade baixa ao longo da faixa do litoral e uma parte considerável no interior, apesar de algumas áreas mostrarem um nível mais elevado. Já o IP, e tendo em conta as classes – moderada e elevada –, indicou simplesmente uma mancha pouco significativa de perigosidade moderada essencialmente no distrito de Viseu e os restantes distritos demonstraram um nível elevado.

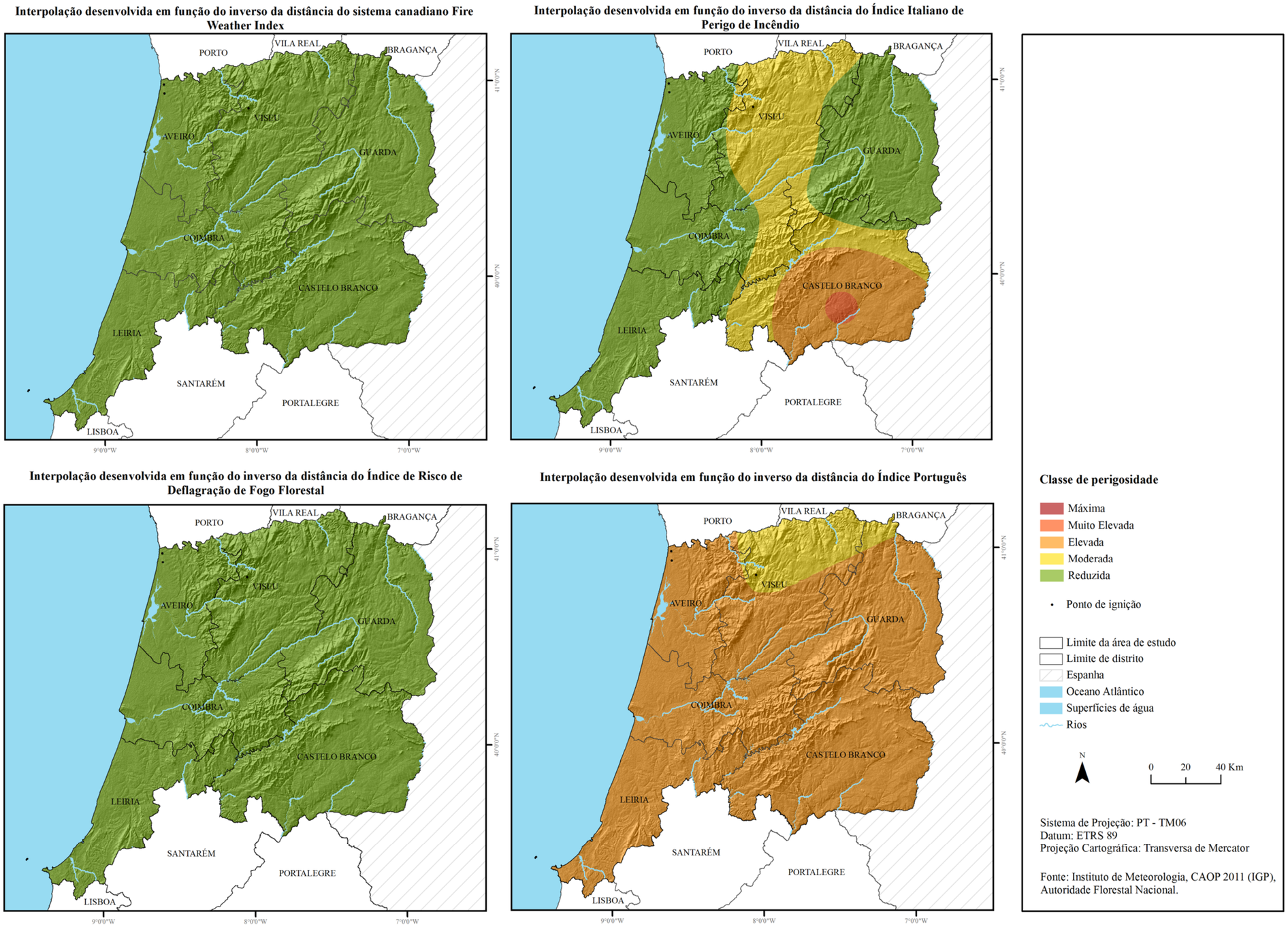

Figura 4.1 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, ulizando o IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002.

O Quadro 4.1 e as Figuras (4.2, 4.3, 4.4 e 4.5) apresentam, em percentagem, as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices, para o episódio em análise.

Quadro 4.1 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 6 de março de 2002[17].

Classe de perigosidade		**Reduzida**	**Moderada**	**Elevada**	**Muito elevada**	**Máxima**
Nº de ocorrências	FWI	100	-	-	-	-
	IFDI	67	33	0	0	-
	IRDIF	100	-	-	-	-
	IP	-	33	67	-	-

Nota: Neste episódio registaram-se 3 ocorrências de incêndios.

Pela análise do quadro e das figuras, os resultados mostram que o número reduzido de ocorrências de incêndios registou-se, particularmente, nas áreas onde prevaleceu uma perigosidade baixa. No caso dos índices FWI e IRDIF, as mesmas ocorreram onde se verificou uma perigosidade reduzida, sendo esta a única classe representada, enquanto que no IFDI apareceram nas áreas com um nível reduzido e moderado. Analisando o IP, os incêndios ocorreram nas áreas com um grau moderado e elevado.

Os resultados obtidos pelos diferentes índices mostraram, de um modo geral, um nível baixo de perigosidade, refletindo, assim, condições pouco propícias à ocorrência dos incêndios. De facto, registaram-se, neste episódio, somente três ocorrências, demonstrando a perigosidade reduzida de acordo com a estimativa dos índices.

[17] Quando a classe de perigosidade de incêndio não é representada nos mapas, as áreas ardidas e as ocorrências de incêndios estão assinaladas, nos quadros, com um traço (-) para os vários índices e episódios.

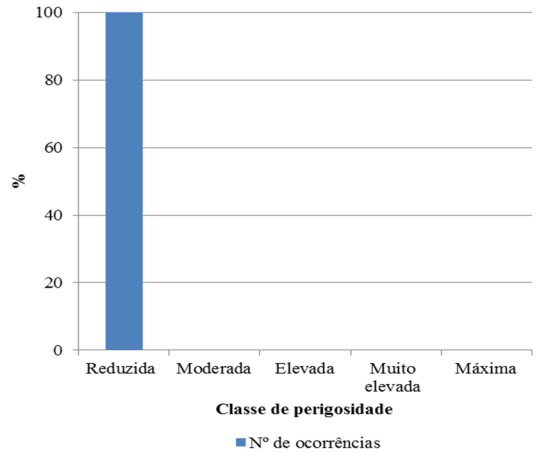

Figura 4.2 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 6 de março de 2002.

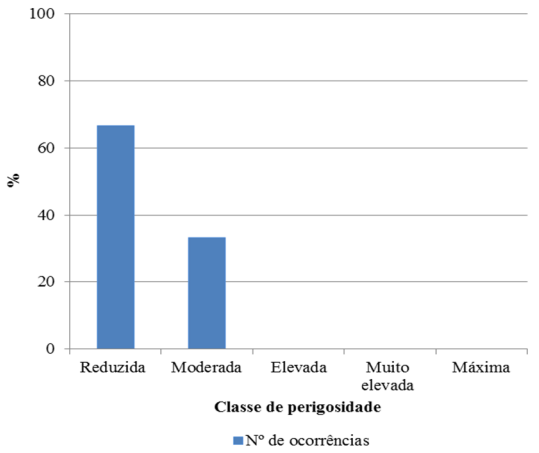

Figura 4.3 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 6 de março de 2002.

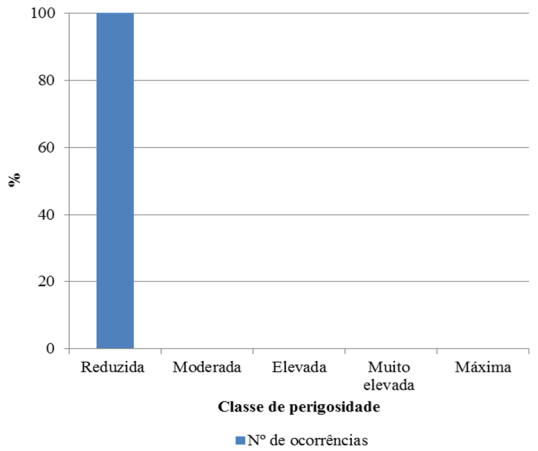

Figura 4.4 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 6 de março de 2002.

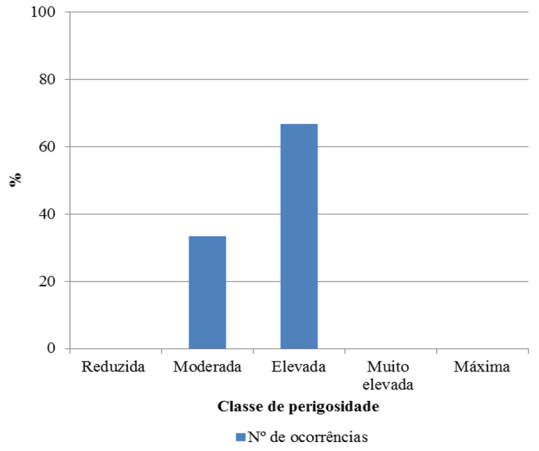

Figura 4.5 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 6 de março de 2002.

Episódio de 2 de julho de 2003

A Figura 4.6 representa a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003.

Pela análise da mesma, concluímos que os resultados dos índices utilizados foram diferentes. Note-se que houve uma maior variabilidade espacial em termos de perigosidade dos índices FWI e IP em relação ao IFDI e IRDIF. No caso do FWI e considerando as classes - reduzida, moderada, elevada e muito elevada – foi evidente uma perigosidade moderada na maioria dos distritos, excetuando os distritos de Guarda e Castelo Branco, destacados com um nível mais elevado.

No que respeita ao IP e observando todas as classes - reduzida, moderada, elevada e muito elevada – verificamos que o litoral mostrou um grau de perigosidade menor em relação aos distritos do interior e que a mesma se eleva à medida que se dirige para o interior.

Relativamente ao IFDI e atendendo as classes - reduzida e moderada –, deduzimos que prevaleceu uma perigosidade reduzida em todos os distritos, surgindo unicamente uma mancha no distrito de Castelo Branco com uma perigosidade elevada. Já no mapa relativo ao IRDIF, toda a região apresentou uma perigosidade reduzida.

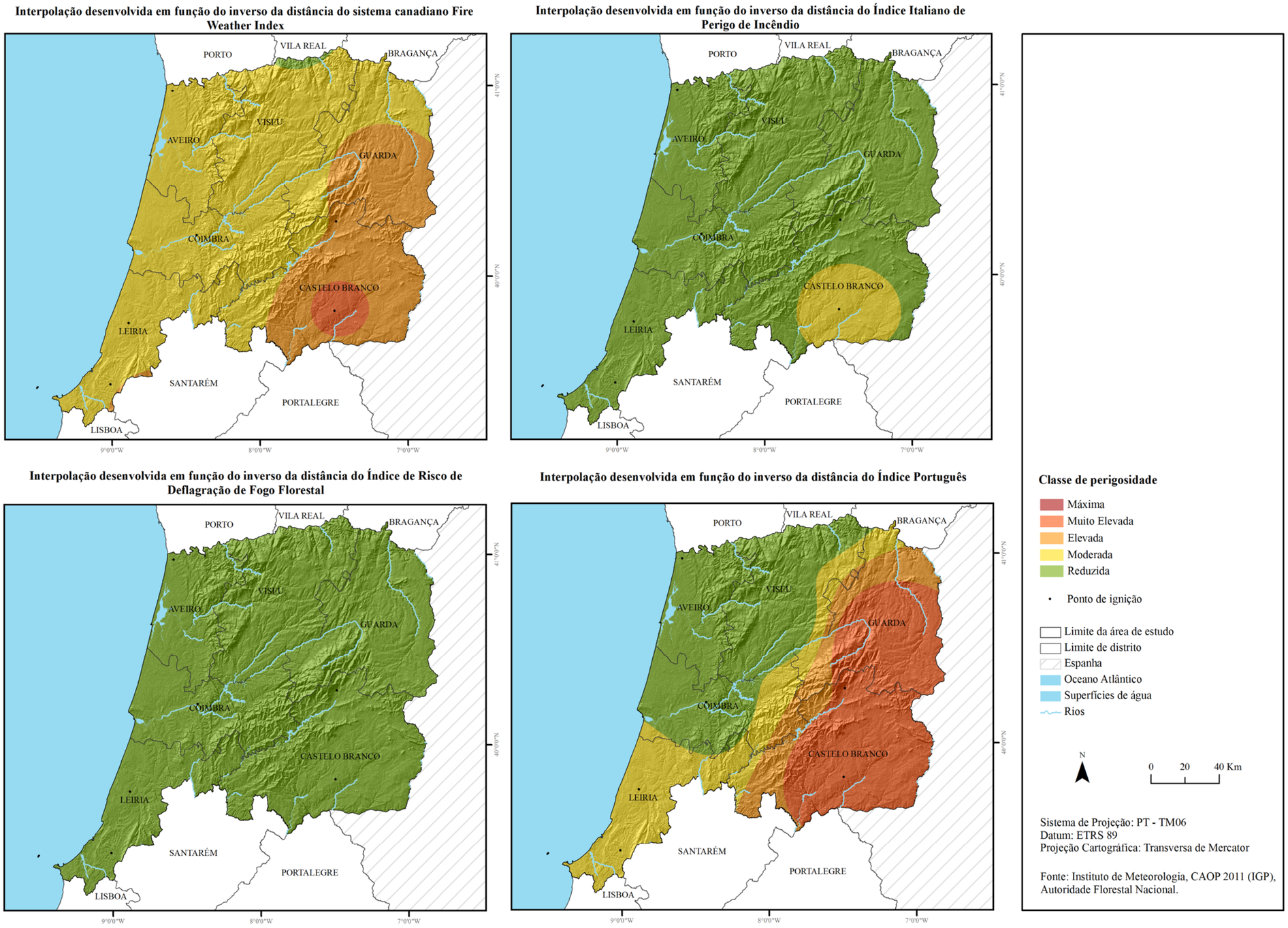

Figura 4.6 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003.

O Quadro 4.2 e as Figuras (4.7, 4.8, 4.9 e 4.10) mostram, em percentagem, o número de ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices.

Quadro 4.2 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de julho de 2003.

Classe de perigosidade		**Reduzida**	**Moderada**	**Elevada**	**Muito elevada**	**Máxima**
Nº de ocorrências	FWI	0	67	17	17	-
	IFDI	83	17	-	-	-
	IRDIF	100	-	-	-	-
	IP	33	33	0	33	-

Nota: Neste episódio registaram-se 6 ocorrências de incêndios.

Os resultados do quadro e das figuras indicaram que as ocorrências de incêndios repartiram-se pelas diferentes classes de perigosidade na maioria dos índices. No caso do FWI, as ocorrências surgiram nas áreas indicadas com uma perigosidade moderada, elevada e muito elevada. A mesma situação assemelhou-se ao do índice IP, registando-se, porém, ocorrências nas classes de perigosidade reduzida, moderada e muito elevada. Enquanto que na classe reduzida do FWI não se assinalaram ocorrências, no caso do IP não houve no grau de perigosidade elevada. Relativamente aos índices IFDI e IRDIF, os incêndios ocorreram nas áreas marcadas com um nível reduzido e moderado no primeiro, e no segundo um nível reduzido, o único nível de perigosidade representado.

Os resultados alcançados pelos índices revelaram, em geral, um nível baixo de perigosidade de incêndio, tal como o episódio analisado anteriormente, indicando assim condições pouco favoráveis à ocorrência do mesmo. De facto, registaram-se simplesmente 6 ocorrências, refletindo uma perigosidade reduzida em consequência da estimativa dos índices.

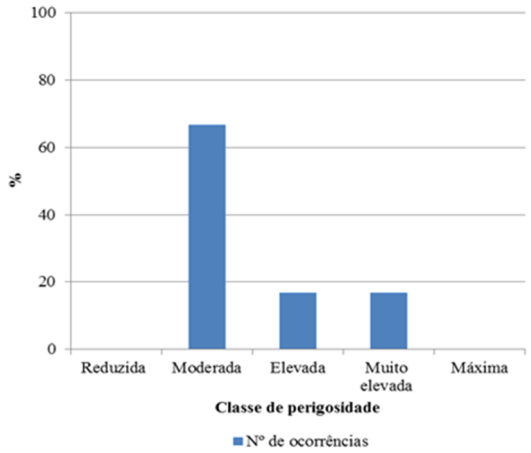

Figura 4.7 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de julho de 2003.

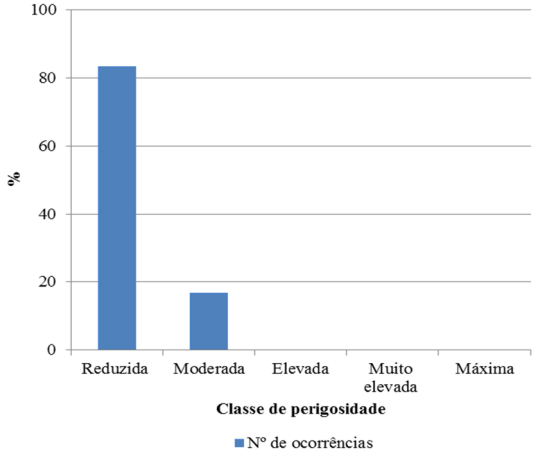

Figura 4.8 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de julho de 2003.

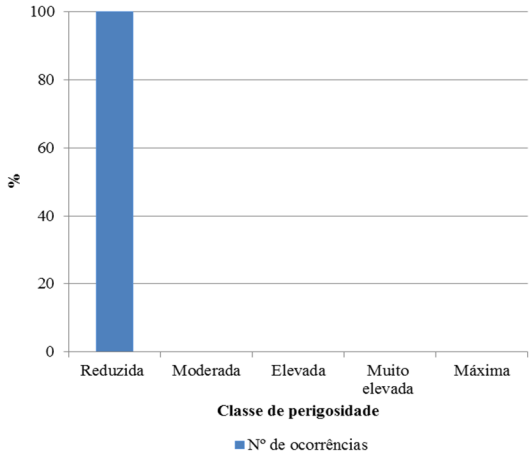

Figura 4.9 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de julho de 2003.

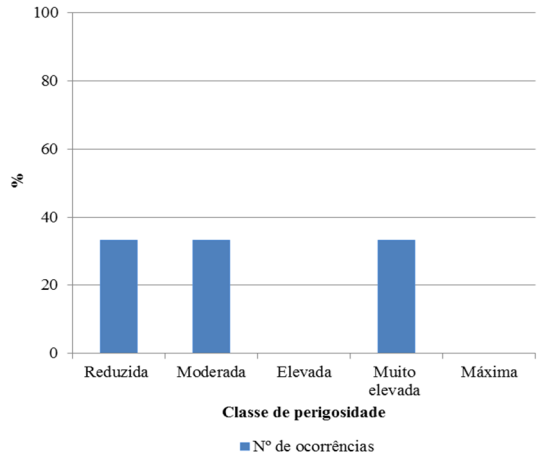

Figura 4.10 - Percentagem de ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de julho de 2003.

Episódio de 2 de agosto de 2003

A figura 4.11 revela a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, usando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003.

Pela leitura das figuras, verificamos que os índices apresentaram comportamentos idênticos entre si, nomeadamente entre o FWI e IFDI e o IRDIF e IP, embora houve variações pouco significativas. Os valores do FWI e IFDI indicaram, fundamentalmente, uma perigosidade muito elevada a máxima. No caso do FWI e tomando como referência as classes - elevada, muito elevada e máxima – notamos que alcançaram níveis mais elevados, particularmente, nos distritos do interior em relação aos do litoral. O comportamento do IFDI foi semelhante ao do FWI, embora fosse apenas observadas as classes de perigosidade muito elevada e máxima.

Analisando agora o IRDIF e IP e considerando as classes - moderada, elevada, muito elevada e máxima -, foi evidente uma menor perigosidade nos distritos do litoral em comparação aos do interior e que a mesma se eleva à medida que se dirige para os distritos do interior. No caso do IRDIF, as classes moderada e elevada possuíram uma maior representatividade, e as classes muito elevada e máxima destacaram-se no IP.

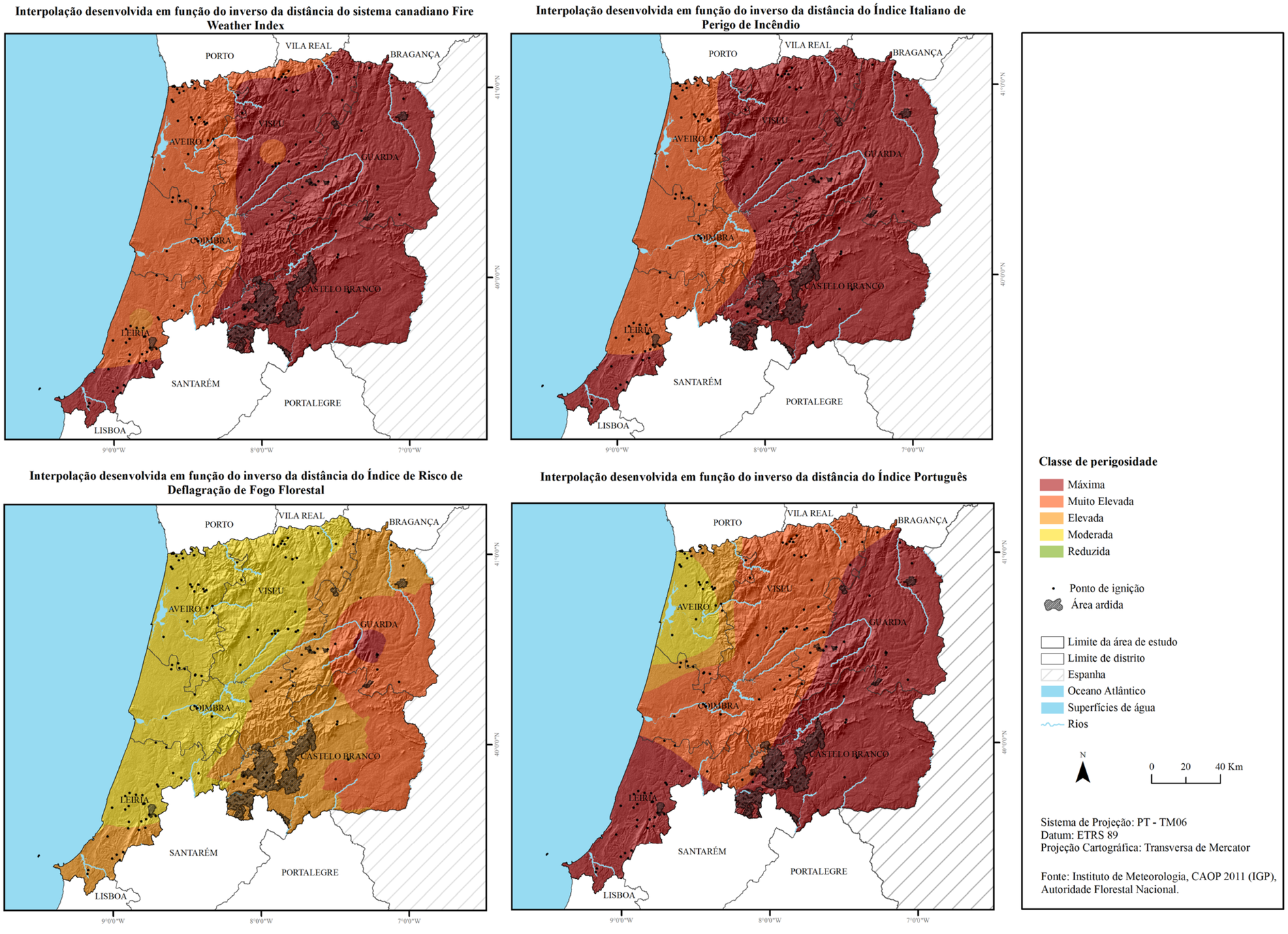

Figura 4.11 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003.

O Quadro 4.3 e as Figuras (4.12, 4.13, 4.14 e 4.15) apresentam, em percentagem, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos diferentes índices, para o episódio em análise.

Quadro 4.3 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de agosto de 2003.

Classe de perigosidade		**Reduzida**	**Moderada**	**Elevada**	**Muito elevada**	**Máxima**
Área ardida	FWI	-	-	0	2	98
Nº de ocorrências		-	-	1	49	49
Área ardida	IFDI	-	-	-	2	98
Nº de ocorrências		-	-	-	45	55
Área ardida	IRDIF	-	2	96	1	0
Nº de ocorrências		-	64	32	3	1
Área ardida	IP	-	0	0	5	95
Nº de ocorrências		-	17	8	37	38

Nota: Neste episódio registaram-se 154 ocorrências de incêndios.

Os resultados evidenciaram que a maioria da área ardida e ocorrências de incêndios registaram-se, sobretudo, nas áreas com perigosidade mais elevada.

A área ardida, nos índices FWI e IFDI, verificou-se principalmente nas áreas com um nível máximo, sendo que uma pequena percentagem ocorreu nas áreas com uma perigosidade muito elevada. O IP apresentou uma situação idêntica, embora a área ardida observada na classe de perigosidade muito elevada fosse superior comparativamente ao FWI e IFDI. No caso do IRDIF, distribuiu-se pelas áreas com um nível moderado, elevado e muito elevado. Contudo, foi na classe de perigosidade elevada que a área ardida teve uma maior expressividade.

Em relação às ocorrências de incêndios, e tendo em conta os índices FWI e IFDI, registaram-se, sobretudo, nas áreas com uma perigosidade muito elevada e máxima. No caso do IRDIF e IP, verificou-se uma situação diferente, visto que as ocorrências estavam distribuídas por várias classes de perigosidade. Enquanto que no IRDIF a maioria dos incêndios se encontrava dispersa nas áreas com um grau de perigosidade moderada e elevada, no IP as classes muito elevada e máxima tiveram maior expressão.

Pela análise dos resultados obtidos, constatamos que o FWI, IFDI e IP apresentaram um ótimo desempenho, na medida em que tanto a área ardida como as ocorrências de incêndios concentraram-se nas áreas com perigosidade muito elevada e máxima. Em contrapartida, o IRDIF demonstrou um menor desempenho, visto que a maioria da área ardida centrou-se essencialmente nas classes com perigosidade elevada

e as ocorrências nas classes moderada e elevada. Nos primeiros (IP, FWI e IFDI), houve uma maior concentração de incêndios nas classes de perigosidade mais elevada, ao passo que no segundo registaram-se nas classes de menor perigosidade.

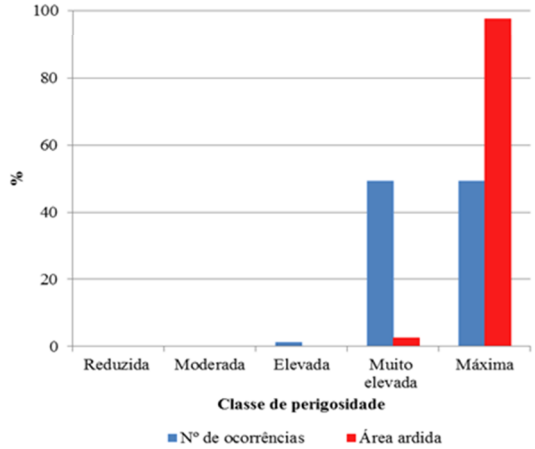

Figura 4.12 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de agosto de 2003.

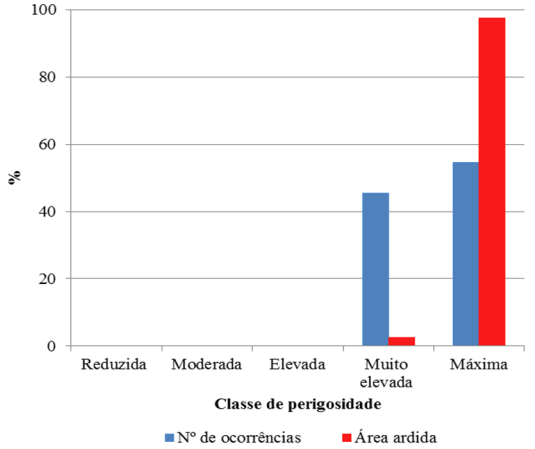

Figura 4.13 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de agosto de 2003.

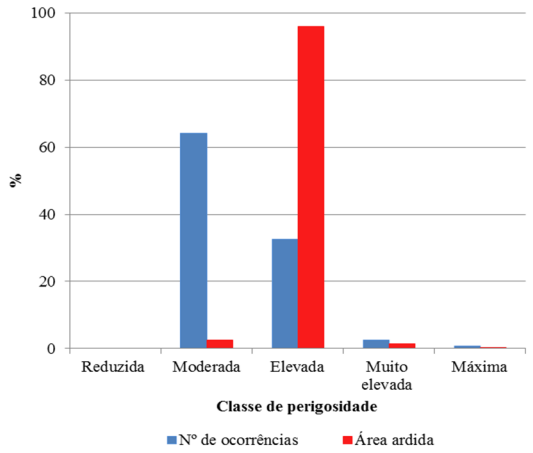

Figura 4.14 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de agosto de 2003.

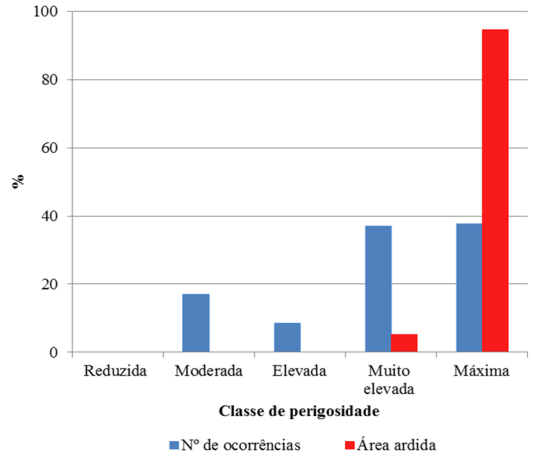

Figura 4.15 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de agosto de 2003.

Episódio de 27 de julho de 2004

A figura 4.16 ilustra a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004.

De acordo com as mesmas, os índices demonstraram resultados diferenciados, ainda que o FWI e IP apresentassem alguma homogeneidade. No caso dos índices FWI e IP e observando as classes - elevada, muito elevada e máxima - constatamos que as classes atingiram níveis mais elevados especialmente nos distritos de Viseu, Guarda e Castelo Branco, sendo que nos distritos do litoral a perigosidade foi menor, apesar de apresentarem igualmente valores elevados.

No que toca aos índices IFDI e IRDIF, verificamos uma maior variabilidade espacial em termos de perigosidade. Considerando as classes - reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima - é claro que prevaleceu uma menor perigosidade nos distritos do litoral, enquanto que os distritos do interior apresentaram níveis mais elevados.

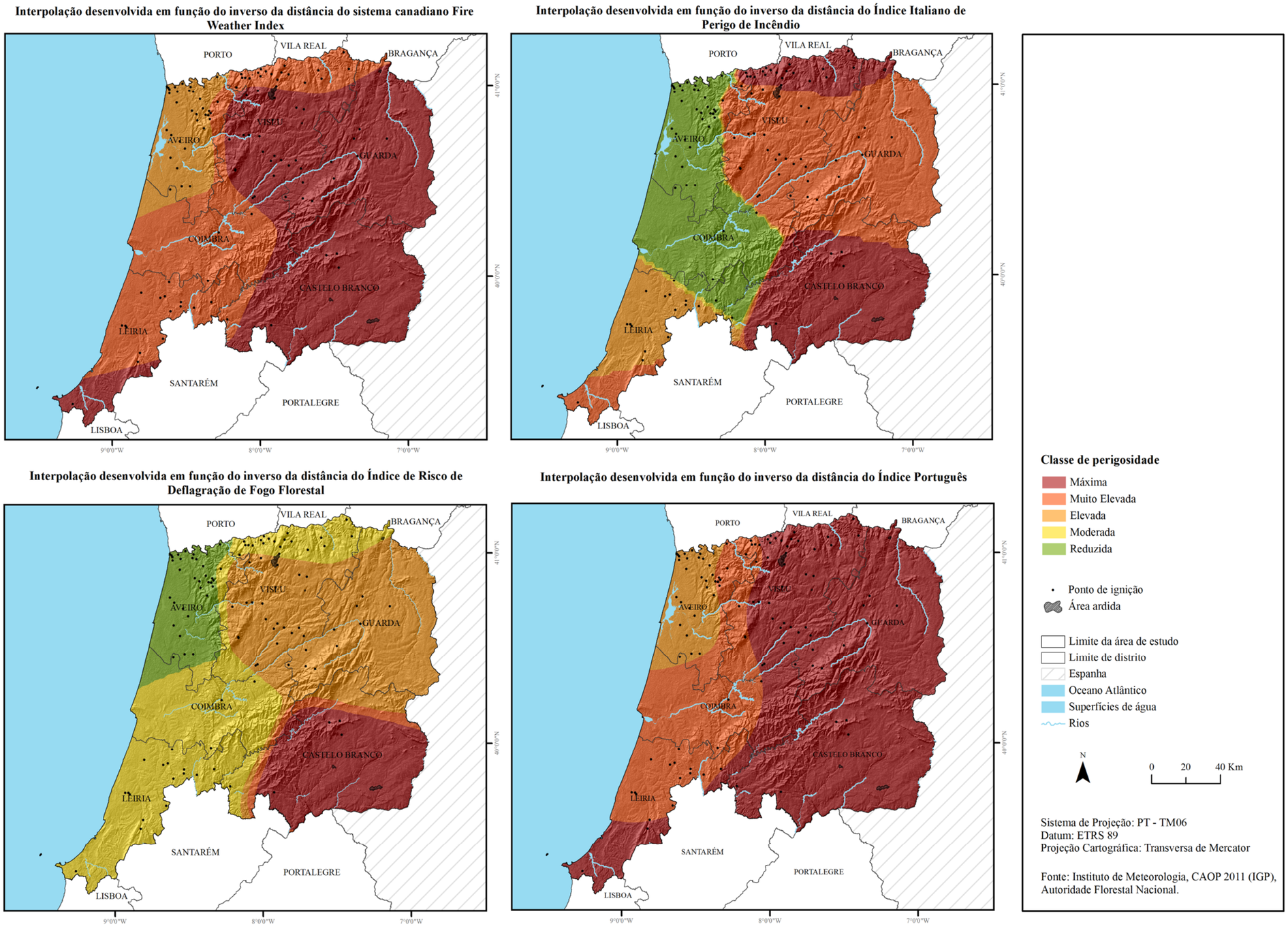

Figura 4.16 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004.

O Quadro 4.4 e as Figuras (4.17, 4.18, 4.19 e 4.20) representam, em percentagem, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices, para o episódio em estudo.

Quadro 4.4 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 27 de julho de 2004.

Classe de perigosidade		Reduzida	Moderada	Elevada	Muito elevada	Máxima
Área ardida	FWI	-	-	0	3	97
Nº de ocorrências		0	0	31	38	31
Área ardida	IFDI	0	0	0	49	51
Nº de ocorrências		35	2	12	31	20
Área ardida	IRDIF	0	12	49	0	39
Nº de ocorrências		32	37	27	0	3
Área ardida	IP	-	-	0	0	100
Nº de ocorrências		-	-	26	32	41

Nota: Neste episódio registaram-se 121 ocorrências de incêndios.

Pela leitura do quadro e das figuras, os resultados evidenciaram que a área ardida e as ocorrências de incêndios repartiram-se pelas diferentes classes de perigosidade, embora essa distribuição não fosse constante para todos os índices.

Da análise da área ardida e considerando o IP, a mesma coincidiu com as áreas que apresentaram uma perigosidade máxima e, no caso dos índices FWI e IFDI, a situação foi semelhante, expondo a área ardida distribuída pelas classes muito elevada e máxima. Importante frisar que a área ardida, no caso do FWI, teve uma maior representatividade na classe de perigosidade máxima e, no IRDIF, a mesma encontrou-se repartida pelas classes: moderada, elevada e máxima.

Tendo em conta as ocorrências dos incêndios, verificamos que as mesmas, no FWI e IP, se distribuíram pelas diferentes classes de perigosidade: elevada, muito elevada e máxima. No que toca aos índices IFDI e IRDIF, os incêndios estavam divididos pelas diferentes classes de perigosidade (reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima).

Com base da distribuição da área ardida pelas classes de perigosidade, podemos referir que os índices FWI, IFDI e IP possuíram um desempenho notável, no dia 27 de julho de 2004, visto que as áreas ardidas ocorreram nas áreas com uma perigosidade muito elevada e máxima. O IRDIF demonstrou, porém, um resultado menos favorável, pois nas classes de perigosidade mais elevadas registaram-se apenas uma percentagem reduzida de área ardida.

Quando consideradas as ocorrências de incêndios, o IP teve um bom desempenho, seguido dos índices FWI e IFDI com um desempenho razoável. Já o IRDIF continuou a demonstrar um resultado menos satisfatório. Tal deveu-se a uma maior concentração das ocorrências nas classes de menor perigosidade e, nos restantes índices, ao facto de as classes de maior perigosidade apresentarem um menor número de ocorrências.

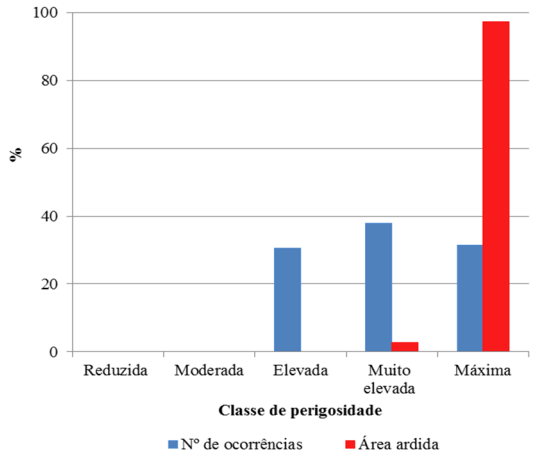

Figura 4.17 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 27 de julho de 2004.

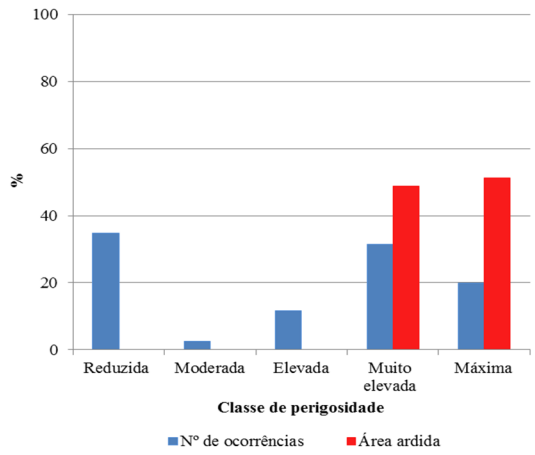

Figura 4.18 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 27 de julho de 2004.

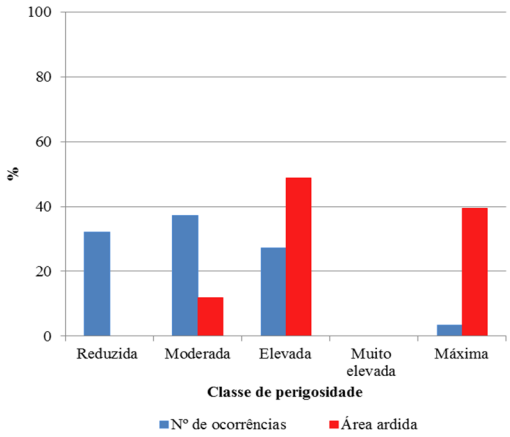

Figura 4.19 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 27 de julho de 2004.

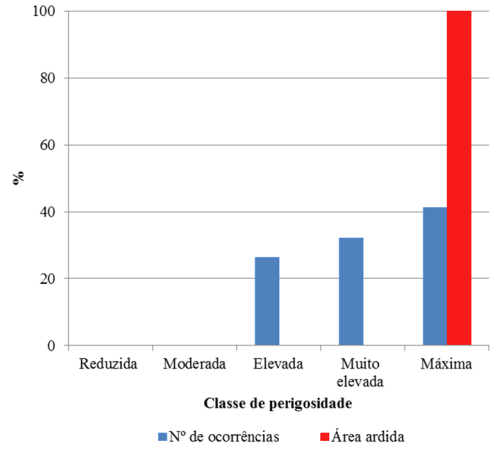

Figura 4.20 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 27 de julho de 2004.

Episódio de 20 de agosto de 2005

A figura 4.21 demonstra a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, pelo método do IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005.

Pela análise da figura, constatamos que o comportamento dos diferentes índices não foi uniforme. Em primeiro lugar, os valores do FWI mostraram que toda a região apresentou uma perigosidade máxima, a única classe representada. Já o índice IFDI e tomando como referência as classes - moderada, elevada, muito elevada e máxima – alcançou níveis mais elevados nos distritos do interior comparativamente aos do litoral.

No caso do IP e observando as classes de perigosidade - muito elevada e máxima – registou níveis mais elevados nomeadamente nos distritos de Guarda e Castelo Branco e a perigosidade foi menor nos distritos do litoral, apesar de apresentar igualmente valores elevados.

Relativamente ao IRDIF e atendendo as classes - moderada e elevada – predominou a área com um nível de perigosidade moderada e a mais elevada teve uma menor expressão.

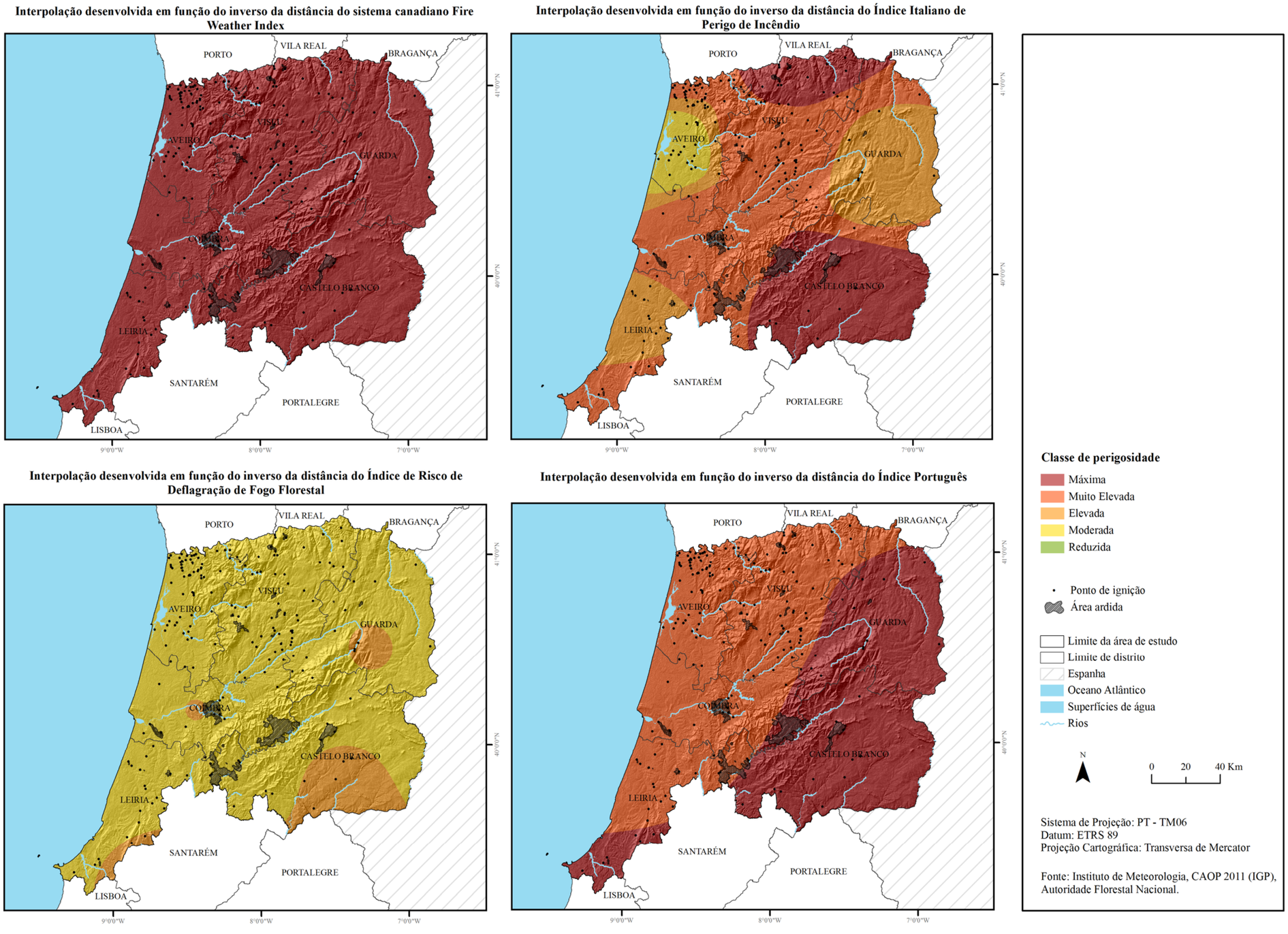

Figura 4.21 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005.

O Quadro 4.5 e as Figuras (4.22, 4.23, 4.24 e 4.25) mostram, em percentagem, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices, para o episódio em análise.

Quadro 4.5 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 20 de agosto de 2005.

Classe de perigosidade		Reduzida	Moderada	Elevada	Muito elevada	Máxima
Área ardida	FWI	-	-	-	-	100
Nº de ocorrências		-	-	-	-	100
Área ardida	IFDI	-	0	2	53	45
Nº de ocorrências		-	10	17	60	13
Área ardida	IRDIF	-	99	1	-	-
Nº de ocorrências		-	95	5	-	-
Área ardida	IP	-	-	-	48	52
Nº de ocorrências		-	-	-	86	14

Nota: Neste episódio registaram-se 215 ocorrências de incêndios.

De acordo com o quadro e as figuras, constatamos que os resultados da distribuição da área ardida e ocorrência de incêndios foram desiguais consoante os índices.

Observando a área ardida e o FWI, a mesma se encontrou somente na área assinalada com perigosidade máxima. Isto aconteceu uma vez que o índice não revelou uma maior variabilidade espacial em termos de perigosidade, impossibilitando outro tipo de análise. Relativamente aos outros índices, a situação foi diferente. No caso do IFDI, a área ardida estava distribuída por três classes de perigosidade: elevada, muito elevada e máxima, apesar da primeira ter uma menor expressão. No IRDIF, concentrou-se essencialmente nas áreas assinaladas com uma perigosidade moderada e uma pequena percentagem na classe elevada. Já no IP, a área ardida se encontrava distribuída pelos níveis de perigosidade muito elevada e máxima.

Quanto às ocorrências de incêndios e considerando o FWI, verificamos que as mesmas se registaram nas áreas com uma perigosidade máxima e, no caso do IP, ocorreram nas áreas com uma perigosidade muito elevada e máxima. Na análise do IFDI, as ocorrências encontravam-se distribuídas pelas várias classes de perigosidade (moderada, elevada, muito elevada e máxima) e no IRDIF as mesmas se repartiram simplesmente pelos níveis moderado e elevado.

Deste modo, constamos que os índices FWI, IFDI e IP, tal como os episódios anteriores, revelaram um ótimo desempenho tendo em conta a área ardida, pois a sua

maioria concentrou-se nas classes de perigosidade muito elevada e máxima. No caso das ocorrências de incêndios, o FWI e IP tiveram igualmente um ótimo desempenho, seguido do IFDI com um bom desempenho. Pelo contrário, o IRDIF foi o que evidenciou um desempenho desfavorável, dado que as ocorrências e as áreas ardidas se registaram essencialmente nas áreas de menor perigosidade.

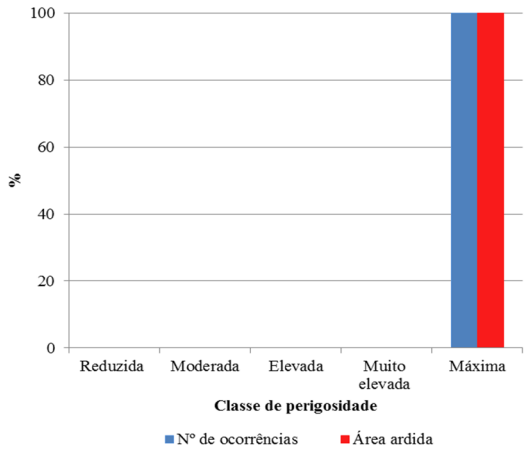

Figura 4.22 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 20 de agosto de 2005.

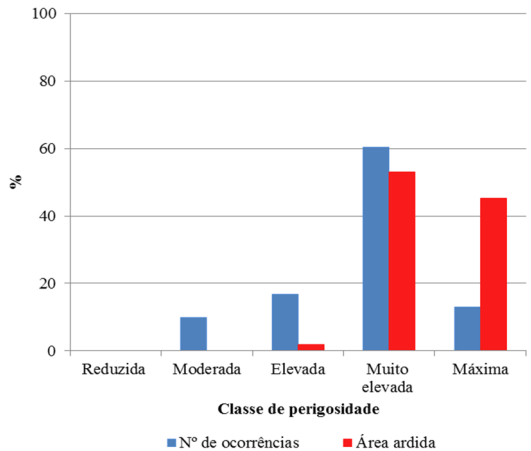

Figura 4.23 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 20 de agosto de 2005.

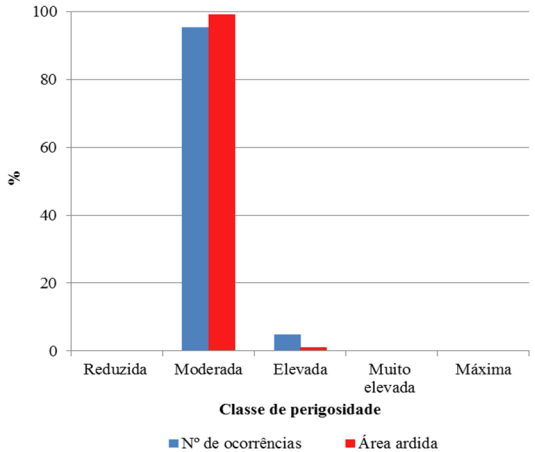

Figura 4.24 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 20 de agosto de 2005.

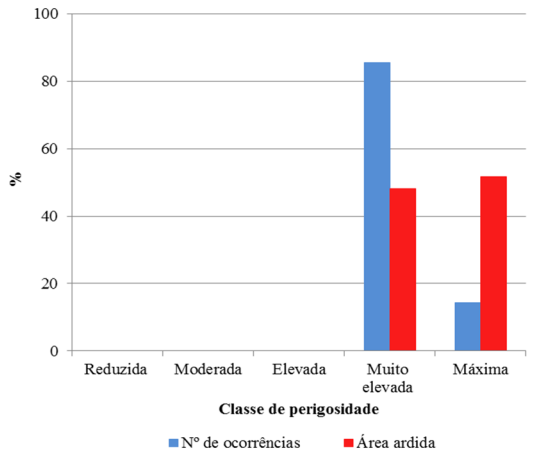

Figura 4.25 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 20 de agosto de 2005.

Episódio de 21 de agosto de 2005

A figura 4.26 mostra a perigosidade de incêndio de acordo com os índices dinâmicos, usando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005.

Da leitura dos mapas, é notório que o comportamento dos índices evidenciou algumas semelhanças, excetuando o IRDIF. No caso dos primeiros índices (FWI, IFDI e IP), os mesmos apresentaram valores elevados de perigosidade e, em contrapartida, o IRDIF revelou um nível mais baixo.

Relativamente ao FWI e considerando as classes – elevada, muito elevada e máxima - constatamos que a maioria dos distritos apresentou uma perigosidade máxima e somente pequenas manchas dos distritos de Guarda, Castelo Branco e Aveiro tiveram um nível elevado a muito elevado. Analisando o IFDI, a maioria dos distritos demonstrou uma perigosidade muito elevada a máxima e unicamente o distrito de Aveiro evidenciou um nível elevado.

Quanto ao IP e tomando como referência as classes – muito elevada e máxima – verificamos que os distritos do interior alcançaram uma perigosidade mais elevada, sendo que o litoral apresentou um grau mais baixo. O IRDIF revelou uma perigosidade elevada praticamente em toda a região e apenas uma área esteve assinalada com um nível moderado.

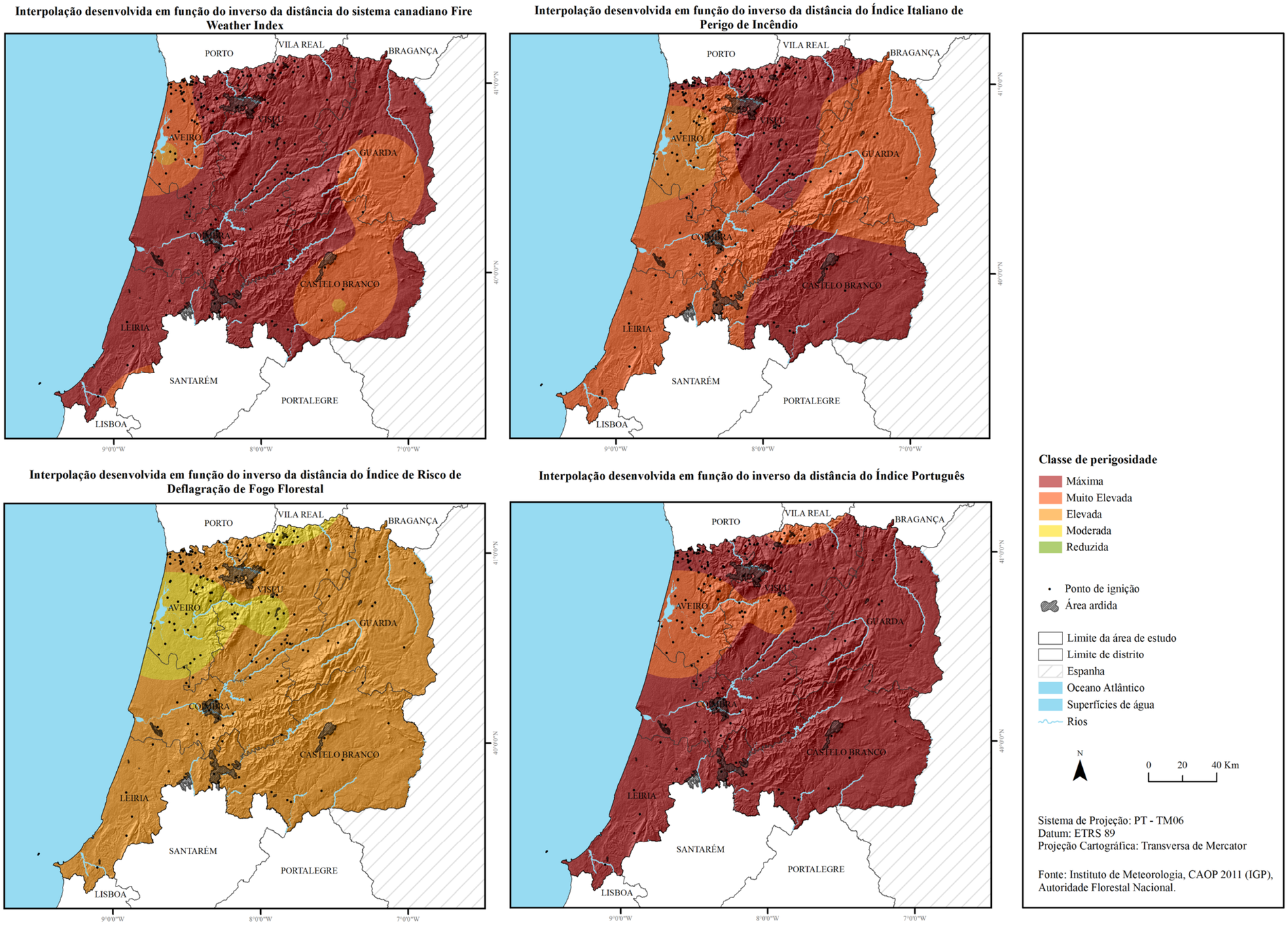

Figura 4.26 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005.

O Quadro 4.6 e as Figuras (4.27, 4.28, 4.29 e 4.30) apresentam, em percentagem, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices, para o episódio em análise.

Quadro 4.6 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 21 de agosto de 2005.

Classe de perigosidade		Reduzida	Moderada	Elevada	Muito elevada	Máxima
Área ardida	FWI	-	-	0	12	88
Nº de ocorrências		-	-	2	26	73
Área ardida	IFDI	-	-	0	61	39
Nº de ocorrências		-	-	12	44	44
Área ardida	IRDIF	-	2	98	-	-
Nº de ocorrências		-	29	71	-	-
Área ardida	IP	-	-	-	63	37
Nº de ocorrências		-	-	-	79	21

Nota: Neste episódio registaram-se 196 ocorrências de incêndios.

Pela visualização do quadro e das figuras, os resultados da distribuição da área ardida e ocorrências de incêndios foram diferentes, embora haja semelhanças entre os índices.

Relativamente à área ardida, os índices FWI, IFDI e IP apresentaram situações muito semelhantes, em que a área ardida se encontrava repartida pelas classes de perigosidade muito elevada e máxima. No caso do IRDIF, a área ardida foi predominante na classe elevada, aparecendo apenas uma pequena parte na classe de perigosidade moderada.

Atendendo às ocorrências de incêndios, os resultados dos índices FWI e IFDI foram idênticos, na medida em que as ocorrências de incêndios se encontravam distribuídas pelas classes de perigosidade elevada, muito elevada e máxima. Referir igualmente que a percentagem de incêndios teve uma maior representatividade na classe de perigosidade máxima do FWI em relação à mesma classe do IFDI. No entanto, o IRDIF e IP revelaram resultados distintos. No primeiro caso, os incêndios estavam repartidos pelas classes com uma perigosidade baixa (moderada e elevada) e, no segundo, nas classes com uma perigosidade mais elevada (muito elevada e máxima).

Neste episódio, constatamos que os índices FWI, IFDI e IP tiveram um excelente desempenho no que diz respeito à área ardida e às ocorrências de incêndios, dada a sua concentração maioritariamente nas classes de perigosidade muito elevada a máxima. Em contrapartida, o IRDIF continuou a revelar um mau desempenho em

termos de área ardida e ocorrências de incêndios, tal como os episódios anteriores. De referir que ambas se distribuíram nas classes de perigosidade moderado a elevado.

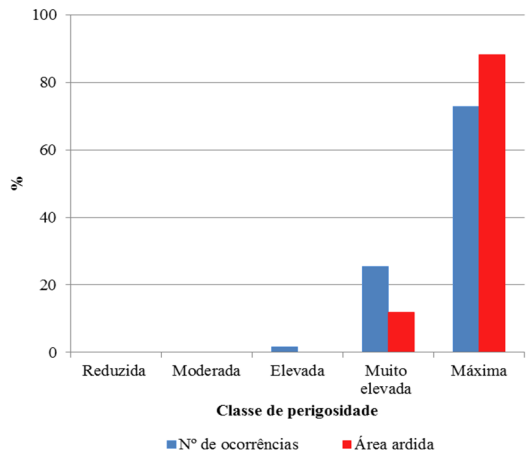

Figura 4.27 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 21 de agosto de 2005.

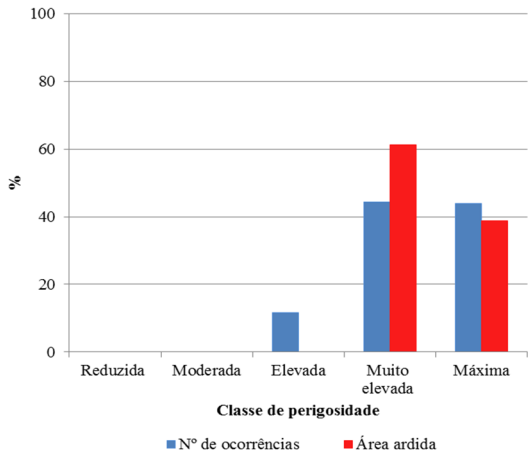

Figura 4.28 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 21 de agosto de 2005.

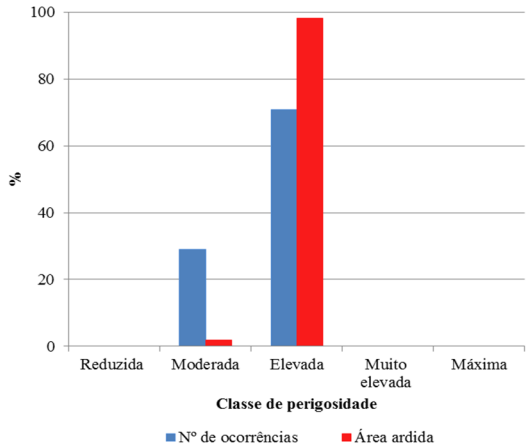

Figura 4.29 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 21 de agosto de 2005.

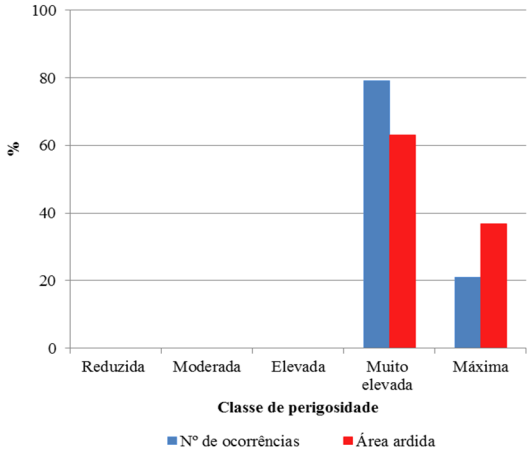

Figura 4.30 - Percentagem de área ardida e ocorrência pelas classes de perigosidade do IP no dia 21 de agosto de 2005.

Episódio de 2 de outubro de 2005

A figura 4.31 ilustra a perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, utilizando o IDW, e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005.

Como evidenciam as figuras, o comportamento dos índices foi diferente. Considerando o FWI e as suas classes de perigosidade - elevada, muito elevada e máxima - a classe com maior expressão foi a muito elevada, aparecendo apenas uma mancha com nível elevado nos distritos de Leiria e Coimbra.

De acordo com o IFDI, verificamos uma perigosidade máxima principalmente nos distritos de Viseu e Castelo Branco e uma área considerável dos distritos de Aveiro e Guarda apresentou um nível elevado e o restante território um nível muito elevado.

No caso do IRDIF e tomando como referência as classes – reduzida e moderada - constatamos uma perigosidade baixa na maior parte da região. Já no IP e considerando as classes – moderada, elevada, muito elevada e máxima - os distritos do litoral evidenciaram um grau de perigosidade menor e o interior um nível mais elevado.

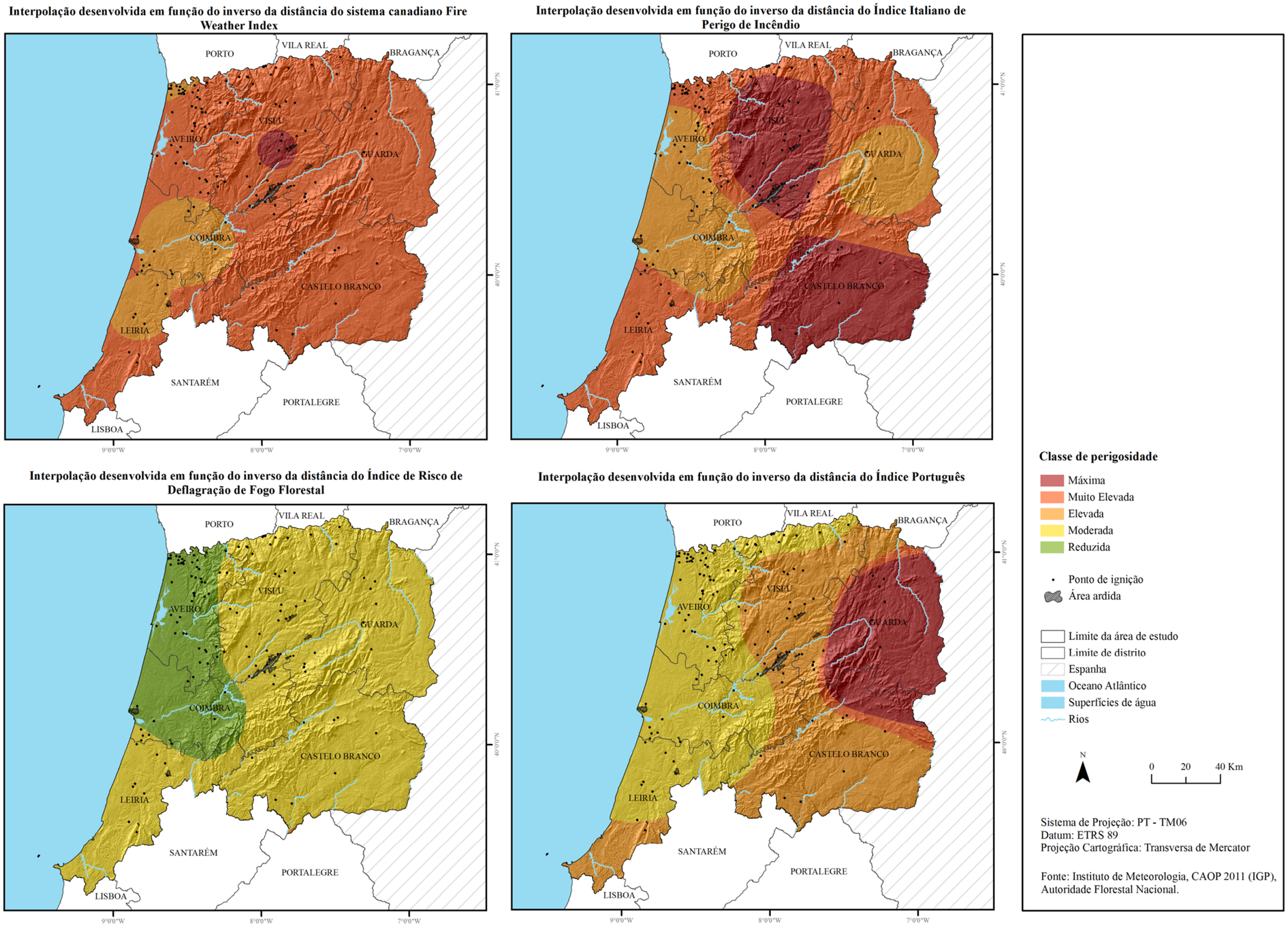

Figura 4.31 - Perigosidade de incêndio florestal de acordo com os índices dinâmicos, segundo o IDW, e a respetiva área ardida e ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005.

l

O Quadro 4.7 e as Figuras (4.32, 4.33, 4.34 e 4.35) apresentam, em percentagem, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuídas pelas classes de perigosidade dos índices para o episódio em análise.

Quadro 4.7 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade dos índices, no dia 2 de outubro de 2005.

Classe de perigosidade		Reduzida	Moderada	Elevada	Muito elevada	Máxima
Área ardida	FWI	-	-	7	87	6
Nº de ocorrências		-	-	27	69	5
Área ardida	IFDI	-	-	16	12	71
Nº de ocorrências		-	-	21	50	29
Área ardida	IRDIF	16	84	-	-	-
Nº de ocorrências		43	57	-	-	-
Área ardida	IP	-	27	73	0	0
Nº de ocorrências		-	65	29	1	4

Nota: Neste episódio registaram-se 153 ocorrências de incêndios.

Verificando o quadro e as figuras, os resultados revelam que a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios varia em função dos índices, apesar da existência de algumas analogias.

A área ardida, nos índices FWI e IFDI, encontrava-se distribuída pelas classes de perigosidade mais elevadas (elevada, muito elevada e máxima). No entanto, no caso do FWI, houve uma maior concentração na classe muito elevada, enquanto no IFDI se registou num nível de perigosidade máxima. Pela análise do IRDIF, sobressaiu a área ardida nas classes de perigosidade reduzida e moderada e, no IP, distribuiu-se essencialmente nas classes moderada e elevada.

Na análise das ocorrências de incêndios, há que salientar a semelhança entre os índices FWI e IFDI, em que as ocorrências estavam dispersas pelas classes de perigosidade mais elevadas (elevada, muito elevada e máxima). No caso do IRDIF, os incêndios ocorreram nas áreas indicadas uma perigosidade reduzida e moderada e no IP estavam distribuídas, abarcando um maior número de classes de perigosidade (moderada, elevada, muito elevada e máxima).

Partindo da distribuição da área ardida, o FWI obteve um ótimo desempenho e o IFDI um bom desempenho. Se considerarmos as ocorrências de incêndios, o FWI e IFDI obtiveram um bom desempenho. Pelo contrário, o IRDIF e o IP demonstraram um desempenho desfavorável em termos de área ardida e ocorrências de incêndios. Enquanto nos primeiros índices, as áreas ardidas e as ocorrências de incêndios se

concentravam sobretudo nas classes de perigosidade elevada e máxima, nos segundos estavam distribuídas pelas classes de menor perigosidade.

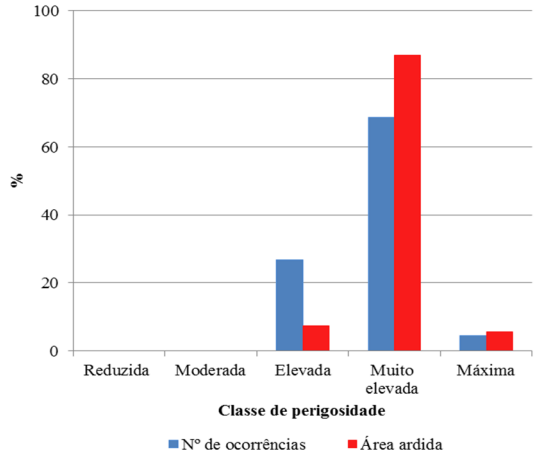

Figura 4.32 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do FWI no dia 2 de outubro de 2005.

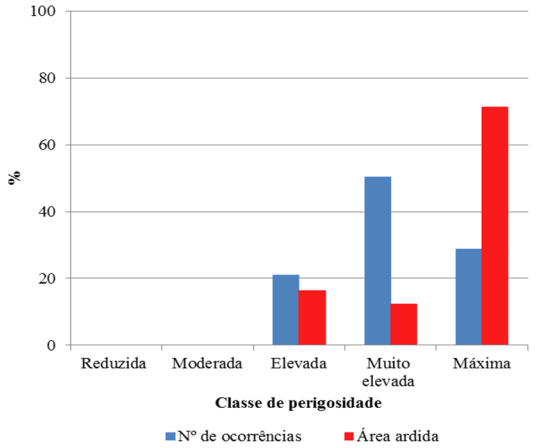

Figura 4.33 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IFDI no dia 2 de outubro de 2005.

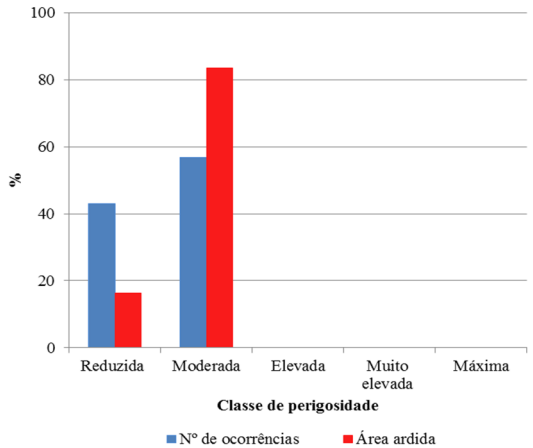

Figura 4.34 - Percentagem de área ardida e ocorrência pelas classes de perigosidade do IRDIF no dia 2 de outubro de 2005.

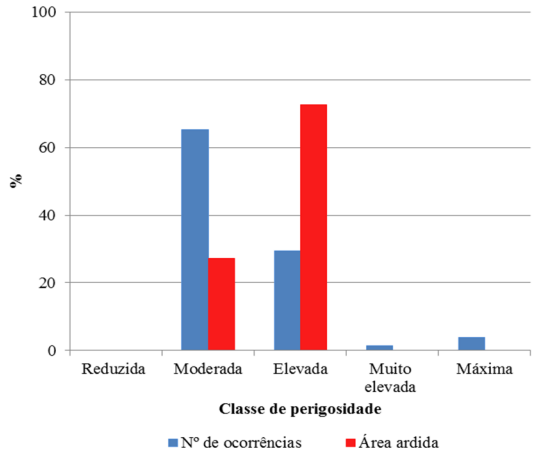

Figura 4.35 - Percentagem de área ardida e ocorrências pelas classes de perigosidade do IP no dia 2 de outubro de 2005.

4.1.2. Análise do índice integrado (ICRIF)

Episódio de 6 de março de 2002

A Figura 4.36 ilustra a perigosidade de incêndio de acordo com o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal[18] (ICRIF) e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002.

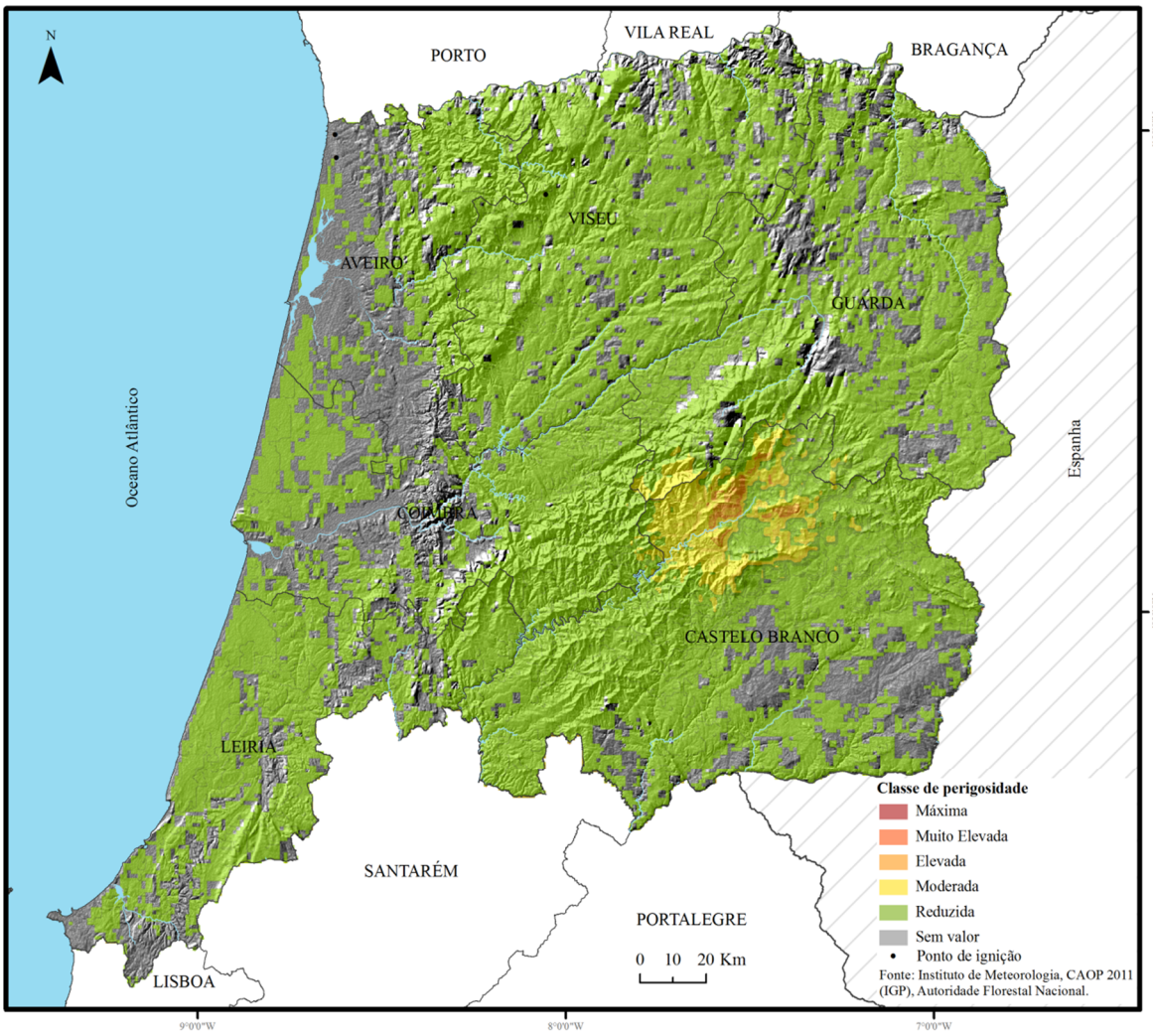

Figura 4.36 - ICRIF e as ocorrências de incêndios, no dia 6 de março de 2002.

De acordo com o mapa e tomando como referência as classes de perigosidade – reduzida, moderada e elevada – verificamos simplesmente uma mancha pouco significativa de perigosidade moderada a elevada no distrito de Castelo Branco. Já os

[18] Na utilização do ICRIF, são consideradas seis classes de perigosidade: nula, reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima. Por razões práticas, a classe nula encontra-se incluída na classe de perigosidade reduzida.

restantes distritos, designadamente, Aveiro, Viseu, Guarda, Coimbra, Leiria e incluindo grande parte de Castelo Branco revelaram uma perigosidade reduzida.

O Quadro 4.8 e a Figura 4.37 demonstram, em percentagem, a distribuição de ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 6 de março de 2002.

Quadro 4.8 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 6 de março de 2002.

Classe de perigosidade	**Nº de ocorrências (%)**
Reduzida	100
Moderada	0
Elevada	0
Muito elevada	0
Máxima	-

Nota: Neste episódio registaram-se 3 ocorrências de incêndios.

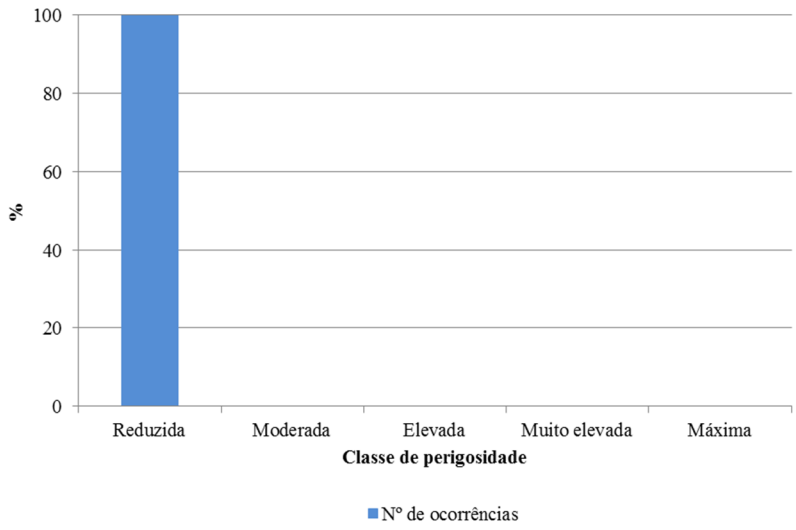

Figura 4.37 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 6 de março de 2002.

De acordo com as mesmas, os resultados mostraram que o número reduzido de incêndios registados ocorreu particularmente nas áreas em que prevaleceu uma perigosidade reduzida.

De um modo geral, o ICRIF indicou uma perigosidade baixa, correspondendo a condições pouco propícias à ocorrência de incêndios florestais, refletindo, assim, o seu número restrito de ocorrências neste episódio.

Episódio de 2 de julho de 2003

A Figura 4.38 demonstra a perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003.

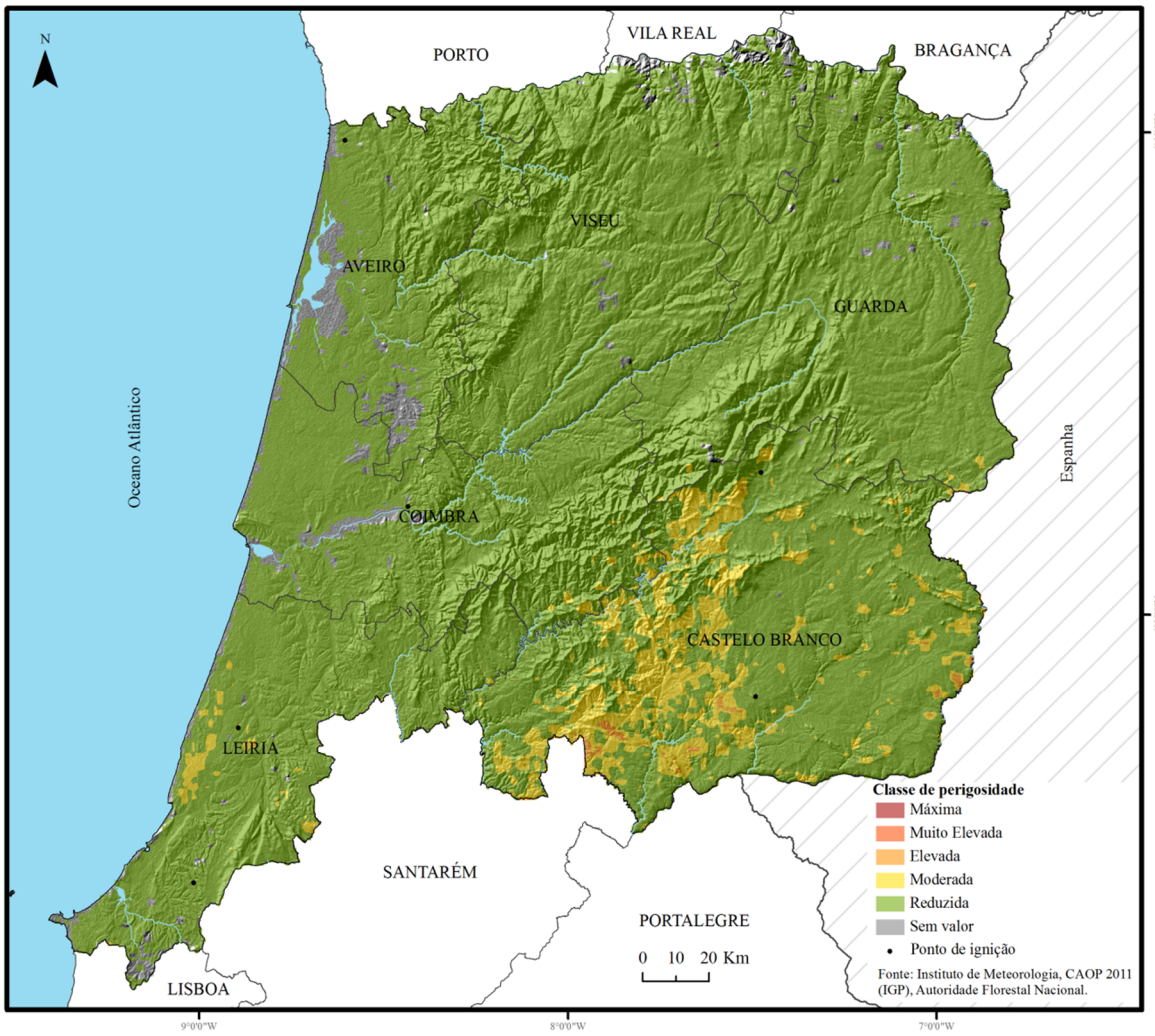

Figura 4.38 - ICRIF e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de julho de 2003.

Da leitura da figura e considerando as classes - reduzida, moderada e elevada - constatamos que a classe de perigosidade reduzida prevaleceu em todos os distritos, com menor relevo, porém, nos distritos de Aveiro e Viseu. A classe moderada apareceu principalmente no distrito de Castelo Branco e pontualmente nos distritos de Coimbra, Guarda e Leiria e o nível elevado sobressaiu somente no distrito de Castelo Branco, embora com pouco significado.

O Quadro 4.9 e a Figura 4.39 mostram, em percentagem, a distribuição de ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de julho de 2003.

Quadro 4.9 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de julho de 2003.

Classe de perigosidade	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	100
Moderada	0
Elevada	0
Muito elevada	0
Máxima	-

Nota: Neste episódio registaram-se 6 ocorrências de incêndios.

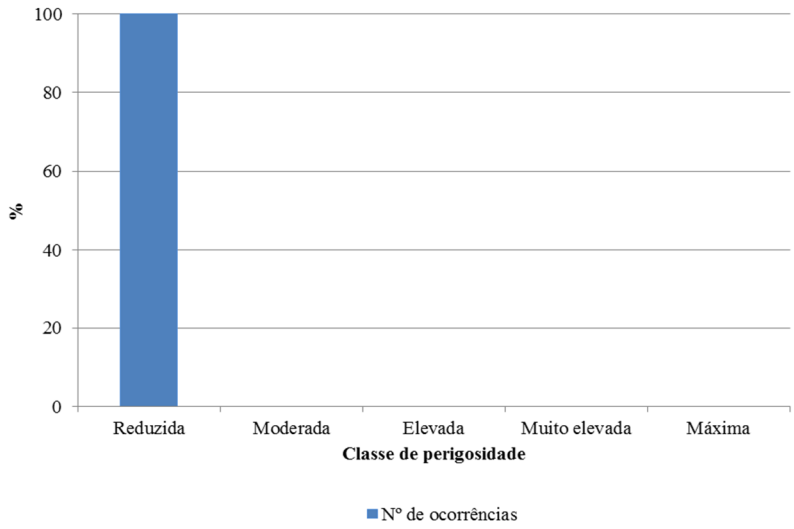

Figura 4.39 - Percentagem de ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de julho de 2003.

Da análise conjunta do quadro e das figuras, os resultados evidenciaram que os incêndios ocorreram essencialmente nas áreas indicadas com menor perigosidade. Tal como o episódio analisado anteriormente, não se registaram áreas ardidas, pelo que foram consideradas apenas o número de ocorrências.

De uma maneira geral, o ICRIF mostrou um grau de perigosidade reduzida, indicando assim condições pouco favoráveis à ocorrência dos incêndios, justificando, portanto, o número reduzido de ocorrências, no episódio em análise.

Episódio de 2 de agosto de 2003

A Figura 4.40 evidencia a perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e a respetiva área ardida e ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003.

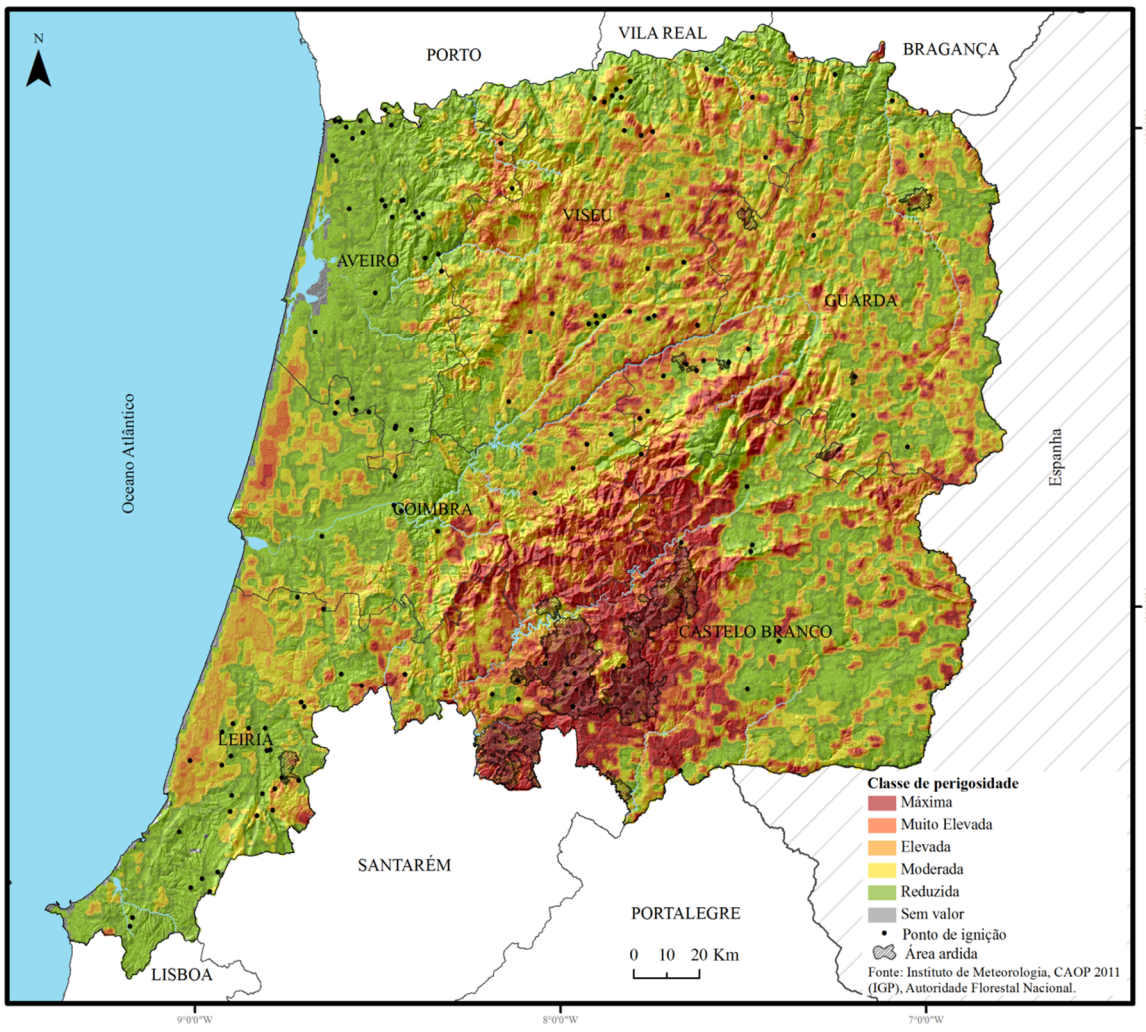

Figura 4.40 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de agosto de 2003.

De acordo com a mesma e atendendo as classes de perigosidade - reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima - deduzimos que os valores do ICRIF foram particularmente elevados nos distritos de Castelo Branco, Coimbra e Viseu, abrangendo também pequenas dimensões na Guarda e Leiria. Por outro lado, o distrito de Aveiro, uma parte de Leiria e algumas manchas pontuais nos restantes distritos tiveram uma perigosidade mais baixa.

O Quadro 4.10 e a Figura 4.41 indicam, em percentagem, a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de agosto de 2003.

Quadro 4.10 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de agosto de 2003.

Classe de perigosidade	Área ardida (%)	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	3	52
Moderada	5	25
Elevada	8	13
Muito elevada	23	8
Máxima	60	2

Nota: Neste episódio registaram-se 154 ocorrências de incêndios.

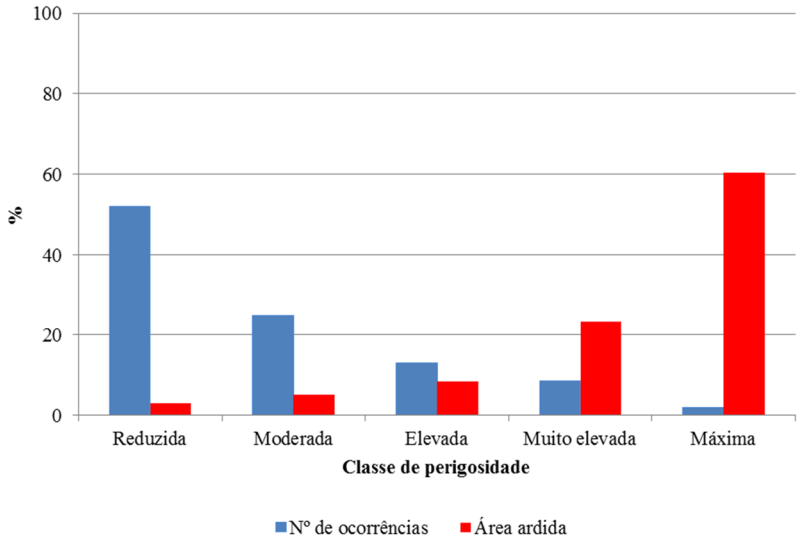

Figura 4.41 - Percentagem de área ardida e as ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de agosto de 2003.

Pela análise do quadro e da figura, observamos que as áreas ardidas e as ocorrências de incêndios se distribuíram de uma forma desigual.

As áreas ardidas concentraram-se, na sua maioria, nas áreas com perigosidade máxima, seguido do nível muito elevado. As restantes classes de perigosidade – reduzida, moderada e elevada – tiveram uma menor representatividade. No lado oposto, houve uma maior concentração das ocorrências de incêndios nas áreas com menor perigosidade – reduzida e moderada. As restantes classes – elevada, muito elevada e máxima - obtiveram uma menor expressão.

Deste modo, o ICRIF teve um bom desempenho no que diz respeito à área ardida. Porém, se considerarmos as ocorrências de incêndios, o mesmo índice apresentou um desempenho desfavorável. Assim, o ICRIF foi mais fiável na concentração das áreas ardidas do que nas ocorrências de incêndios.

Episódio de 27 de julho de 2004

A Figura 4.42 representa uma perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004.

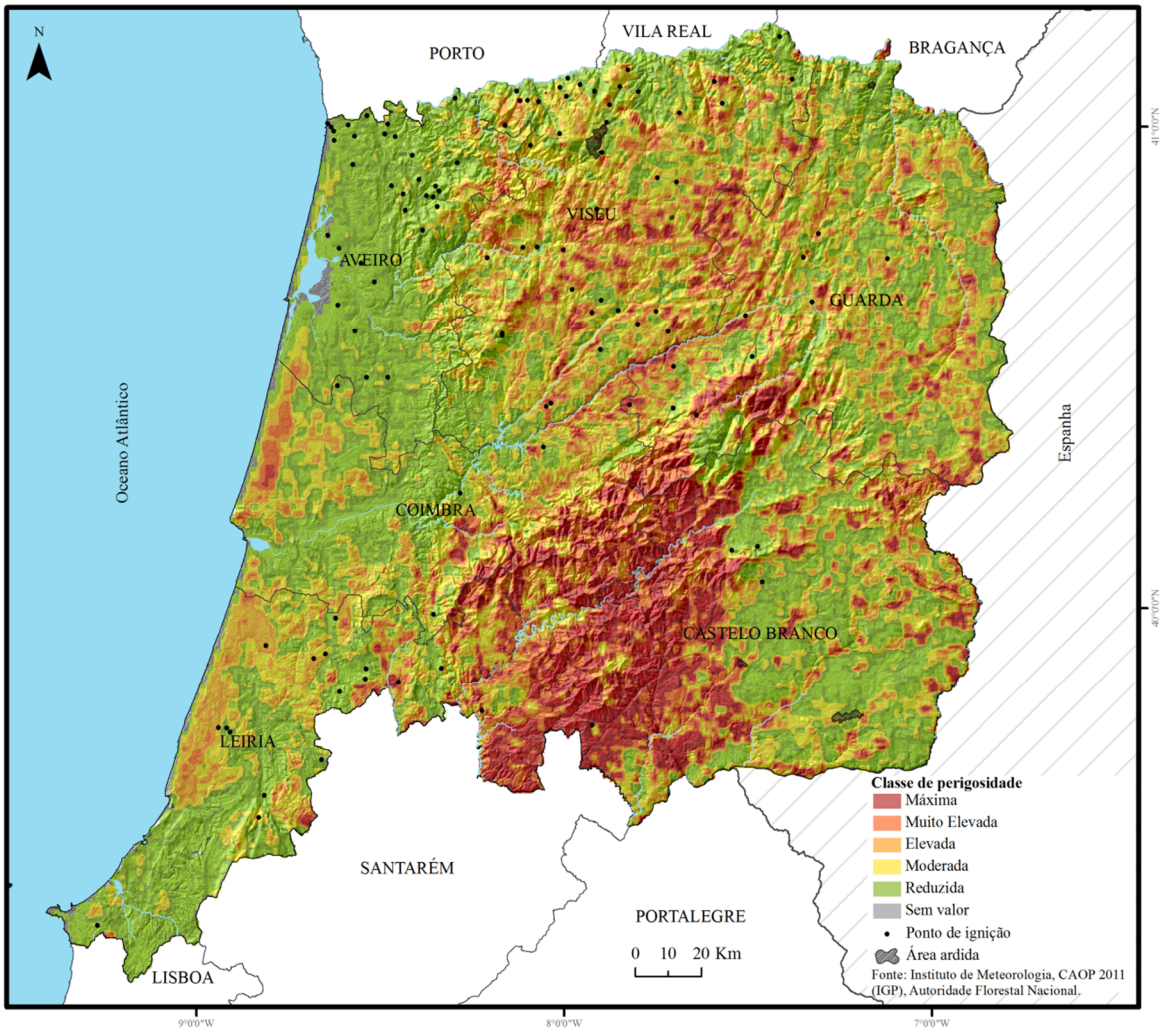

Figura 4.42 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 27 de julho de 2004.

De acordo com a figura e considerando as classes de perigosidade – reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima – constatamos que as classes alcançaram níveis mais elevados especialmente nos distritos de Castelo Branco, Coimbra e Viseu, incluindo igualmente algumas áreas na Guarda e Leiria. Em contrapartida, uma parte dos distritos de Aveiro e Leiria e algumas manchas que apareceram pontualmente nos restantes distritos apresentaram uma perigosidade mais baixa.

O Quadro 4.11 e a Figura 4.43 exibem, em percentagem, a distribuição da área ardida e ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 27 de julho de 2004.

Quadro 4.11 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 27 de julho de 2004.

Classe de perigosidade	Área ardida (%)	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	47	58
Moderada	29	21
Elevada	17	12
Muito elevada	2	7
Máxima	5	2

Nota: Neste episódio registaram-se 121 ocorrências de incêndios.

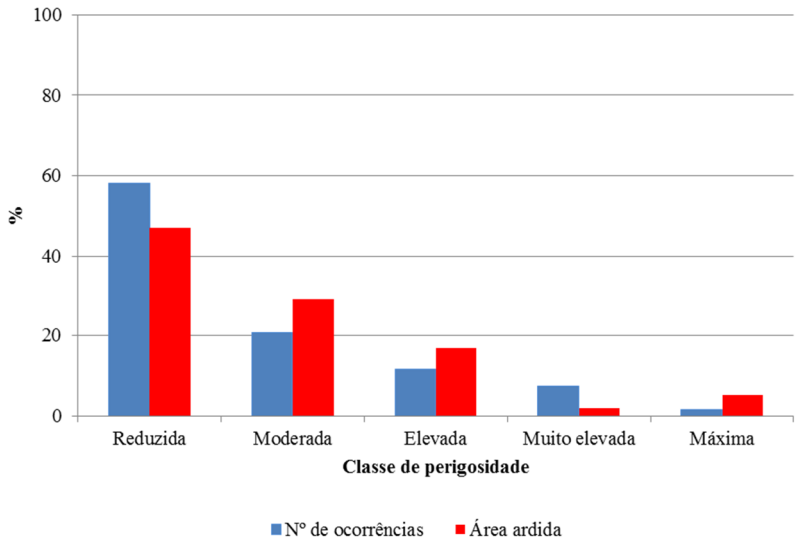

Figura 4.43 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 27 de julho de 2004.

Pela leitura do quadro e da figura, constatamos que a distribuição das áreas ardidas e das ocorrências de incêndios foi semelhante nas diferentes classes de perigosidade.

Considerando simplesmente a área ardida, verificamos que a maior parte se distribuiu nas áreas com uma perigosidade reduzida e moderada. Nas restantes classes – elevada, muito elevada e máxima – a área ardida teve um menor relevo.

Atendendo às ocorrências de incêndios, há que referir que a sua distribuição se assemelhou à situação da área ardida, com maior destaque para as ocorrências verificadas nas classes de perigosidade reduzida e moderada. Em contrapartida, houve um menor registo de ocorrências nas classes elevada, muito elevada e máxima.

Deste modo, os resultados alcançados indicaram que o ICRIF teve um desempenho desfavorável para o episódio em análise, tanto para a área ardida como para as ocorrências de incêndios. Há que realçar, ainda, que as áreas de valor reduzido serem as que apresentaram mais ocorrências e área ardida.

Episódio de 20 de agosto de 2005

A Figura 4.44 apresenta a perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005.

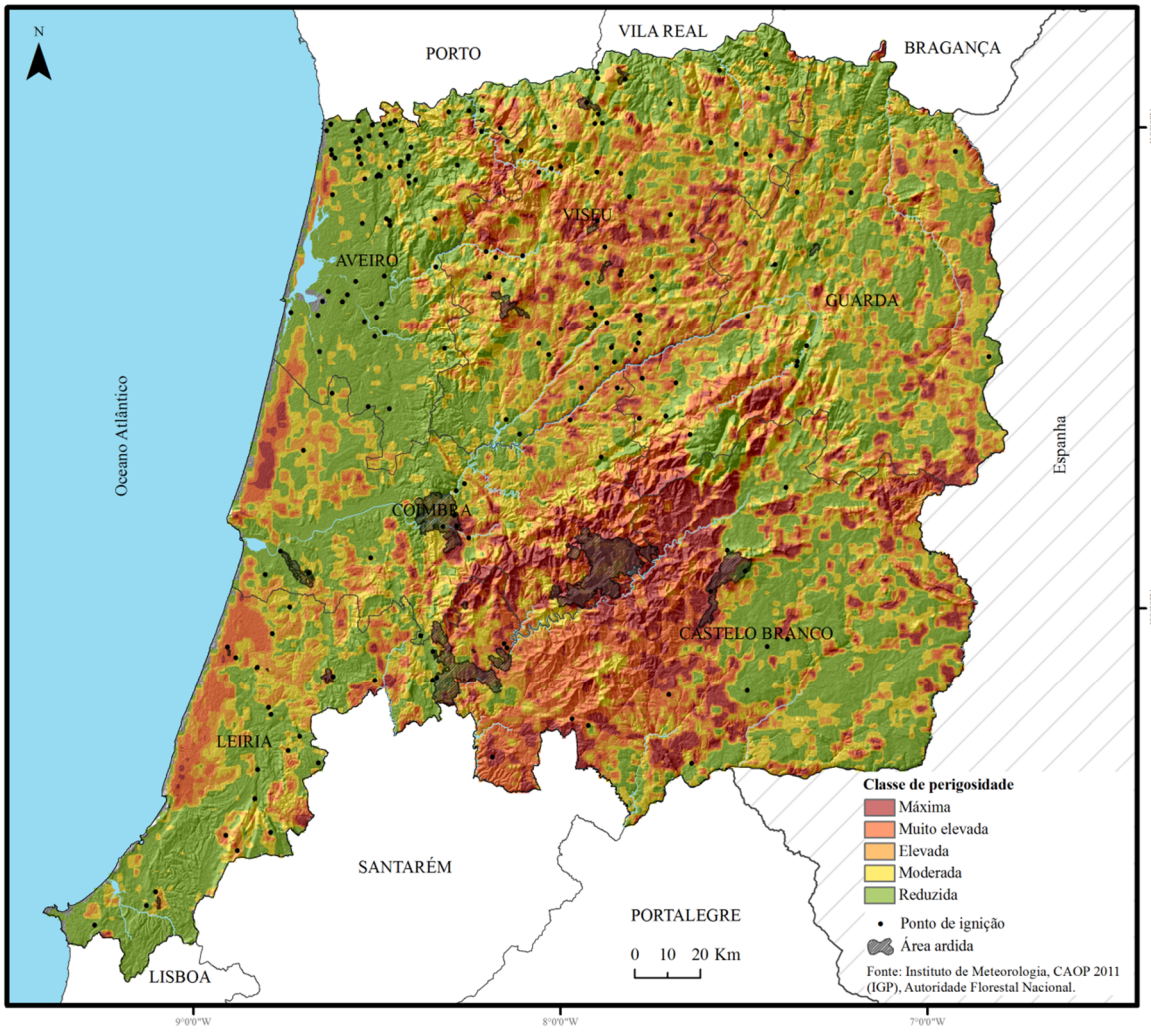

Figura 4.44 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 20 de agosto de 2005.

De acordo com o mapa e analisando as classes - reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima – os valores mais elevados do ICRIF se registaram sobretudo nos distritos de Castelo Branco, Coimbra e Viseu, incluindo também manchas pontuais nos distritos da Guarda e Leiria. Aveiro foi o único distrito que apresentou, geralmente, uma perigosidade mais baixa.

O Quadro 4.12 e a Figura 4.45 revelam, em percentagem, a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 20 de agosto de 2005.

Quadro 4.12 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 20 de agosto de 2005.

Classe de perigosidade	Área ardida (%)	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	20	55
Moderada	25	22
Elevada	23	12
Muito elevada	16	9
Máxima	16	2

Nota: Neste episódio registaram-se 215 ocorrências de incêndios.

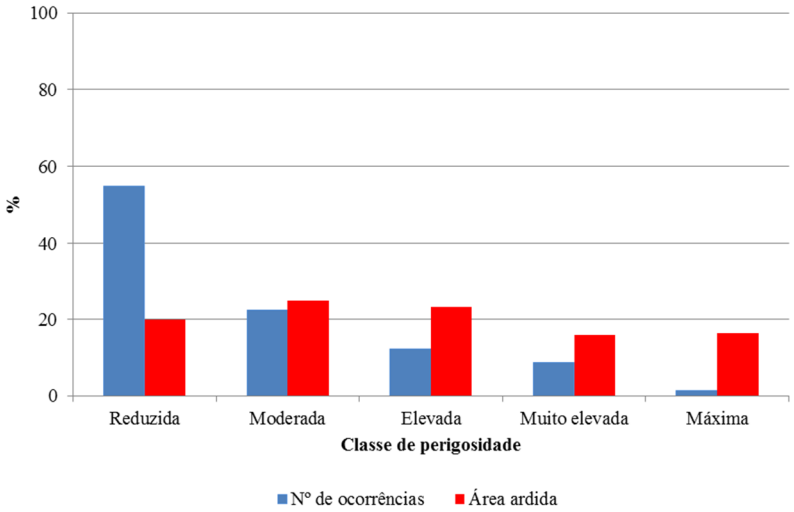

Figura 4.45 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 20 de agosto de 2005.

Pela observação do quadro e da figura, podemos referir que a distribuição das áreas ardidas e ocorrências de incêndios foi parecida nas diferentes classes de perigosidade.

Da análise da área ardida, percebe-se que esta se distribuiu de uma forma idêntica pelas várias classes de perigosidade, apesar da existência de pequenas variações. Contudo, houve uma maior área ardida nas classes moderada e elevada.

Em relação às ocorrências de incêndios, constata-se que a distribuição das mesmas foi distinta da situação da área ardida. Na classe de perigosidade reduzida, predominaram as ocorrências, seguido da classe de perigosidade moderada. As restantes classes – elevada, muito elevada e máxima – registaram menores valores.

Assim sendo, neste episódio, os resultados indicam que o ICRIF apresentou um desempenho desfavorável em termos de área ardida e ocorrências de incêndios. No entanto, a percentagem foi maior atendendo à área ardida.

Episódio de 21 de agosto de 2005

A Figura 4.46 demonstra a perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005.

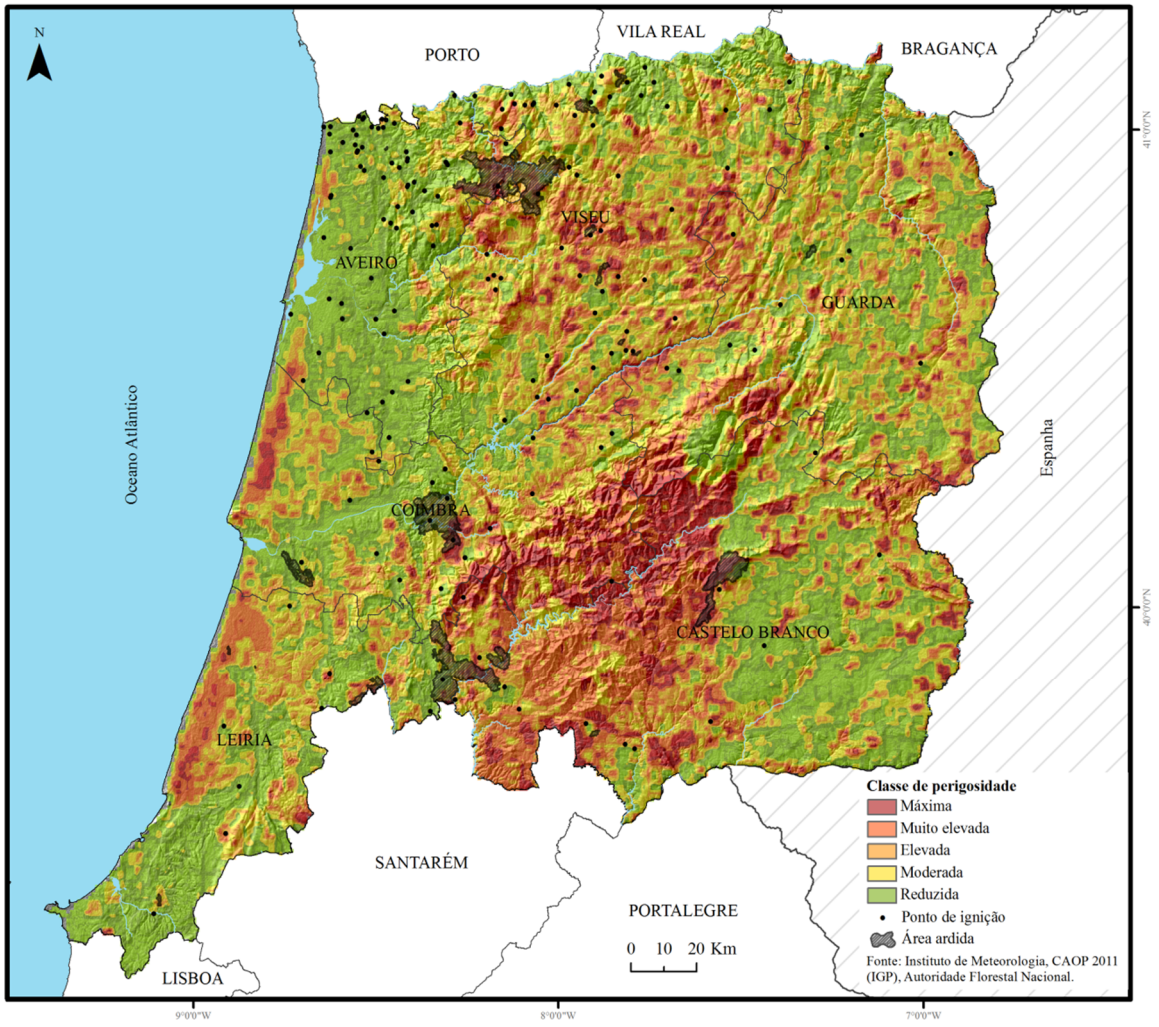

Figura 4.46 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 21 de agosto de 2005.

Observando agora a figura e as classes de perigosidade - reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima - depreendemos que o ICRIF obteve níveis mais elevados especialmente nos distritos de Castelo Branco, Coimbra e Viseu, abrangendo identicamente pequenas proporções na Guarda e Leiria. O distrito de Aveiro e, simultaneamente, pequenas manchas distribuídas pelos restantes distritos apresentaram uma perigosidade baixa.

O Quadro 4.13 e a Figura 4.47 indicam, em percentagem, a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 21 de agosto de 2005.

Quadro 4.13 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 21 de agosto de 2005.

Classe de perigosidade	Área ardida (%)	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	14	53
Moderada	18	24
Elevada	14	14
Muito elevada	20	6
Máxima	35	2

Nota: Neste episódio registaram-se 196 ocorrências de incêndios.

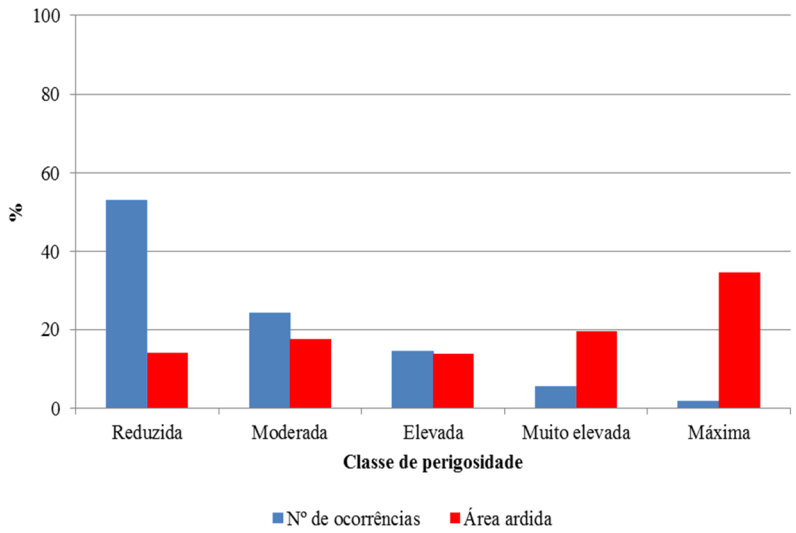

Figura 4.47 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 21 de agosto de 2005.

Pela visualização do quadro e da figura, a área ardida e as ocorrências de incêndios repartiram-se de uma forma distinta pelas classes de perigosidade.

Se tivermos em conta a área ardida, a mesma foi maior nas classes de perigosidade muito elevada e máxima, destacando a última classe, enquanto as classes – reduzida, moderada e elevada – apresentaram menores percentagens.

Considerando as ocorrências de incêndios, a sua distribuição foi distinta da situação da área ardida. Nas classes de perigosidade reduzida e moderada, prevaleceram as ocorrências e nas restantes classes – elevada, muito elevada e máxima – houve um menor número das mesmas.

A distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade, mostra que o ICRIF exibiu um bom desempenho, tendo em conta a área ardida. Quando consideradas as ocorrências de incêndios, o desempenho do índice foi desfavorável, visto que a maioria dos incêndios ocorreram nas áreas assinaladas com uma perigosidade baixa, embora um número reduzido de ocorrências aparecesse nas classes mais elevadas.

Episódio de 2 de outubro de 2005

A Figura 4.48 indica a perigosidade de incêndio de acordo com o ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005.

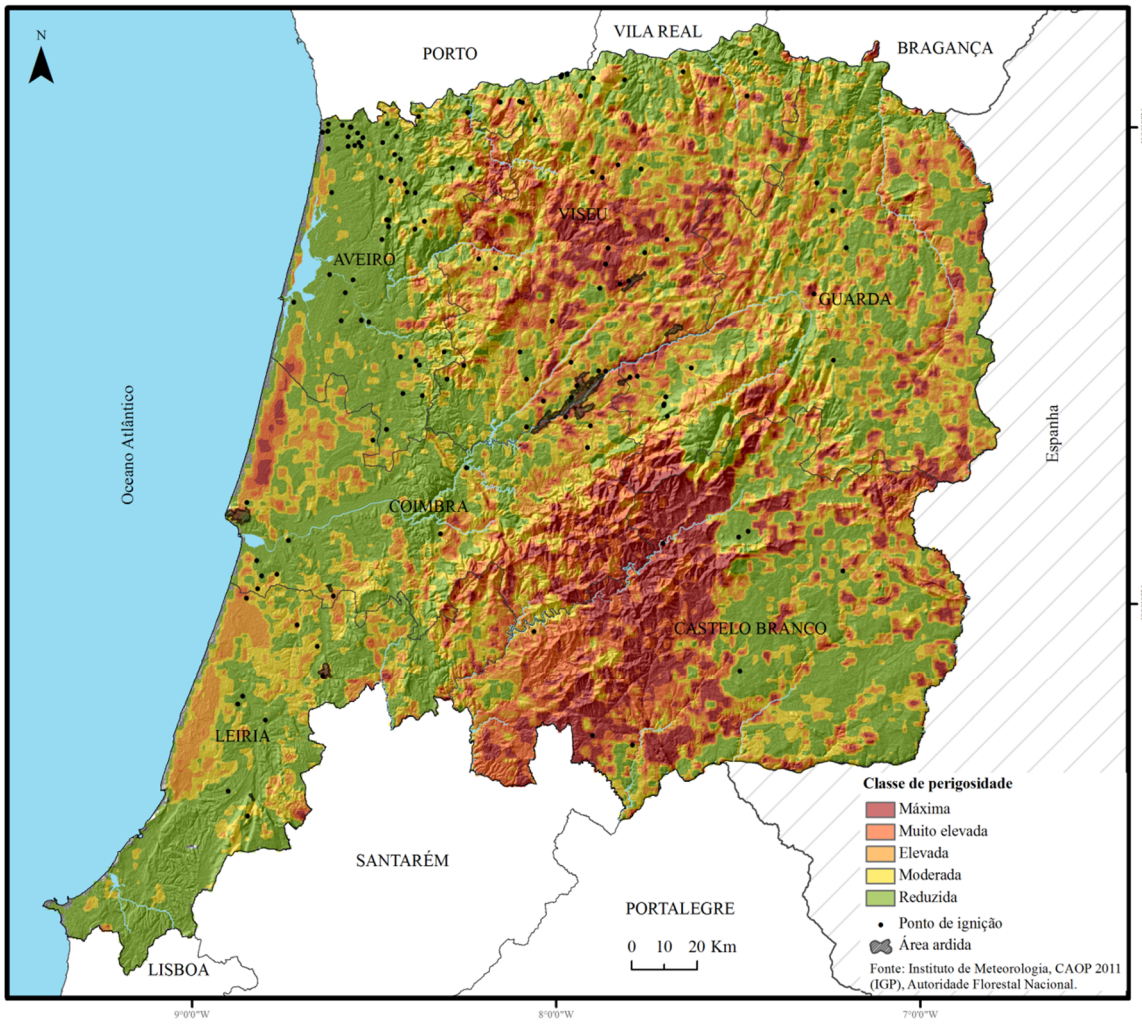

Figura 4.48 - ICRIF e a respetiva área ardida e as ocorrências de incêndios, no dia 2 de outubro de 2005.

Pela análise da mesma e tomando como referência as classes - reduzida, moderada, elevada, muito elevada e máxima - é evidente que o ICRIF conseguiu níveis mais elevados especialmente nos distritos de Castelo Branco, Coimbra e Viseu, abrangendo igualmente pequenas proporções na Guarda e Leiria. Uma parte considerável dos distritos de Aveiro e Leiria, incluindo também pequenas manchas distribuídas nos demais distritos apresentaram uma perigosidade baixa.

O Quadro 4.14 e a Figura 4.49 mostram, em percentagem, a distribuição da área ardida e ocorrências de incêndios pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de outubro de 2005.

Quadro 4.14 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de outubro de 2005.

Classe de perigosidade	Área ardida (%)	Nº de ocorrências (%)
Reduzida	55	60
Moderada	1	21
Elevada	15	12
Muito elevada	11	4
Máxima	19	3

Nota: Neste episódio registaram-se 153 ocorrências de incêndios.

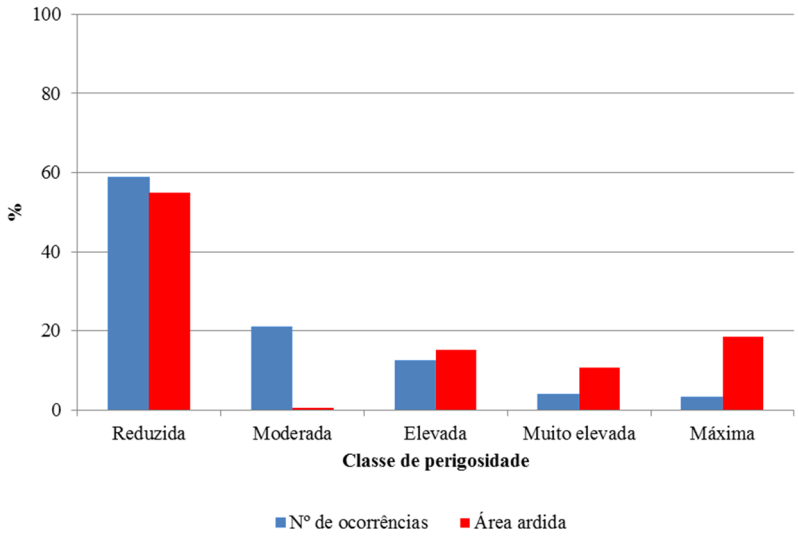

Figura 4.49 - Percentagem de área ardida e ocorrências de incêndios, pelas classes de perigosidade do ICRIF, no dia 2 de outubro de 2005.

Pela análise do quadro e da figura, a área ardida e as ocorrências de incêndios distribuíram-se irregularmente pelas diferentes classes de perigosidade.

No caso da área ardida, houve um predomínio na classe de perigosidade reduzida, apesar das classes – elevada, muito elevada e máxima – registarem proporções consideráveis.

Relativamente às ocorrências de incêndios, a sua distribuição difere um pouco da área ardida. A classe de perigosidade reduzida apresentou um maior número de ocorrências, seguido da classe moderado. Nas restantes classes – elevada, muito elevada e máxima – verificamos menores percentagens de ocorrências.

Assim sendo, os resultados obtidos revelaram um desempenho desfavorável do ICRIF, atendendo à área ardida e às ocorrências de incêndios. No entanto, a percentagem foi maior no que se refere à área ardida. Note-se, ainda, o facto de as áreas de valor reduzido serem as que possuíram mais ocorrências e áreas ardidas.

4.1.3. Conclusões dos resultados obtidos dos índices de perigosidade de incêndio

Com a finalidade de avaliar o desempenho dos índices de perigosidade de incêndio, tendo como base simplesmente a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas diferentes classes de perigosidade e a análise visual dos mapas produzidos, foi organizado um quadro-síntese (Quadro 4.15), atribuindo um conjunto de cores, partindo dos resultados evidenciados pelos diferentes índices. As cores englobam o verde (desempenho elevado), amarelo (desempenho moderado) e vermelho (desempenho reduzido), conforme o desempenho demonstrado pelos mesmos, nos diferentes episódios.

Quadro 4.15 - Avaliação dos índices de perigosidade de incêndio florestal de acordo com o seu desempenho nos diferentes episódios.

Episódios	FWI	IFDI	IRDIF	IP	ICRIF
6 março 2002					
2 julho 2003					
2 agosto 2003					
27 julho 2004					
20 agosto 2005					
21 agosto 2005					
2 outubro 2005					

– Desempenho elevado
– Desempenho moderado
– Desempenho reduzido

Da análise do quadro, podemos concluir que os índices, baseados somente nas variáveis meteorológicas, apresentaram um desempenho moderado no episódio de 6 de março de 2002, caracterizados por uma perigosidade baixa, refletindo condições pouco propícias à ocorrência de incêndios. No dia 2 de julho de 2003, os índices FWI e IP tiveram um desempenho elevado e o IFDI e IRDIF demonstraram um desempenho moderado. Nos restantes episódios, os índices revelaram diferentes resultados, registando-se, porém, algumas semelhanças entre os mesmos.

De um modo geral, o *Fire Weather Index* (FWI) demonstrou melhores resultados na maioria dos episódios, seguido do *Italian Fire Danger Index* (IFDI) e do Índice Português (IP) que revelaram também resultados satisfatórios na maior parte das situações. Porém, o IP teve um menor desempenho no episódio de 2 de outubro de

2005. O Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF) foi o que, em termos globais, evidenciou piores resultados.

Face ao que foi referido anteriormente, os índices FWI, IFDI e IP revelaram-se, geralmente, mais fiáveis para o conjunto de episódios, na concentração tanto da área ardida como na da ocorrência de incêndios florestais. O mesmo já não aconteceu com o IRDIF. Este facto poderá resultar essencialmente da incorporação das variáveis que os índices consideram no seu cálculo. Enquanto que o IRDIF integra somente a temperatura do ar e a humidade relativa, os restantes índices incluem, para além de outras variáveis meteorológicas, a velocidade do vento e a precipitação. A incorporação destes parâmetros pode refletir melhor a realidade dos incêndios florestais na área de estudo, pois a precipitação intervém no desenvolvimento da vegetação e no processo de secura dos combustíveis e o vento têm uma influência nas condições de propagação do fogo. Aliás, estes dois parâmetros meteorológicos constituem dois fatores fundamentais na deflagração e comportamento de um incêndio, pelo que os índices (FWI, IFDI e IP) refletiram em grande medida os parâmetros considerados.

O Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF), que incorpora mais informação de base, permitindo fazer outro tipo de análise, teve um desempenho elevado para os dias 6 de março de 2002 e 2 de julho de 2003 e um desempenho moderado para os episódios de 2 de agosto de 2003 e 21 de agosto de 2005. Contudo, demonstrou um resultado desfavorável para três dos episódios (27 de julho de 2004, 20 de agosto e 2 de outubro de 2005). Estes apresentaram condições mais propensas à ocorrência de incêndios florestais, mas a maioria da área ardida e das ocorrências de incêndios registaram-se nas classes de perigosidade reduzida, moderada e elevada. Pelo contrário, as menores percentagens em termos de área ardida e de ocorrência de incêndios florestais concentraram-se nas áreas com maior perigosidade.

.

4.2. Algumas evidências sobre a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios: as condições naturais e a influência humana

O risco de incêndio florestal, que afeta uma determinada área e provoca danos ambientais, económicos e sociais, depende de um conjunto de fatores, sejam eles de origem natural e/ou antrópica, embora esta última possua uma maior relevância.

Com o intuito de demonstrar a relação da ocorrência dos incêndios e da área ardida com a eventual intervenção humana na origem das mesmas, realizou-se um exercício para os diferentes episódios, cruzando a localização das ignições com a delimitação de uma faixa com um raio de 1km[19] a partir dos aglomerados urbanos da *Corine Land Cover* 2006, na Região Centro. Pelos resultados obtidos, é evidente que a maior parte das ignições tiveram a sua origem nas áreas adjacentes aos perímetros urbanos (dentro do *buffer*) na maioria dos episódios: 6 de março de 2002 (67%); 2 de julho de 2003 (83%); 2 de agosto de 2003 (63%); 27 de julho de 2004 (52%); 20 de agosto de 2005 (61%); 21 de agosto de 2005 (51%) e 2 de outubro de 2005 (50%). Este facto reflete, em grande medida, a ação humana enquanto elemento justificativo da ocorrência dos incêndios florestais.

Relativamente à distribuição espacial dos incêndios florestais, é importante referir que as ignições encontraram-se dispersas pelos diferentes distritos, especialmente nos episódios de julho, agosto e outubro, cujos índices apresentaram geralmente uma perigosidade mais elevada. Há, porém, uma maior concentração dos mesmos nos distritos do litoral, caracterizados por uma maior densidade populacional, em relação aos do interior. Assim sendo, é evidente, mais uma vez, a intervenção humana, integrando ainda outras razões, na deflagração dos incêndios florestais.

Na análise espacial das áreas ardidas pelos diferentes episódios, estas concentraram-se nas áreas de maior perigosidade, sobretudo nos dias 2 de agosto de 2003, 27 de julho de 2004, 20 de agosto 2005, 21 de agosto de 2005, para os vários índices (FWI, IFDI, IP e ICRIF), excetuando o IRDIF. Este índice evidenciou, geralmente, níveis de perigosidade inferiores comparativamente aos restantes, pelo que as áreas ardidas tiveram uma maior expressão nas classes de perigosidade mais baixas

[19] A proximidade das áreas urbanas contribuem para uma maior incidência dos incêndios florestais em resultado do aumento da atividade humana que origina. Por isso, considerou a faixa de influência de 1 km, visto que é mais fácil uma pessoa parar ou deslocar-se a pé, bem como entrar em propriedades envolventes considerando esta distância, com a intenção de originar um foco de incêndio.

(reduzida, moderada e elevada). Somente no episódio de 27 de julho de 2004, uma parte considerável das áreas ardidas concentrou-se na classe de perigosidade máxima.

O facto de as áreas ardidas concentrarem-se nas áreas de maior perigosidade, expressa, por vezes, a menor influência do fator humano para alguns episódios. Convém salientar que os índices refletem as condições naturais, contudo se o fator humano fosse incorporado nos modelos, os mesmos seriam reformulados e explicariam melhor a realidade dos incêndios florestais em Portugal.

Outro aspeto a considerar, nesta análise, prende-se com a localização propriamente dita das áreas ardidas. De um modo geral, as áreas ardidas encontravam-se dominantemente nos distritos do interior, principalmente nos episódios de 2 de agosto de 2003, 27 de julho de 2004, 20 e 21 de agosto de 2005 e 2 de outubro de 2005. Há que referir, no entanto, que nos episódios de 20 e 21 de agosto de 2005, as áreas ardidas obtiveram igualmente alguma expressão nos distritos do litoral.

Em termos gerais, as áreas ardidas verificaram-se sobretudo nos distritos do interior, alcançando grandes proporções em alguns episódios, nas áreas caracterizadas com maiores altitudes e declives mais acentuados. A conjugação destes dois fatores cria grandes dificuldades à atuação dos meios de combate, reduzindo drasticamente a possibilidade de um ataque direto aos incêndios florestais. Estas áreas apresentam, geralmente, uma menor densidade no que se refere à rede viária, o que impede o acesso e o posicionamento das viaturas de combate, bem como a mobilidade e segurança dos meios humanos envolvidos no ataque direto às chamas. Para além disso, as estradas juntamente com as áreas urbanas, têm um relevo determinante, visto que tanto podem constituir como barreiras à progressão, como colaborar para uma maior incidência de um acréscimo da intervenção humana que originaram. Há que referir, igualmente, que as áreas ardidas com menores dimensões correspondem normalmente às áreas com menor altitude e declives mais suaves. Outra razão que contribui para a maioria das áreas ardidas nos distritos do interior prende-se com as alterações socioeconómicas ocorridas nas áreas mais ruralizadas. Além de um decréscimo populacional das áreas rurais, com o consequente abandono da agricultura e da redução de efetivos da agropecuária, as importantes áreas agrícolas que vão sendo gradualmente abandonadas e ocupadas por vegetação natural, acumulam notavelmente a quantidade de biomassa inflamável.

Como seria de esperar, atendendo aos vários episódios, registaram-se valores mais elevados tanto de área ardida como do número de ocorrências de incêndios nos meses mais quentes, nomeadamente nos meses de julho e agosto, e nos meses

normalmente menos favoráveis, como é o caso de outubro. Este facto sugere que os grandes incêndios se desenvolveram em situações meteorológicas específicas. Aliás, “os fogos só se desenvolvem, atingindo frequentemente grandes proporções, quando as condições meteorológicas são favoráveis (Rebelo, 1980, Lourenço, 1994). Por um lado, os mesmos ocorreram nos meses mais quentes, resultantes em grande medida do facto destes meses serem os mais quentes e secos do ano, propiciando condições de humidade e temperatura adequadas para a ignição e deflagração dos incêndios, para além de igualmente assistirmos a fenómenos meteorológicos anormais traduzidos por ondas de calor e precipitação reduzida. Por outro lado, como aconteceu no mês de outubro, a título de exemplo, o episódio de 2 de outubro de 2005, em que as condições meteorológicas foram anormais, nomeadamente nas quantidades de precipitação reduzida, que por vezes podem ocorrer durante o ano.

Considerações finais

Considerações finais

Nesta dissertação foi apresentado um estudo comparativo que avaliou o desempenho de vários índices de perigosidade de incêndio florestal, baseados sobretudo em parâmetros meteorológicos e também estruturais, aplicados na Região Centro de Portugal. Teve como suporte as pesquisas bibliográficas relacionadas com os incêndios florestais e as metodologias de avaliação utilizadas no âmbito de cartografia de risco de incêndio.

Os métodos empregues foram testados, utilizando a base de dados das ocorrências de incêndios e das áreas ardidas para os diferentes episódios. Apesar da existência de determinadas limitações, foi possível averiguar a análise espacial e estatística das áreas ardidas e das ocorrências incêndios pelas classes de perigosidade dos índices, nos vários episódios. De referir, também, que a utilização de ferramentas SIG foi fundamental na avaliação de perigosidade dos índices e na consequente validação do seu desempenho, visto que permitiram o cruzamento da informação cartográfica produzida, possibilitando-nos uma leitura mais abrangente.

De um modo geral, este trabalho respondeu aos objetivos inicialmente propostos e que relembramos:

- comparação dos diversos métodos de interpolação espacial com a finalidade de verificar a interpolação mais ajustada, no caso dos índices dinâmicos.
- confrontação dos resultados dos índices, nomeadamente o Índice Português, o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal, o *Italian Fire Danger Index*, o Sistema Canadiano de Indexação *Fire Weather Index* e o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal, no sentido de verificar o mais adequado ao conjunto dos episódios estudados.
- análise das áreas ardidas e das ocorrências de incêndios florestais pelas diferentes classes de perigosidade dos índices.

Quanto ao primeiro objetivo, o método em função do inverso da distância demonstrou um bom desempenho na maioria dos episódios. As restantes interpolações utilizadas, a krigagem ordinária segundo o modelo variográfico gaussiano e a cokrigagem ordinária, obtiveram piores resultados, apesar de mostrarem resultados satisfatórios para alguns dos episódios. Deste modo, assinala-se o método em função do inverso da distância, com base nas metodologias utilizadas, como o mais favorável à produção dos mapas de perigosidade no estudo do desempenho dos índices dinâmicos.

Relativamente ao segundo, destaca-se o *Fire Weather Index* pelo melhor desempenho evidenciado na maioria dos episódios, entre os índices fundamentados somente nas variáveis meteorológicas. Segue-se o *Italian Fire Danger Index* e o Índice Português que revelaram também resultados satisfatórios na maioria das situações. Em contrapartida, o Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal foi o que, em termos globais, evidenciou piores resultados. Já o Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal, integrando variáveis dinâmicas e estruturais, evidenciou um desempenho favorável para quatro dos episódios e um resultado desfavorável nos demais.

Por último, a análise dos índices com base na distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios mostrou que não existiu uma relação direta com as classes de perigosidade. Os resultados alcançados apresentaram uma distribuição irregular em termos de área ardida e de ocorrências de incêndios. Houve situações em que verificamos uma maior concentração de área ardida e de ocorrências de incêndios nas classes de maior perigosidade, como também prevaleceram nas classes de menor perigosidade, ou se repartiram pelas diferentes classes. De referir, ainda, que nos mesmos episódios, a área ardida concentrou-se nas classes de maior perigosidade e as ocorrências de incêndios predominaram nas classes mais baixas.

O trabalho aqui apresentado permitiu um melhor conhecimento sobre o desempenho de alguns índices de perigosidade de incêndio florestal. Persistem, no entanto, outras "frentes" de investigação que precisam de ser abordadas, apesar dos inúmeros trabalhos existentes. Foram várias as questões, que, na fase final da elaboração da dissertação, geraram novas discussões e que poderão constituir novas perspetivas de desenvolvimento futuro no âmbito da cartografia de risco de incêndio florestal.

Partindo deste estudo, este tipo de abordagem implica naturalmente a realização de análises mais extensas, quer na sua dimensão espacial, quer na sua dimensão temporal. Obviamente que a análise de algumas situações concretas nos permitiu tirar algumas conclusões. São necessárias, porém, investigações mais profundas sobre o assunto, utilizando os mesmos métodos ou outras metodologias, assim como aplicações e experiências em áreas geográficas com diferentes escalas de análise: nacional, regional e local. Deste modo, poderemos averiguar efetivamente se os resultados são análogos, independentemente das metodologias consideradas para o efeito e se os mesmos podem ser aplicados a qualquer área.

Considerando outras perspetivas ou abordagens consideradas na literatura, seria útil a utilização de novas análises metodológicas, com recurso a métodos utilizados e/ou

produzidos internacionalmente, incorporando outras variáveis. A título exemplificativo, enumeram-se alguns índices considerados relevantes, designadamente o Índice de *Haine*s, o Índice de Risco de Incêndio Florestal proposto por Guilhermo Julio, o *National Fire Danger Rate*. Estes métodos integram variáveis diferentes das consideradas neste trabalho.

A aplicação de outras metodologias, incluindo o processamento de informação derivada de imagens de satélite e a incorporação de variáveis relacionadas com o fator humano, em modelos viáveis, no âmbito da análise da cartografia de risco, permitiria uma leitura mais integrada, juntamente com a utilização de parâmetros meteorológicos e estruturais.

Por outro lado, seria pertinente a análise das situações sinópticas e a correlação dos diferentes parâmetros meteorológicos com as áreas ardidas e as ocorrências de incêndios, assim como a relação da evolução do comportamento de vários índices de perigosidade num determinado período e a comparação dos seus valores com a área ardida e ocorrência de incêndios, recorrendo sempre à componente espacial.

Em síntese, esta análise comparativa, recorrendo a cinco métodos, permitiu-nos perceber que os resultados alcançados, quando validados com a distribuição espacial das áreas ardidas e das ocorrências de incêndios, são diferentes em função dos índices utilizados e por cada episódio. De facto, esta investigação pretendeu demonstrar que existem ainda algumas deficiências no contexto da avaliação e validação do desempenho dos métodos de perigosidade de incêndio florestal, atendendo à sua dimensão espacial. Contudo, esta pode constituir o ponto de partida de desenvolvimento de novos trabalhos relacionado com a cartografia de risco de incêndio florestal.

Referências bibliográficas

Referências bibliográficas

Estudos publicados

Aguado, I., Chuvieco, E., Martín, P., Salas, J. (2003). Assessment of forest fire danger conditions in southern Spain from NOAA images and meteorological indices. *International Journal of Remote Sensing, 24*(8), 1653-1668.

Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais. (2005). Plano Nacional de Defesa da Floresta contra os Incêndios - Estudo Técnico I - Diagnóstico, Visão e Objectivos Estratégicos (pp. 1-11).

Autoridade Florestal Nacional (2011). Relatório Provisório de Incêndios Florestais. Fases Alfa, Bravo, Charlie e Delta (pp. 1-13). Lisboa: Ministério da Agricultura, Ambiente e Ordenamento do Território.

Bachmann, A. (2001). *GIS-based Wildland Fire Risk Analysis.* Tese de Doutoramento, Universidade de Zurique, Zurique. Disponível em http://www.geo.uzh.ch/fileadmin/files/content/abteilungen/gis/research/phd_theses/thesis_AndreasBachmann_2001.pdf.

Barberà. M. J., N., R., Estrela, M. J., Valiente, J. A. (2009). *Análisis del Índice de Haines durante los Incendios de Xátiva y Simat (Valencia) y Monitorización de la Regeneración Natural mediante o uso de Imágenes Modis.* Comunicação apresentada no Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Calatayud.

Bergonse, R. V., Bidarra, João M. (2010). Probabilidade Bayesiana e Regressão Logística na avaliação da susceptibilidade de ocorrência de incêndios de grande magnitude. *Finisterra, XLV,* pp. 79-104.

Bradshaw, L. S., Deeming, J. E., Burgan, R. E. Cohen, J. D. (1983). The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation (pp. 1-44). Utah: United States Department of Agriculture - Forest Service.

Bugalho, L., Pessanha, L. (2007a). Análise dos incêndios florestais em Portugal e avaliação do ICRIF (índice combinado de risco de incêndios florestais). *Territorium*, pp. 155-163. Disponível em http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t16/analise_incendios.pdf.

Bugalho, L., Pessanha, L. (2007b). *The Forest Fire Risk Index (ICRIF) operational processing and validation.* Comunicação apresentada no Wildfire 2007, Sevilha - Espanha.

Bugalho, L., Pessanha, L. Comportamento do ICRIF (Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal) em diferentes condições meteorológicas.

Caetano, M., Carrão, H., Freire, S. (2002). Literature review on fire risk map production, PREMFIRE prevention and mitigation of forest fires in Portugal. Lisboa: Instituto Geográfico Português (IGP).

Camargo, E. C. G. Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. pp. 5-36. Disponível em www.moodle.ufba.br/file.php/8828/GEO_158/.../5geoest.pdf.

Camia, A., Bovio, G. (2000). Description of the indices implemented in EUDIC software for the European meteorological forest fire risk mapping: European Commission, Directorate General JRC - Joint Research Centre, Institute for environment and sustainability land management unit.

Carrega, P. (2010). *Le risque d'incendies de forêt en région méditerranéenne: compréhension et évolution.* France.

Carvalho, J. B. (2003). Análises de Perigo de Incêndio Florestal - Estimação da Humidade dos Combustíveis Finos para Portugal Continental. Disponível em http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T5-56.pdf.

Carvalho, P. (2005). *Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho.* Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Chuvieco, E., Salas, F., and Vega, C. (1997). Remote Sensing and G.I.S. for Long-Term Fire Risk Mapping. pp. 91-108.

Cottrell, W. H. (2004). *The Book of Fire*. USA.

Cunha, R. M. P., Hartmann, C. (2009). Parâmetros Oceanográficos do estuário da Laguna dos Patos implementados através de Geoprocessamento. *Gravel, 7*, pp. 1-11.

Daveau, S. (1977). *Répartation et Rythme des Précipitations au Portugal - Memória do Centro de Estudos Geográficos* (Vol. 3). Lisboa.

Dávila, M. (2005). *Índices Predictivos del Riesgo de Incendios para La Cuenca Alta del Río Caroní* Dissertação de Mestrado "Modelação e Simulação de Sistemas", Universidade dos Andes - Faculdade de Engenharia, Mérida – Venezuela Disponível em http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27457/1/maestria_def.pdf.

Dentoni, M. C., Muñoz, M. M. Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios (pp. 1-28): Plan Nacional de Manejo del Fuego Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Drouet, J. C., Sol, B. (1993). Mise au point d 'un in di ce numerique de risque meteorologique d 'incendies de forets. *Forêt Méditerranéenne, XIV*(2), pp. 155-162.

ESRI. (2003). Geostat Analyst.

Ferraz, S. F. B., Vettorazzi, C. A. (1998). Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). *Scentia Forestalis, 53*, pp. 39-48.

Ferreira, A. R. R. (2010). *Sistema de informação geográfica e susceptibilidade a incêndio florestal - Análise de metodologias em ambiente SIG.* Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, Universidade do Porto. Porto. Disponível em http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/55772/2/TESEMESANTONIOFERREIRA000126890.pdf.

Direcção Geral das Florestas (2002). Incêndios Florestais - 2001. - Relatório provisório (1 Janeiro a 31 de Dezembro) (D. D. d. P. e. C. Florestal, Trans.) (pp. 1-13).

Direcção Geral das Florestas (2003). Incêndios Florestais – 2002. Relatório Final (D. S. V. P. F.-D. d. P. e. C. Florestal, Trans.) (pp. 1-43).

Direcção de Unidade de Defesa da Floresta (2012). *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) - Guia Técnico*. Lisboa: Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Autoridade Florestal Nacional Disponivel em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/reg-gt-pmdfci/planeamento-municipal-dfci/guia-tecnico-elaboracao-pmdfci-2012.

Freire, S., Carrão, H., Caetano, M. R. (2002). Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares. pp. 1-15. Disponível em http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Freire2002.pdf.

Freitas, A. C. V., Franchito, Sérgio Henrique, Rao, Vadlamudi Brahmananda. (2010). Análise dos dados de precipitação provenientes de diferentes fontes, sobre a América do Sul, com ênfase no Brasil. *CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem, 5*, pp. 5-18.

García, F. J. M. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas, 13*, pp. 78-86.

Giannakopoulos, C., Lesager, P., Kostopoulou, E., Vajda, A. e Venäläinen, A. (2003). Report on an intercomparison study of modelled, Europe-wide forest fire risk for present day conditions (pp. 1-25): National Observatory of Athens, Finnish Meteorological Institute.

Gonçalves, A. J. B. (2006). *Geografia dos Incêndios em espaços silvestres de montanha – o caso da Serra da Cabreira.* Tese de Doutoramento em Geografia Física e Estudos Ambientais, Universidade do Minho, Guimarães. Disponível em https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6508/2/Tese.pdf.

Gonçalves, J. G. N. (2009). *Caracterização de estruturas tectónicas activas da região Sul de Portugal com recurso a ferramentas SIG: O caso da falha de São Marcos-Quarteira.* Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. Disponível em www.usig.pt/index.php?option=com_docman&task.

Gonçalves, M. Z., Lourenço, Luciano. (1990). *Meteorological index of forest fire risk in the portuguese mainland territory* Comunicação apresentada na Internacional Conference on Forest Fire Research, Coimbra.

Gouveia, M. M. A. L. (2005). *Perigo de incêndio florestal no concelho de Mirandela.* Mestrado em Gestão dos Riscos Naturais, Universidade do Porto - Faculdade de Letras, Porto. Disponível em http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/19434.

Hartkamp, A. D., Beurs, Kirsten De,Stein, Alfred, White, Jeffrey W. (1999). Interpolation Techniques for Climate Variables: CIMMYT Natural Resources Group.

Jakob, A. A. E., Young, A. Ferraz (2006). *O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas.* Comunicação apresentada no XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu. www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../abep2006_388.pdf.

Julio, G. (1990). Disenõ de índices de riesgo de incendios florestales para Chile. *Bosque, 2*(11), pp. 59-72. Disponível em http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v11n2/art06.pdf.

Li, J., Heap, Andrew D. (2003). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Canberra.

Lourenço, L. (1991). *Uma fórmula expedita para determinar o índice meteorológico de risco de eclosão de fogos florestais em Portugal Continental*. Comunicação apresentada nos Cadernos Cientificos sobre Incêndios Florestais, Coimbra. http://www.nicif.pt/downloads/Coleccao_II/Artigo_IV.pdf.

Lourenço, L. (1992). Avaliação do Risco de Incêndio nas matas e florestas de Portugal Continental. In N. e. FLUC (Ed.), Risco Dendrocaustológico em Mapas. In C. C. III (Series Ed.) Colecção Estudos (48 ed., pp. 123-147). Disponível em http://www.nicif.pt/Publicacoes/Colect_Cindinicas/Colec_Cindinicas_III.

Lourenço, L. (1994). Risco de incêndio florestal em Portugal Continental. *Riscos Naturais e Protecção do Ambiente*, 43-66.

Lourenço, L. (1996). *Tendência do índice de risco de incêndio florestal para o dia seguinte - um precioso auxiliar no trabalho do bombeiro*. Comunicação apresentada nas V Jornadas de Prevenção e Segurança na Floresta de Betão, Lisboa. http://www.nicif.pt/downloads/Coleccao_II/Artigo_VII.pdf.

Lourenço, L., Gonçalves, António Bento, Loureiro, João. (1997). Sistema de informação de risco de incêndio florestal. *Riscos Naturais e Protecção do Ambiente - Revista Técnica e Formativa da Escola Nacional de Bombeiros* (3/4), pp. 16-25.

Lourenço, L., Gonçalves, António Bento (1998). Índice de risco histórico-geográfico de fogo florestal - Uma proposta para Portugal Continental. ENB, Revista Técnica e Formativa da Escola Nacional de Bombeiros, 6, 177-201.

Macedo, F. W., Sardinha, A. (1987). *Fogos Florestais*. Lisboa: Publicações Ciência e Vida.

Mafalda, V. G., Torres, Fillipe Tamiozzo Pereira, Ribeiro, Guido Assunção (s. d.). *Eficiência de Índices de Perigo de Incêndios baseados em Elementos Climáticos no Municipio de Juiz de Fora - MG*. Comunicação apresentada no XIII SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/066.pdf.

Manta, M. L., Viegas, D. X. (2002). Reliability of the fire weather index from meteorological station in the central region of Portugal. *Forest fire research and wildland fire safety*.

Martín, S. D. (2008). *La Física de un Índice Predictivo de Riesgo de Incendios Forestales*. Tese de Doutoramento, Universidade de Salamanca - Faculdade de Ciências Agrárias e Ambientais, Salamanca. Disponível em http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/19335/1/DFGA_Fisica%20indice%20predictivo%20riesgo%20incendios.pdf.

Marzano, R., Bovio, G., Guglielmet, E., Jappiot, M., Lampin, C., Dauriac, F., Deshayes, M., Salas, J., Aguado, I., Martínez, J., Molina, D., Martinez, E., Carrega, P.,

Fox, D., Berolo,W., Martín, P., Gómez, I., Conese, C., Bonora, L., Karteris, M., Gitas, I., Mallinis, G., Giannakopoulos, V.. (2002). EUFIRELAB: Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a "wall-less" Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region. In EUFIRELAB (Ed.), *Common methods for mapping the wildland fire danger* (pp. 1-91).

Medeiros, C. A. (2005). *Geografia de Portugal - o Ambiente Físico* (Vol. 1). Lisboa: Círculo de Leitores.

Monteiro, A., Fernandes, A. (1996). A geostatistica - uma incursão exploratória a considerar no domínio da climatologia urbana? *Cadernos de Geografia*, pp. 61-73.

Nicolau, M. R. R. C. (2002). *Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação: uma aplicação a Portugal Continental*. Universidade Nova de Lisboa. Disponível em www.igeo.pt/teses/rita%20nicolau/Indice_Geral.pdf.

Nunes, J. R. S. (2005). *FMA + - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná - Brasil.* Tese de Doutoramento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2005/t184_0258-D.pdf.

Oliveira, C. (2006). *Susceptibilidade de Incêndio Florestal no concelho de Valongo. Implicitações no Planeamento de Áreas Periurbanas.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano (área de especialização em Planeamento), Universidade do Porto Porto

Orieux, A. (1974). Conditions météorologiques et incendies de forets en region méditerranéenne Vol. 8. (pp. 122-129). Disponível em http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/20873/RFF_1974_S_T1_122.pdf?sequence=1.

Parizotto, W. (2006). *O controle dos incêndios florestais pelo corpo de bombeiros de Santa Catarina: diagnóstico e sugestões para o seu aprimoramento.* Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2006/d469_0658-M.pdf.

Pedernera, P., Castilho, M. Vigencia del Índice de Riesgo de Incendios Forestales. pp. 1-13. Disponível em http://ftp.forestaluchile.cl/LINFOR/articulos/Vigencia%20del%20Indice%20de%20Riesgo%20de%20Incendios%20Forestales.pdf.

Ramos, C., Ventura, J. E. (1992). Um índice climático de perigo de incêndio florestal aplicado aos fogos florestais em Portugal. *Finisterra, XXVII* (53-54), pp. 79-93.

Rebelo, F. (2003). *Riscos Naturais e Acção Antrópica - Estudos e reflexões.* Coimbra.

Reis, M. (1989, Maio 1989). Nota explicativa sobre o índice de risco meteorológico de incêndios rurais, pp. 1-6.

Rothermel, R. C., Burgan, R. E., (1984). BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modelling system. Fuel subsystem: U.S. Department of Agriculture. Forest Service General. Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Sampaio, O. B. (1999). *Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP*. Tese de Doutoramento em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Sampaio, O. B., Soares, R. V., Viegas, D. X.. (1998). *Calibration and test of four fire danger methods in Agudos Region, State of Sao Paulo, Brazil*. Comunicação apresentada na III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, Luso.

Santos, C. R. (2008). A Cartografia de Risco de Incêndio Florestal do Instituto Geográfico Português. *Segurança em Protecção Civil*, pp. 29-32.

Santos, M. (2009). *Precipitações extremas na área de Arcos de Valdevez: Análise estatistica e contrastes espaciais*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, Universidade do Porto - Faculdade de Letras, Porto.

Silva, J. S., *et al.* (2007). *Proteger a floresta - Incêndios, pragas e doenças* (Vol. VIII). Lisboa: Público, Comunicação Social, S.A.; Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.

Soares, R. V. (1998). Desempenho da "Fórmula de Monte Alegre" - Índice Brasileiro de Perigo de Incêndios Florestais. *Cerne, 4*(1), pp. 87-99.

Van Wagner, C. E. (1987). Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System (pp. 1-36). Ottawa: Government of Canada, Canadian Forestry Service.

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Paris: The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Vélez, R. (2000). *La Defense Contra Incendios Forestales - Fundamentos y experiencias*. Madrid: McGraw-Hill.

Verde, J. C. (2008). *Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Mestrado em Geografia Física - Especialização em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, Universidade de Lisboa - Faculdade de Letras, Lisboa. Disponível em http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/502/1/17981_Tese_Mestrado_Geografia._Fisica_JOAOVERDE.pdf.

Viegas, D. X., Abrantes, T., Ribeiro, L. M., Santo, F. E., Viegas, M. T., Silva, J. . (2008). *Fire weather from 2003 to 2007 fire seasons in Portugal*. Trabalho apresentado na EGU, Austria.

Viegas, D. X., Reis, Raul M., Cruz, Miguel, G., Viegas, Maria T. (2004). Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. *Silva Lusitana* (12), pp. 77-94.

Viegas, D. X., Rossa Carlos, Ribeiro, Luís Mário (2011). *Incêndios Florestais*.

Viegas, X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A. & Sol, B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire, 9*, pp. 235-246.

Endereços eletrónicos

Alexandre, J. A. A. Consultado em 21 de Abril de 2011, em http://pt.scribd.com/doc/39202344/Especializacao-funcional-na-Regiao-Centro

Autoridade Florestal Nacional, Consultado em 14 de Janeiro de 2010, em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-codificacao-causas.pdf

Bugalho, L., Pessanha, L. Consultado em 17 de Janeiro de 2011, em http://www.nicif.pt/riscos/Documentos/Congressos/I_Cong_Int_Riscos_PDFs/56-Lourdes_Bugalho_Analise_incendios_florestais.pdf

IGEO. Consultado em 13 de Fevereiro de 2011, http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/crif07.htm

Instituto de Meteorologia. Consultado em 6 de Novembro de 2010, em http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/risco.incendio/indice.fwi/index.html

Autoridade Florestal Nacional,. Estatística - Dados sobre incêndios florestais, Consultado em 2 de Março de 2011, em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/estatistica-sgif

Autoridade Florestal Nacional. Informação sobre áreas ardidas e ocorrências Consultado em Junho de 2012, em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/relatorios

Pereira, J. M. C., Carreiras, J. M. de B. (2005). Carta de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal (CRCIF) Consultado em 3 de Fevereiro de 2011, em http://www.adetti.pt/events/PIMHAI05/files/JMCPereira.pdf.

Wildland Fire Assessment System. Consultado em 4 de Junho de 2012, em http://www.wfas.net/

Fontes de informação

Temperatura média diária do ar (formato shapefile). Atlas do Ambiente Digital, Disponível em http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/.

CAOP (2011) - Carta Oficial Administrativa de Portugal (formato shapefile). Instituto Geográfico Português. Disponível em http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/caop_vigor.htm.

CLC (2006) - Corine Land Cover 2006 para Portugal Continental (formato shapefile). Instituto Geográfico Português, 2011. Disponível em: http://www.igeo.pt/instituto/cegig/gdr/index.php?princ=PROJECTOS/CLC2006&sessao=m_projectos.

Cartografia nacional de áreas ardidas (2000-2009) (formato shapefile). Autoridade Florestal Nacional, 2011, Disponível em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/cartografia/info-geo.

Dados meteorológicos. Informação cedida pelo Instituto de Meteorologia.

DEM SRTM para Portugal - Imagem de relevo sombreado. Disponível em http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/shd_rel_80m.jpg.

Registos da base de dados das ocorrências de incêndios florestais, Autoridade Florestal Nacional, 2011. Disponível em http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas.

Legislação

Decreto-Lei n.º 254/2009. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. *Diário da República, 1.ª Série* - N.º 186 (24 de Setembro de 2009).

Anexos

Anexo I

Sistematização dos índices associados à gestão de risco de incêndio florestal

Quadro 1 - Os índices desenvolvidos e/ou utilizados em Portugal.

Tipo	Autor / Organismo	Índices	Variáveis	Fonte
Índices dinâmicos	Luciano Lourenço	Índice de Risco de Deflagração de Fogo Florestal (IRDIF)	Temperatura do ar, em ºC; Humidade relativa do ar, em %.	Lourenço *et al.*, 1997, p. 74.
	Luciano Lourenço	Índice de Risco Máximo de Deflagração de Fogo Florestal	Temperatura máxima diária do ar, em ºC; Humidade relativa mínima diária do ar, em %.	Lourenço *et al.*, 1997, p. 74.
	Luciano Lourenço	Índice de Risco de Progressão de Fogo Florestal (ou de propagação)	Temperatura do ar, em ºC; Humidade relativa do ar, em %; Velocidade média do vento em km/h, quando o seu rumo (D) se situa entre 350º a 360º e 0 a 180º, mais precisamente, quando 350º-D360º v 0º-D180º.	Lourenço *et al.*, 1997, p. 74.
	Luciano Lourenço	Tendência do Índice de Risco de Fogo Florestal para o Dia Seguinte	Temperatura do ar do dia em causa, em ºC; Humidade relativa do ar do dia em causa, em %; Velocidade do vento, em km/h, quando o seu rumo (D) se situa entre 350º a 360º e 0 a 180º, ou seja, quando 350º-D360º v 0º-D180º; Temperatura do ar prevista para o (s) dia(s) seguinte(s), em ºC; Humidade relativa do ar prevista para o(s) dia(s) seguinte(s), em %; Velocidade do vento, em km/h, quando o seu rumo (D) se situa entre 350º a 360º e 0 a 180º, ou seja, quando 350º-D360º v 0º-D180º; Fator de correção regional, baseado na história dendrocaustológica unidade territorial.	Lourenço *et al.* 1997, p. 81.
	INMG/ Gonçalves e Lourenço	Índice Português	Temperatura do ar ao meio dia, ºC; Ponto de orvalho ao meio-dia, %; Velocidade do vento ao meio-dia, em km/h; Precipitação nas últimas 24 horas, em mm.	Camia e Bovio, 2000, pp. 3-4.
	Catarina Ramos e José Ventura	Índice Diário de Perigo de Incêndio Florestal	Temperatura do ar; Temperatura do ponto de orvalho; Temperatura máxima diária.	Ramos e Ventura, 1992, p. 85.
	Instituto de Meteorologia	Sistema de Indexação Canadiano *Fire Weather Index* (FWI)	Temperatura do ar; Humidade relativa; Velocidade do vento; Precipitação ocorrida nas últimas 24 horas.	http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/risco.incendio/indice.fwi/index.html.
Índices Estruturais	Instituto Geográfico Português	Carta de Perigosidade/ Risco de Incêndio Florestal (2004)	Declive; Exposição do terreno; Uso e ocupação do solo; Visibilidade dos pontos de vigia; Rede hidrográfica; Densidade populacional.	Santos, 2008, p. 30. http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/crif07.htm.
	Instituto Geográfico Português	Carta de Perigosidade/ Risco de Incêndio Florestal (2007)	Declive; Exposição do terreno; Uso e ocupação do solo; Rede hidrográfica; Densidade populacional; Rede viária; Rede ferroviária; Linhas de média e alta tensão.	http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/crif07.htm.
	Cardoso Pereira e Nobre dos Santos	Carta de Risco de Incêndio	Ocupação do solo; Altimetria; Declives; Número de dias com temperaturas superiores a 25 ºC; Número de dias com a precipitação entre maio e setembro; População residente por freguesia.	Verde, 2008, p. 22.

	Cardoso Pereira e Brito Carreiras	Carta de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal (CRCIF2005)	Ocupação do solo; Declives; Número de dias com temperaturas superiores a 25 ºC; Número de dias com a precipitação entre maio e setembro; Densidade populacional; Estado da vegetação (acumulação biomassa e potencial produtivo).	http://www.adetti.pt/events/PIMHAI05/files/JMC Pereira.pdf.
	João Verde	Cartografia de Perigosidade de incêndio florestal	Histórico (cartografia anual das áreas ardidas); Declive; Ocupação do solo.	Verde, 2008, p. 58.
	Luciano Lourenço e Bento Gonçalves,	Índice de risco histórico-geográfico de fogo florestal	Área ardida (ha) na unidade territorial em análise, ao longo do intervalo de tempo (ano) considerado; Número de ocorrências de fogos florestais na unidade territorial, ao longo do período de tempo (ano) considerado; Área da unidade (ha) territorial em análise; Área média (ha) do conjunto das unidades territoriais do tipo em análise; Área média (ha) dos concelhos do Continente, unidade base de determinação do índice; Número de anos correspondentes ao intervalo de tempo considerado; Ano inicial, dos anos correspondentes ao intervalo de tempo considerado.	Lourenço e Gonçalves, 1998, p. 177-201.
Índices Integrados	Freire *et al.*	Índice Avançado ou Integrado de Cartografia Diária de Risco	Mapa de combustíveis (temperatura, humidade relativa, precipitação e estado de tempo (nebulosidade e ocorrência de precipitação)); Mapa de rácio de vegetação viva; Mapa de verdura relativa da vegetação; Mapa de humidade de combustíveis mortos; Ocupação do solo; Elevação; Declive; Exposição; Distância às estradas; Áreas urbanas.	Freire *et al.*, 2002, pp. 1-7.
	Instituto de Meteorologia	Índice Combinado de Risco de Incêndio Florestal (ICRIF)	Índice meteorológico FWI; Mapa de risco estrutural, baseado na base de dados de ocupação do solo CORINE 2000; Índice de vegetação NDVI.	Bugalho e Pessanha, 2007, p. 156.

Quadro 2 - Os índices desenvolvidos e/ou utilizados em vários países.

Tipo	Autor / Organismo	País	Índices	Variáveis	Fonte
Índices Dinâmicos	Angstrom	Suécia	Índice de *Angstrom*	Humidade relativa do ar em %; Temperatura do ar em °C.	Nunes, 2005, p. 28.
	Telicyn	Rússia	Índice Logarítmico de *Telicyn*	Temperatura do ar em °C num dado dia i; Temperatura do ponto de orvalho em °C num dado dia i; Logaritmo na base 10; Número de dias sem chuva.	Nunes, 2005, p. 29.
	Nesterov	Rússia	Índice de Nesterov	Déficit de saturação do ar em milibares; Temperatura do ar, em °C; Número de dias sem chuva menor que 10,0 mm; Pressão máxima de vapor de água em milibares; Humidade relativa do ar, em %.	Nunes, 2005, p. 30.
	Ronaldo Soares	Brasil	Fórmula de Monte Alegre (FMA)	Humidade relativa do ar (%); Número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm.	Soares, 1998, p. 89.
	José Nunes	Brasil	Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA^{+})	Humidade relativa do ar (%) em um dado dia i; Número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm; Velocidade do vento em m/s; Base dos logaritmos naturais (2,718282).	Nunes, 2005, p. 48.
	Sampaio	Brasil	P-EVAP	Precipitação; Evaporação.	Mafalda *et al.*, p. 5.
	Sampaio	Brasil	EVAP/P	Precipitação; Evaporação.	Mafalda *et al.*, p. 5.
	Italian State Forestry Corps	Itália	*Italian Fire Danger Index* (IFDI)	Temperatura máxima diária (°C); Número de dias desde a última precipitação; Temperatura do ar (°C); Precipitação das últimas 24 horas (mm); Humidade relativa do ar (%); Velocidade do vento (km/h).	Camia, 2000, pp. 13-14.
	Van Wagner *et. al*.	Canadá	*Fire Weather Index* (FWI)	Temperatura do ar ao meio-dia, °C; Humidade relativa ao meio-dia, %; Velocidade do vento, km/h; Quantidade de precipitação ocorrida nas últimas 24 horas, mm.	Viegas *et al.*, 2004, pp. 80-81.
	Donaldl A. Haines	EUA	Índice de Haines (LASI)	Temperatura; Temperatura de rácio ao nível de pressão.	Barberà. M. J., 2009, p. 293.
	Rothermel *et al*.	EUA	*Behave Dead Fine Fuel Moisture Content* (BEHAVE)	Temperatura do ar ao meio-dia, °C; Humidade relativa ao meio-dia, %; Velocidade do vento, km/h; Quantidade de precipitação ocorrida nas últimas 24 horas, mm.	Camia, 2000, pp. 28-29.
	Mac Arthur	Austrália	*Forest Fire Danger Meter* (FFDM)	Temperatura máxima; Precipitação; Humidade relativa; Velocidade do vento; Estabilidade atmosférica; Duração do período de seca; Quantidade de combustível.	Martín, 2008, p. 23.
	G. Bovio	Itália	IREPI *Index*	Temperatura do ar (°C); Humidade Relativa (%); Velocidade do vento, (km/h);	Marzano *et al*., 2002, p. 32.

				Precipitação nas últimas 24 h (mm); Radiação solar direta (W/m^2).	
	Rodríguez e Moretti	Itália	Índice de Rodríguez e Moretti	Temperatura; Humidade relativa; Vento; Dias consecutivos sem chuva.	Nunes, 2005, p. 31.
	Sol e Drouet	França	*Drouet-Sol Numerical Risk*	Velocidade do vento (km/h); Temperatura do ar, (°C); Ponto de orvalho ao meio-dia; Cobertura de nuvens; Reserva de água no solo; Evapotranspiração potencial diária (Thornthwaite): Temperatura média mensal, (°C); Temperatura máxima diária, (°C); Temperatura mínima diária, (°C); Latitude; Precipitação (mm).	Camia, 2000, pp. 11-12.
	Carrega	França	187	Reserva diária da água no solo, em mm, de acordo com Thornthwaite (Capacidade de armazenamento de 150 mm); Menor teor de humidade relativa do ar, em %; Velocidade do vento em graus Beaufort; Coeficiente da vegetação na classe de 0,8 a 1.	Marzano *et al.*, 2002, p. 25.
	Orieux	França	*Orieux Index*	Capacidade de armazenamento de 150 mm de água no solo (de acordo com Thornthwaite); Velocidade do vento.	Marzano *et al.*, 2002, p. 25.
	Serviço Meteorológico Nacional	França	*Numerical Index*	Número positivo, alto quando o risco de ocorrência do fogo é reduzido e um número negativo alto quando o risco é grande; Humidade calculada sobre o solo; Velocidade do vento; Número de dias desde a última precipitação; Quantidade da última precipitação; A, b, c, d, e: coeficientes empiricamente determinados.	Marzano *et al.*, 2002, p. 25.
	-	Chile	Índice de Risco	Temperatura do ar em °C; Humidade relativa do ar em %; Velocidade de vento em nós; Fator estacional que varia de 1 a 3; Fator de secagem que varia de 0,5 a 70.	Vélez, 2000.
Índices Estruturais	Chuvieco e Congalton	Espanha	Índice de suscetibilidade	Vegetação; Altimetria; Declive; Exposição; Proximidade à rede viária e ferroviária.	Chuvieco e Congalton, 1989.
	Ferraz e Vettorazzi	Brasil	Índice de suscetibilidade	Exposição; Declive; Estradas; Ocupação do solo; Vizinhança.	Ferraz *et al.*, C. Alberto (1988).

Índices Integrados	Guillermo Julio	Chile	Índice de Risco de Incêndio Florestal	Precipitação média no outono (mm); Precipitação média na primavera (mm); Precipitação média no verão (mm); Temperatura média em janeiro (°C);Temperatura máxima média em janeiro (°C); Nebulosidade média anual (%); Número de meses secos no ano; Humidade relativa média em janeiro (%); Densidade de incêndios florestais (incêndios/ano/10 000 ha); Densidade populacional (habitantes/km^2); Distribuição geral da vegetação; Distribuição geral da topografia.	Julio, 1990, p. 140.
	Deeming *et al.*	EUA	*National Fire Danger Rate* (NFDR)	Temperatura; Nebulosidade; Humidade relativa; Precipitação; Velocidade do vento; Humidade de combustível; Tipo de combustível; Declive; Risco natural; Risco humano.	Vélez, 2000.
	Instituto Nacional Espanhol para a Conservação da Natureza	Espanha	*Icona Method*	Temperatura do ar, (°C); Humidade relativa do ar, (%); Velocidade do vento (km/h); Direção de vento; Tempo (horas em que o índice é calculado); Ocupação da vegetação ou por nuvens (duas classes:> 50% ou <50%); Declive (duas classes: > 30% ou < 30%); Exposição (quatro classes: N, E, S, W).	Camia, 2000, pp. 5-10.
	Fire Behavior unit at the Fire Sciences Laboratory	EUA	*Fire Potential Index* (FPI)	Mapa de combustíveis; Mapa de rácio da vegetação viva; Mapa de verdura relativa de vegetação; Mapa de humidade combustíveis mortos no intervalo de 10 horas.	Freire *et al.*, 2002, p. 5. http://www.wfas.net/

Anexo II

Figuras

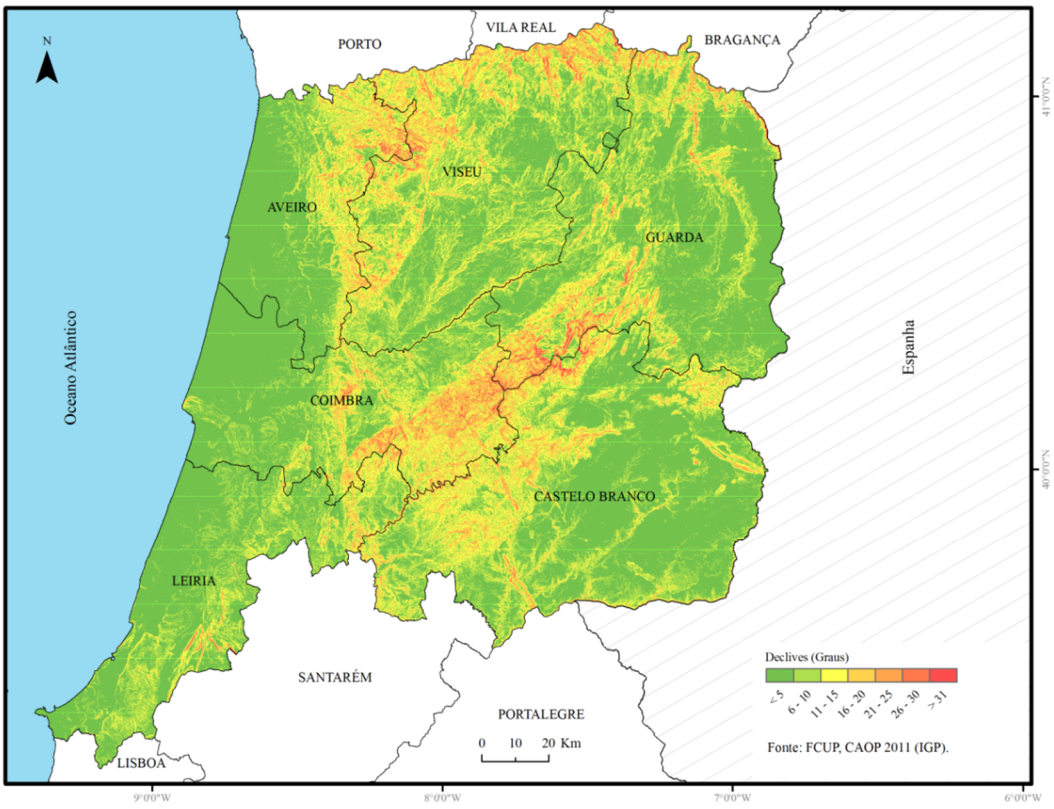

Figura 1 - Declives na área de estudo.

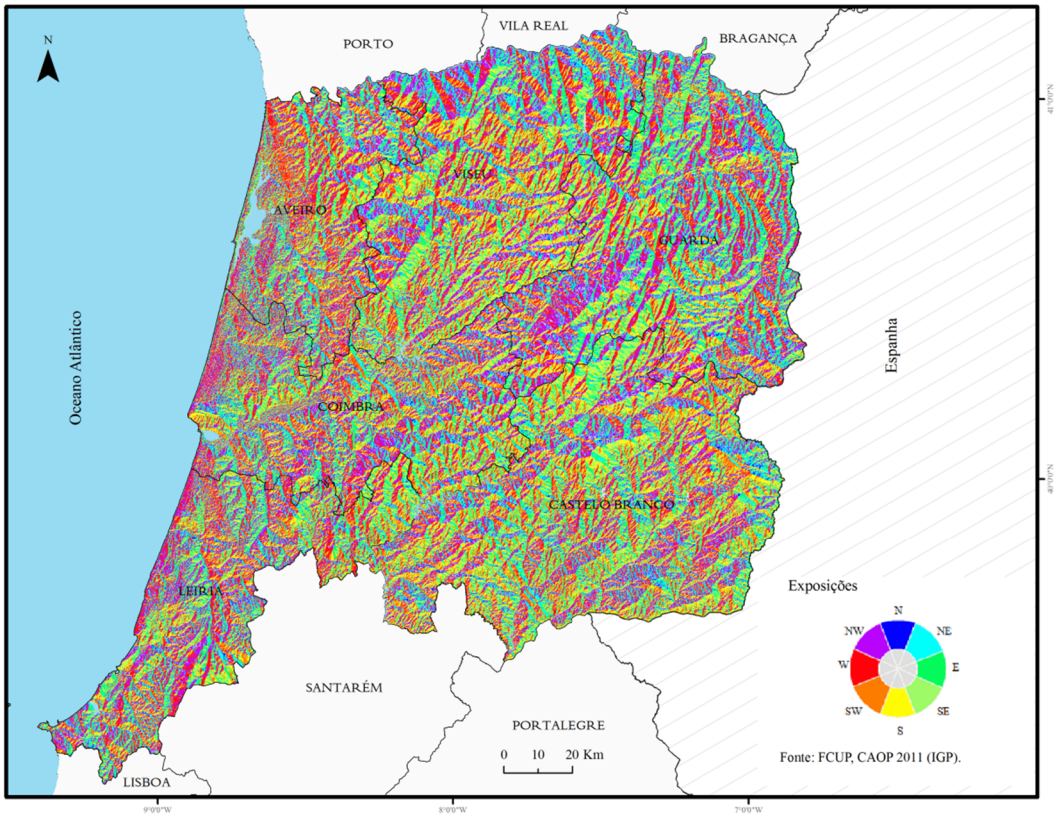

Figura 2 - Exposição na área de estudo.

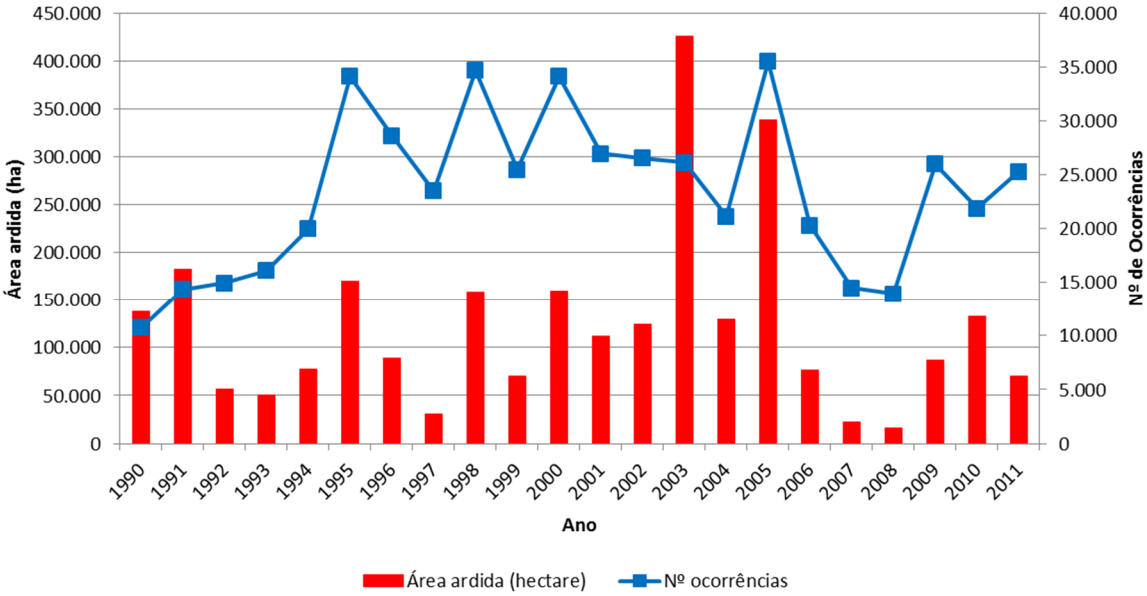

Figura 3 - Distribuição da área ardida e do n.º de ocorrências em Portugal, entre 1990-2011.

Anexo III

Quadros

Quadro 1 - Intervalos de classes identificadas para os índices de perigosidade utilizados.

Índices	**Classe de intervalo**	**Classe de Perigosidade**
FWI	<6,5	Reduzida
	6,6 – 23,5	Moderada
	23,6 – 31,5	Elevada
	31,6 – 43,5	Muito Elevada
	>43,6	Máxima
IRDIF (Lourenço, 1997)	<0,49	Reduzida
	0,50 – 0,99	Moderada
	1,00 – 1,49	Elevada
	1,50 – 1,99	Muito Elevada
	>2,00	Máxima
IP (Reis, 1989).	< 1	Reduzida
	2 – 4	Moderada
	5 – 8	Elevada
	9 – 13	Muito Elevada
	>14	Máxima
IFDI (Camia e Bovio, 2000).	<1,8	Reduzida
	1,8 – 2,5	Moderada
	2,5 – 3,8	Elevada
	3,8 – 6,8	Muito Elevada
	>6,8	Máxima
ICRIF (Bugalho e Pesanha, 2007***).***	0 – 5	Nula
	5 – 15	Reduzida
	15 – 25	Moderada
	25 – 35	Elevada
	35 – 45	Muito Elevada
	>45	Máxima

Quadro 2 - Correção do fator R, em função da precipitação.

R	Precipitação (mm)
1	$0 < P \leq 1$
0,8	$1 < P \leq 2$
0,6	$2 < P \leq 3$
0,4	$3 < P \leq 4$
0,2	$4 < P \leq 10$
0,1	$10 < P$

Fonte: Reis (1989).

Quadro 3 - Índice do dia.

Índice de dia	Classe dia
0-150	1
150-300	2
300-450	3
450-600	4
600-750	5
750-900	6

Fonte: Reis (1989).

Quadro 4 - Índice do dia acumulado.

Índice Acumulado	**Classe**
0-300	1
300-1000	2
1000-2000	3
2000-4000	4
4000-6000	5
6000-8000	6
8000-10000	7
10000-12000	8
12000-15000	9
15000-18000	10
18000-21000	11
21000-24000	12
24000-27000	13
27000-31000	14
31000-35000	15
35000-39000	16
39000-43000	17
43000-47000	18
47000-51000	19
>51000-	20

Fonte: Reis (1989).

Quadro 5 - Correção do fator *Ifa*, em função da velocidade do vento.

Velocidade do vento (km/h)	**Correção para o *Ifa***
$V \leq 10$	-
$10 < V \leq 15$	+1
$15 < V \leq 20$	+2
$20 < V \leq 30$	+3
$30 < V \leq 40$	+4
$40 < V$	+5

Fonte: Reis (1989).

Quadro 6 - Valores de AS

Temperatura máxima (ºC)	Déficit de água reduzida (IR)															
	0 to 12	13 to 25	26 to 38	39 to 51	52 to 64	65 to 77	78 to 90	91 to103	104 to 116	117 to 129	130 to 142	143 to 150	151 to 163	164 to 175	176 to 188	189 to 200
42	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	3	2	1	1	0	0
40 – 41	6	6	6	5	5	5	4	4	3	3	2	2	1	0	0	0
38 – 39	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	0	0	0
36 - 37	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0
34 - 35	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	0	0	0
32 - 33	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0
31	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0
30	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
29	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
27 - 28	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
26 - 25	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
23 - 24	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21 - 22	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 - 20	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Camia e Bovio (2000).

Quadro 7 - Índice de seca (Ar) com IS = 0-50

Número de dias desde a última precipitação	Quantidade de precipitação (mm)															
	0	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
0	6	6	5	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0
1	6	6	5	5	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
2	6	6	6	6	5	5	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1
3	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2
4	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	3	3	3	2
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	3	3	2
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	3	3
7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	4	4	3	3
8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	3
9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	3
10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	3
12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4
15	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	4
20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5

Fonte: Camia e Bovio (2000).

Quadro 8 - Índice de seca (Ar) com IS = 51-100

Número de dias desde a última precipitação	Quantidade de precipitação (mm)															
	0	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
0	7	7	7	6	5	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0
1	7	7	7	7	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1	0	0
2	7	7	7	7	7	7	6	5	5	4	4	3	2	2	1	1
3	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	4	4	3	2	2
4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	5	4	3	3
5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	5	4	3
6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	4	4
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	4
8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	4
9	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	5
10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5
12	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6
15	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6
20	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Fonte: Camia e Bovio (2000).

Quadro 9 - Índice de seca (Ar) with IS = 101–125

Número de dias desde a última precipitação	Quantidade de precipitação (mm)															
	0	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
0	9	9	9	8	7	6	5	4	4	3	2	1	0	0	0	0
1	9	9	9	9	8	7	6	5	5	4	3	2	1	1	0	0
2	9	9	9	9	9	9	8	7	7	6	5	4	3	3	2	1
3	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	5	5	4	3
4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7	6	5	4
5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	6	6	5
6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	5
7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7	6
8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7
10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7
12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8
15	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8
20	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Fonte: Camia e Bovio (2000).

Quadro 10 - Índice de seca (Ar) with IS = 126-200

Número de dias desde a última precipitação	Quantidade de precipitação (mm)															
	0	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
0	10	10	10	9	8	7	6	5	5	4	3	1	1	0	0	0
1	10	10	10	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	1	1	0
2	10	10	10	10	10	10	10	9	8	8	7	5	4	4	3	1
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	7	6	5	4
4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	7	6	5
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	7	6
6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	7
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	7
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Fonte: Camia e Bovio (2000).

Anexo IV

Quadro de avaliação do desempenho dos índices de perigosidade, por cada episódio

Quadro 1 - Valores em percentagem segundo a distribuição da área ardida e das ocorrências de incêndios pelas diferentes classes de perigosidade.

Episódios	Índices	Reduzida		Moderada		Elevada		Muito elevada		Máxima		Soma das percentagens das classes reduzida, moderada e elevada		Soma das percentagens das classes muito elevada e máxima		Total	
		Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências
6 março 2002	FWI	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
	IFDI	-	67	-	33	-	0	-	0	-	-	-	100	-	0	-	100
	IRDIF	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
	IP	-	-	-	33	-	67	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
	ICRIF	-	100	-	0	-	0	-	0	-	-	-	100	-	0	-	100
2 julho 2003	FWI	-	0	-	67	-	17	-	17	-	-	-	84	-	17	-	101
	IFDI	-	83	-	17	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
	IRDIF	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
	IP	-	33	-	33	-	0	-	33	-	-	-	66	-	33	-	99
	ICRIF	-	100	-	0	-	0	-	0	-	-	-	100	-	0	-	100
2 agosto 2003	FWI	-	-	-	-	0	1	2	49	98	49	0	1	100	98	100	99
	IFDI	-	-	-	-	-	-	2	45	98	55	-	-	100	100	-	100
	IRDIF	-	-	2	64	96	32	1	3	0	1	98	96	1	4	99	100
	IP	-	-	0	17	0	8	5	37	95	38	0	25	100	75	100	100
	ICRIF	3	52	5	25	8	13	23	8	60	2	16	90	83	10	99	100
27 julho 2004	FWI	-	0	-	0	0	31	3	38	97	31	0	31	100	69	100	100
	IFDI	0	35	0	2	0	12	49	31	51	20	0	49	100	51	100	100
	IRDIF	0	32	12	37	49	27	0	0	39	3	61	96	39	3	100	99
	IP	-	-	-	-	0	26	0	32	100	41	0	26	100	73	100	99
	ICRIF	47	58	29	21	17	12	2	7	5	2	93	91	7	9	100	100
20 agosto 2005	FWI	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	-	-	100	100	-	100
	IFDI	-	-	0	10	2	17	53	60	45	13	2	27	98	73	100	100
	IRDIF	-	-	99	95	1	5	-	-	-	-	100	100	-	-	100	-
	IP	-	-	-	-	-	-	48	86	52	14	-	-	100	100	-	100
	ICRIF	20	55	25	22	23	12	16	9	16	2	68	89	32	11	100	100
21 agosto 2005	FWI	-	-	-	-	0	2	12	26	88	73	0	2	100	99	100	101
	IFDI	-	-	-	-	0	12	61	44	39	44	0	12	100	88	100	100
	IRDIF	-	-	2	29	98	71	-	-	-	-	100	100	-	-	100	-
	IP	-	-	-	-	-	-	63	79	37	21	-	-	100	100	-	100
	ICRIF	14	53	18	24	14	14	20	6	35	2	46	91	55	8	101	99
2 outubro 2005	FWI	-	-	-	-	7	27	87	69	6	5	7	27	93	74	100	101
	IFDI	-	-	-	-	16	21	12	50	71	29	16	21	83	79	100	100
	IRDIF	16	43	84	57	-	-	-	-	-	-	100	100	-	-	100	-
	IP	-	-	27	65	73	29	0	1	0	4	100	94	0	5	100	99
	ICRIF	55	60	1	21	15	12	11	4	19	3	71	93	30	7	101	100

-	Classe não representada

Quadro 2 – Avaliação geral dos índices de perigosidade de incêndio florestal de acordo com o seu desempenho nos diferentes episódios.

Episódios	Índices	Reduzida		Moderada		Elevada		Muito elevada		Máxima	
		Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências	Área ardida	Nº ocorrências
6 março 2002	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
2 julho 2003	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
2 agosto 2003	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
27 julho 2004	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
20 agosto 2005	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
21 agosto 2005	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										
2 outubro 2005	FWI										
	IFDI										
	IRDIF										
	IP										
	ICRIF										

Percentagem	Desempenho	Cores
1 - 19	Mau	
20 - 49	Insuficiente	
50 - 69	Suficiente	
70 - 89	Bom	
90 -100	Muito Bom	
-	Classe não representada	
	Não houve registos	