



CoLAB
forestwise®

LABORATÓRIO COLABORATIVO

PARA A GESTÃO INTEGRADA DA FLORESTA E DO FOGO

RE | SGIFR



Incêndios rurais com causa 211

histórico, avaliação, estratégias de mitigação
e propostas de alteração



AGÊNCIA NACIONAL
DE INOVAÇÃO



MISSÃO
INTERFACE



PRR
Plano de Recuperação
e Resiliência



REPÚBLICA
PORTUGUESA



Financiado pela
União Europeia
NextGenerationEU

FICHA TÉCNICA

Título

RE|SGIFR - Incêndios rurais com causa 211: histórico, avaliação, estratégias de mitigação e propostas de alteração

Projeto ForestWISE nº.

P12200231

Clientes

E-REDES, Redes Energéticas Nacionais (REN), Agência para a Gestão Integrada dos Fogos Rurais (AGIF), Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), Guarda Nacional Republicana (GNR), Polícia Judiciária (PJ) e Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC)

Direção de Projeto

Ana Sá (CoLAB ForestWISE®)

Gestão de Projeto

Rui Pinto (CoLAB ForestWISE®)

Equipa Técnica (Autoria)

Rui Pinto

Ana Sá

Bruno Aparício

Madalena Ferreira

Paulo Fernandes (Coordenação científica)

Citação recomendada

Pinto R., Sá A.C.L., Aparício B., Ferreira M. e Fernandes P. (2024). RE|SGIFR - Incêndios rurais com causa 211: histórico, avaliação, estratégias de mitigação e propostas de alteração (2021-2022). CoLAB ForestWISE® (Coord.), Vila Real, 139 pp.

Um trabalho financiado por:



Parceiros:



setembro 2024



AGÊNCIA NACIONAL
DE INOVAÇÃO



MISSÃO
INTERFACE



PRR
Plano de Recuperação
e Resiliência



REPÚBLICA
PORTUGUESA



Financiado pela
União Europeia
NextGenerationEU



Siglas e Acrónimos

AArd	Área Ardida
aBP	Probabilidade anual de arder
AGIF	Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais
ANEPC	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
AT	Alta tensão
BP	Probabilidade de arder
BT	Baixa tensão
CFL	Comprimento de chama condicionado
CIM	Comunidade Intermunicipal
CNGF	Corpo Nacional de Guardas Florestais
CoLAB ForestWISE	Laboratório Colaborativo para Gestão Integrada da Floresta e do Fogo
COS	Carta de Ocupação de Solo
CTI	Comissão Técnica Independente
E-Redes	Rede de Distribuição de Energia Elétrica
EUA	Estados Unidos da América
FGC	Faixas de Gestão de Combustível
FWI	Índice de Perigo Meteorológico de Incêndio
GNR	Guarda Nacional Republicana
ha	Hectare
HEAF	High Energy Arcing Fault
HIF	Falhas de alta impedância
IA	Inteligência Artificial
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IR	Incêndio Rural
km ²	Quilómetro quadrado

LE	Linhas elétricas
MAT	Muito Alta tensão
MT	Média tensão
MTT	Minimum Travel Time
NUT	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PJ	Polícia Judiciária
REFCLs	Rapid Earth Fault Current Limiters
REN	Redes Energéticas Nacionais
SAF	Superfícies agroflorestais
SEPNA	Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente da GNR
SGIF	Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais
SGIFR	Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIRESP	Sistema Integrado de Rede de Emergência e Segurança de Portugal
TPI	Tempo da Primeira Intervenção
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
UTC	Tempo Universal Coordenado
WMPS	Planos de Mitigação de Incêndios
WP	Work Package

Índice Geral

Sumário Executivo	14
Enquadramento	21
Objetivos e Metodologia	24
Parte 1: Contexto internacional dos incêndios com causa 211	28
1.1 Enquadramento	29
1.2 Abordagem metodológica	29
1.3 Resultados	29
1.3.1 Boas práticas nacionais	36
1.4 Conclusões	38
Parte 2: Evolução dos incêndios com causa 211 em Portugal	40
1.5 Incêndios rurais e área ardida	41
1.5.1 Evolução no tempo (2001-2022)	41
1.5.2 Distribuição no território	44
1.5.3 Distribuição por fonte de alerta	45
1.5.4 Distribuição por classe FWI	46
1.5.5 Incêndios por classe de área ardida	46
1.5.6 Relação das ocorrências e da área ardida com outras variáveis	47
1.6 Incêndios rurais por nível de tensão da rede elétrica	50
1.6.1 Análise de incerteza	51
1.6.2 Evolução no tempo (2001-2022)	53
1.6.3 Distribuição no território	55
1.6.4 Distribuição por classe FWI	58
1.6.5 Relação das ocorrências e da área ardida com outras variáveis	58
1.6.6 As ocorrências classificadas “Nenhuma”	61
1.7 Conclusões	63
Parte 3: Avaliação do perigo e exposição aos incêndios das linhas elétricas	66
3.1 Enquadramento	67
3.2 Metodologia	68
3.2.1 Simulações de propagação e comportamento do fogo	68
3.2.2 Dados de simulação	69

3.2.3	Descritores do fogo	70
3.2.4	Exposição das linhas ao fogo	72
3.3	Seleção das áreas piloto	72
3.3.1	Base de dados geográfica	72
3.3.2	Análise exploratória.....	73
3.3.3	Análise de <i>clusters</i>	80
3.3.4	Áreas de estudo piloto	82
3.4	Perigo de incêndio	83
3.4.1	Regimes do fogo	83
3.4.2	Descritores do fogo	89
3.5	Exposição das linhas elétricas aos incêndios.....	92
3.6	Conclusões.....	98
Parte 4: Propostas de atuação e estratégias de mitigação		101
Conclusões e considerações finais.....		110
Referências bibliográficas		113
Anexos.....		116

Índice de Tabelas

Tabela 1: Práticas de gestão da vegetação utilizadas internacionalmente..... 33

Tabela 2: Número anual (2001-2022) de IRs, AAT, área ardida média por incêndio e distribuição absoluta e percentual das ocorrências por classe de área ardida. 43

Tabela 3: Média de IRs e AArd entre 2001 e 2022 por distrito e respetiva ordenação 44

Tabela 4: Média de IRs e AArd entre 2001 e 2022 por CIM e respetiva ordenação 44

Tabela 5: Distribuição de IRs e AArd por nível de tensão das linhas elétricas 51

Tabela 5a: Resultados estatísticos para os dois períodos em análise..... 53

Tabela 6: Evolução dos IRs e AArd por nível de tensão das linhas elétricas 54

Tabela 7: IRs por nível de tensão das linhas elétricas e por classe de AArd 54

Tabela 8: Distribuição de IRs e AArd por nível de tensão das linhas elétricas (distrito) 56

Tabela 9: Distribuição de IRs e AArd por nível de tensão das linhas elétricas (CIM) 56

Tabela 10: Classes de comprimento de chama (FL) e sua relação com a intensidade de um incêndio (FLI), traduzidas para classes de dificuldade de supressão. Adaptado do estudo de Alexander e Cruz (2019)..... 71

Tabela 11: Matriz combinada das classes de probabilidade anual de arder (aBP) e de comprimento condicional da chama (CFL), cujas estimativas foram obtidas por simulação de propagação e comportamento do fogo. O mapa resultante representa o perigo de incêndio (Problnt), com base na elevada probabilidade (ou baixa probabilidade) de ocorrência de um incêndio numa dada classe de intensidade..... 71

Tabela 12: Estatísticas descritivas da probabilidade anual de arder e altura de chama, por tipologia de linha existente nas áreas de estudo de Tomar e Monchique. 94

Tabela 13: Média das probabilidades anuais para a área ardida que é importada para os corredores das linhas (ignições fora destes) e exportada para fora dos corredores (ignições dentro dos corredores das linhas). 95

Índice de Figuras

Figura 1 – Diferenças entre a Rede de Transporte (REN) e a Rede de Distribuição (E-REDES) de eletricidade em termos de área de intervenção na faixa de proteção e na altura mínima dos cabos ao solo.....	23
Figura 2: Modelo proposto por Muhs et al. (2021) para ignições de incêndios florestais produzidos por arco voltaico.	30
Figura 3: Levantamento dos estudos realizados sobre as técnicas de inspeção às linhas não convencionais.....	34
Figura 4: Criação de bordaduras florestais, alterando a composição da vegetação (da área de U para V) nos corredores das linhas elétricas. (Jadoul, G. (coord.) et al., 2018)	34
Figura 5: As três linhas de defesa para a gestão do risco de incêndio rural nas infraestruturas elétricas (Arab et al., 2021)	38
Figura 6: Diagrama temporal das principais metodologias WMPs.	38
Figura 7: Evolução anual da percentagem dos IRs 211 comparativamente à percentagem de IRs investigados.	41
Figura 8: Evolução anual do rácio entre os IRs 211 e os restantes IRs investigados.....	42
Figura 9: Evolução anual das percentagens de IRs com causa 211 e da AArd. comparativamente aos IRs investigados e à área ardida dessas ocorrências.....	42
Figura 10: Evolução anual da percentagem de incêndios com causa 211 por classe de área ardida.....	43
Figura 11: Distribuição espacial (CIM) das ignições e da área ardida das ocorrências classificadas com causa 211	45
Figura 12: Percentagem de IRs com causa 211 por fonte de alerta	45
Figura 13: IRs e AArd por classe FWI	46
Figura 14: Percentagem de IRs por classe de AArd e por distrito.....	47
Figura 15: Percentagem de IRs por classe de AArd. e por CIM.	47
Figura 16: IRs e AArd por classe de temperatura (esquerda) e por classe de humidade relativa (direita)	48
Figura 17: IRs e AArd por classe de intensidade do vento (esquerda) e por classe de altitude média (direita).....	48
Figura 18: IRs e AArd por classe de declive médio (esquerda) e por classe de ocupação de solo (direita).....	49
Figura 18a: Distribuição mensal (esquerda) e horária (direita) dos IRs com causa 211	49
Figura 18b: Distribuição IRs 211 pelos diferentes quadrantes de exposições	49
Figura 18c: Distribuição anual da distância das ignições com causa 211 às FGC das linhas elétricas. Nos <i>boxplots</i> não estão representados os <i>outliers</i> . O ano de 2014 separa os dois intervalos de tempo. A linha que une os <i>boxplots</i> representa a média anual que apresenta uma tendência decrescente.	52
Figura 19: Evolução anual dos IRs por nível de tensão da linha elétrica.....	53
Figura 20: Distribuição anual do IRs e da AArd por ocorrências com causa atribuída às linhas elétricas dentro dos buffers.	55
Figura 21: Distribuição anual dos IRs e da AArd por ocorrências com causa atribuída às linhas elétricas fora dos buffers.	55
Figura 22: Distribuição espacial (distrito e CIM) dos IRs por nível de tensão da linha elétrica	57
Figura 23: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe FWI	58
Figura 24: Distribuição da AArd por nível de tensão da linha elétrica e por classe FWI.....	58
Figura 25: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de temperatura.	59
Figura 26: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de humidade relativa.	59
Figura 27: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de intensidade do vento.....	59
Figura 28: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de altitude média.	60
Figura 29: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de declive médio.	60
Figura 30: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de ocupação do solo.....	61
Figura 31: Exemplo de uma ocorrência (círculo amarelo) cuja localização se encontra fora do buffer.....	62
Figura 32: Exemplo de ocorrência fora do buffer e perto do edificado.....	62
Figura 33: Exemplo de localização de ocorrência 211 fora do buffer, com coordenadas incorretas, perto do edificado e da rede de distribuição de energia elétrica em BT	63
Figura 34: Organização das tarefas e análises desenvolvidas com o objetivo de caracterizar o perigo de incêndio e avaliar a exposição aos incêndios das linhas elétricas.	67

Figura 35: Organigrama das diferentes etapas que compõem as simulações de propagação e comportamento do fogo, com identificação dos dados de entrada necessários, calibração do sistema, principais descritores do fogo a estimar bem como as possíveis análises de perigo, exposição e risco de incêndio.....	69
Figura 36: Estrutura dos diferentes sub-índices que compõem o sistema Canadano de classificação de severidade meteorológica Fire Weather Index (FWI). T = temperatura do ar; H = humidade relativa do ar; R = Precipitação; W = velocidade do vento.	73
Figura 37: Árvores de classificação obtidas para caracterizar as relações entre as ignições segundo a sua causa (1 = causa 211; 0 = outras causas) com: as variáveis meteorológicas (a); variáveis geográficas (b); e conjunto das variáveis meteorológicas e geográficas (c).....	77
Figura 38: Estimativas dos coeficientes das variáveis preditoras do modelo de regressão logística, que estima a probabilidade de ignição associada às linhas elétricas (causa 211) (a). Boxplots das variáveis preditoras, mostrando através dos valores standardizados, as distribuições de acordo com a causa associada à ignição (b).78	78
Figura 39: Mapa da probabilidade de ignição associada à causa 211 obtida a partir do modelo de regressão logística. Encontram-se sobrepostos os polígonos correspondentes aos 20% mais elevados da densidade de ignições associada à mesma causa.	79
Figura 40: Distribuição das variáveis usadas na classificação dos três clusters considerados.	80
Figura 41: Distribuição espacial das ignições com causa 211 de acordo com a classificação multivariada em <i>clusters</i> ..	81
Figura 42: Áreas de estudo piloto selecionadas para a caracterização do regime do fogo, avaliação do perigo de incêndios e exposição das linhas elétricas aos incêndios, de acordo com a classificação de clusters obtida. Para além dos <i>clusters</i> , encontram-se sobrepostas grandes classes de ocupação do solo (COS2018) e as diferentes tipologias das linhas elétricas.	82
Figura 43: Caracterização do histórico de incêndios na área de estudo de Monchique. Mapas do número de vezes queimado (a); do número de anos desde o último incêndio (b) usando como referência o atlas nacional de áreas queimadas referente ao período entre 1975 e 2023 (ICNF); e da densidade de ignições (c) de acordo com o histórico entre 2001 e 2023.....	84
Figura 44: Caracterização do histórico de incêndios de acordo com os perímetros de áreas queimadas (2001 a 2023). Distribuição dos incêndios por classe de área ardida (a); distribuição anual de área ardida (b); contribuição de cada classe de tamanho de incêndio para o total da área queimada (c); frequência da distribuição das direções do vento, por classe de área queimada (d); meteorologia associada aos dias de propagação de alguns incêndios históricos (e); e distribuição das percentagens de direção do vento em cada <i>cluster</i> (f).....	85
Figura 45: Caracterização do histórico de incêndios na área de estudo de Monchique. Mapas do número de vezes queimado (a); do número de anos desde o último incêndio (b) usando como referência o atlas nacional de áreas queimadas referente ao período entre 1975 e 2023 (ICNF); e da densidade de ignições (c) de acordo com o histórico entre 2001 e 2023.....	87
Figura 46: Caracterização do histórico de incêndios de acordo com os perímetros de áreas queimadas entre 2001 e 2023. Distribuição dos incêndios por classe de área ardida (a); distribuição anual de área ardida (b); contribuição de cada classe de área de incêndio para o total da área queimada (c); frequência da distribuição das direções do vento, por classe de área queimada (d); meteorologia associada aos dias de propagação de alguns incêndios históricos (e); e distribuição das percentagens de direção do vento em cada <i>cluster</i> (f).....	88
Figura 47: Estimativa dos descritores do fogo obtidos por simulação, para a área de estudo de Tomar: probabilidade anual de arder (a) e altura de chama (b). O valor de referência (histórico) de área média ardida anualmente é de 0,047 (4,7%) valor incluído na terceira classe (moderada). Relativamente à altura de chama, o valor de referência é de 2,5 m, valor a partir do qual os incêndios podem apresentar uma maior dificuldade de supressão devido à sua intensidade. As classes (com uma paleta de verde a vermelho/castanho) correspondem a: muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada.	89
Figura 48: Estimativa dos descritores do fogo obtidos por simulação, para a área de estudo de Monchique: probabilidade anual de arder (a) e altura de chama (b). O valor de referência (histórico) de área média ardida anualmente é de 0,042 (4,2%) valor incluído na terceira classe (moderada). Relativamente à altura de chama, o valor de referência é de 2,5 m, valor a partir do qual os incêndios podem apresentar uma maior dificuldade de supressão devido à sua intensidade. As classes (com uma paleta de verde a vermelho/castanho) correspondem a: muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada.	90
Figura 49: Mapa do perigo de incêndio em Tomar, que resulta da combinação das estimativas da probabilidade anual de arder e do tamanho de chama, de acordo com a matriz da Tabela 11. O mapa permite identificar os locais onde são	

mais ou menos prováveis, incêndios de maior/menor intensidade (no primeiro caso traduzido pela classe de perigo muito elevado, e no segundo pela classe de perigo muito baixo)..... 91

Figura 50: Mapa do perigo de incêndio em Monchique, que resulta da combinação das estimativas da probabilidade anual de arder e do tamanho de chama, de acordo com a matriz da Tabela 11. O mapa permite identificar os locais onde são mais ou menos prováveis, incêndios de maior/menor intensidade (no primeiro caso traduzido pela classe de perigo muito elevado, e no segundo pela classe de perigo muito baixo). 92

Figura 51: Mapa do perigo de incêndio em Tomar, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60m. 93

Figura 52: Mapa do perigo de incêndio em Monchique, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60m. 93

Figura 53: Distribuição dos descritores do fogo probabilidade anual de arder, altura de chama e perigo de incêndio, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60 m, nas áreas de estudo de Tomar (a) e Monchique (b). As linhas a tracejado representam os valores de referência para área anual ardida e altura de chama em cada uma das áreas de estudo. 94

Figura 54: Probabilidade anual de arder, calculada a partir de ignições que ocorrem fora do corredor das linhas e respetiva envolvente (60 m) de modo a avaliar a importação de área ardida (a), e a mesma probabilidade, mas usando a área ardida de ignições que ocorrem dentro do corredor e envolvente às linhas elétricas de modo a avaliar a exportação de área ardida (b), para a área de estudo de Tomar. Notar as diferentes escalas de cores utilizadas. 95

Figura 55: Probabilidade anual de arder, calculada a partir de ignições que ocorrem fora do corredor das linhas e respetiva envolvente (60 m) de modo a avaliar a importação de área ardida (a), e a mesma probabilidade, mas usando a área ardida de ignições que ocorrem dentro do corredor e envolvente às linhas elétricas de modo a avaliar a exportação de área ardida (b), para a área de estudo de Monchique. Notar as diferentes escalas de cores utilizadas. . 96

Figura 56: Comparação entre o número de ignições anuais (eixo Y à direita) em função de três níveis de distância na envolvente. Estes valores foram normalizados pela área de corredores associados às linhas elétricas (eixo Y à esquerda). 97

Figura 57: Área sinalizada pela elevada e muito elevada probabilidade anual de exportação de área ardida, em linhas de MT e MAT (ao centro). Cartografia de ocupação do solo COSc 2023 (a) e cartografia de altura da vegetação (b). Nesta última mostram-se duas ignições no histórico, associadas à MT e MAT. 97

Figura 58: Desdobramento da classificação da causa 211, em diferentes fatores possíveis, com origem exógena e endógena 104

Figura 59: Esquema resumo de propostas e estratégias de mitigação..... 109

Sumário Executivo



Este relatório foi produzido em cumprimento ao disposto no Protocolo de Colaboração Técnica e Financeira nº. 16, celebrado entre o CoLAB ForestWISE® e o Fundo Ambiental, a 31 de julho de 2023, considerando a proposta apresentada e anexo ao mesmo. Este trabalho contou igualmente com o financiamento das empresas de distribuição e transporte de energia elétrica, respetivamente E-Redes e REN, e com a participação institucional de outras entidades do SGIFR, designadamente a Agência para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (AGIF), o Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), a Guarda Nacional Republicana (GNR), a Polícia Judiciária (PJ), e a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC).

O objetivo deste estudo consistiu em perceber os principais fatores relacionados com as ignições cuja causa foi identificada como 211 ou “rede elétrica”, bem como o seu padrão espacial de distribuição em Portugal continental, assim como, identificar estratégias para mitigar estas ocorrências e o impacto que os incêndios podem causar sobre as infraestruturas elétricas e no território.

Resumidamente, o conjunto de tarefas consistiram em: 1) a contextualizar a problemática no âmbito internacional; 2) estudar a evolução das ignições com causa 211 e da respetiva área ardida no período entre 2001 e 2022; 3) analisar as principais relações existentes com a topografia, meteorologia e vegetação, de modo a obterem-se diferentes tipologias de ignições; 4) com base nas relações existentes construir um mapa de probabilidade de uma ignição ser causa 211; 5) identificar troços das redes elétricas com maior exposição aos incêndios em duas áreas de estudo piloto, como exemplos ilustrativos de informação que pode ser usada no apoio à decisão (proteção das linhas e prevenção de incêndios).

Na sua generalidade, a estrutura do trabalho divide-se em quatro partes:

- **Parte 1:** contexto internacional dos incêndios rurais com causa 211, onde se procura perceber o estado da arte sobre esta realidade, e que estratégias têm sido desenvolvidas noutros países para a sua mitigação.
- **Parte 2:** evolução dos incêndios com causa 211 em Portugal, através de uma análise exploratória que engloba a distribuição destas ocorrências no tempo (2001-2022) e no espaço, assim como a sua relação com a meteorologia, topografia, vegetação e a diferenciação por nível de tensão da linha elétrica.
- **Parte 3:** avaliação do perigo e exposição aos incêndios das linhas elétricas, baseada em simulações de propagação e comportamento do fogo em duas áreas de estudo piloto previamente selecionadas.
- **Parte 4:** propostas de atuação e estratégias de mitigação, sustentadas por um conjunto de orientações com potencial aplicação em face dos principais problemas encontrados durante a análise do problema.

Os dados utilizados provêm do Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais do ICNF (SGIF), complementados com outras fontes de informação, e do cadastro da rede de transporte e de distribuição de energia elétrica, partilhado pela REN e E-Redes, durante o período compreendido entre 2001 e 2022. Foram igualmente efetuadas algumas visitas ao terreno, desenvolvidas entrevistas com entidades que operacionalizam a investigação das causas dos incêndios rurais em Portugal, e realizadas reuniões parcelares com os diversos parceiros do projeto, no sentido de acompanharem e discutirem resultados provisórios e finais, decorrentes do trabalho desenvolvido.

A análise do **CONTEXTO INTERNACIONAL DOS INCÊNDIOS RURAIS COM CAUSA 211** (Parte 1), enquadra a realidade dos incêndios rurais com a causa associada às linhas elétricas em diferentes países. A investigação que tem sido desenvolvida nos últimos anos enfatiza a **complexidade do problema**, reconhecendo que não existe uma solução ótima que possa ser generalizada a todos os contextos.

A realidade reflete a **baixa frequência dos incêndios rurais com causa associada às linhas elétricas**, sublinhando-se, porém, a **magnitude da área queimada resultante de algumas destas ocorrências** em países como a Austrália e os EUA, assim como, dos respetivos impactos quer em danos nas infraestruturas, quer no número de vítimas. Apesar de existirem alguns problemas similares à realidade portuguesa (sobretudo relacionados com a queda de árvores ou ramos sobre as LE, colisão de aves, relâmpagos ou libertação de partículas incandescentes), sublinha-se que os contextos são diferentes e pouco comparáveis, desde logo pela maior densidade de rede elétrica naqueles países e a obsolescência de componentes elétricos que é maior comparativamente aos utilizados em Portugal. As práticas de mitigação desta problemática em Portugal convergem com aquilo que é desenvolvido internacionalmente, seja em matéria de deteção e antecipação de problemas relacionados diretamente com as infraestruturas, ou na gestão da vegetação efetuada nas faixas de servidão, superando em diversas ocasiões as boas práticas naqueles países e o que é exigido em termos legais a nível nacional.

A implementação de **Planos de Mitigação de Incêndios (WMPS)** associados a incêndios com causa 211, representa um **procedimento importante para reduzir o número de ignições, otimizar o processo de deteção antecipada de ignições e mitigar as consequências em caso de falha do método de proteção/supressão**.

Na Parte 2 do trabalho, a análise de **EVOLUÇÃO DOS INCÊNDIOS COM CAUSA 211 EM PORTUGAL CONTINENTAL**, permitiu avaliar a distribuição espacial e temporal destas ocorrências, assim como a sua relação com variáveis meteorológicas, topográficas, de vegetação e a diferenciação por nível de tensão da linha elétrica. Os principais resultados foram os seguintes:

- No período 2001-2022, às **3 192 ocorrências** classificadas com causa 211 (1,4% das ocorrências investigadas) corresponde uma área ardida de aproximadamente **38 670 ha** (1,3% da área total ardida naquele período). Em termos gerais, estes valores per si indicam que o contributo das linhas elétricas para a problemática dos incêndios rurais, em termos de número de ocorrências e de área total queimada, é reduzida por comparação com outras causas, particularmente o uso indevido do fogo ou o incendiarismo.
- Durante o período analisado, observa-se uma **tendência crescente do número de IRs investigados**, assim como, no **número de ocorrências 211** (ainda que o valor absoluto destas ocorrências permaneça muito baixo), mas que não se reflete no aumento de **área ardida** associada a esta causa, comparativamente às restantes causas.
- À semelhança de outras causalidades, a **maioria das ocorrências 211 (80%)** tem associada uma **área queimada inferior a 1 ha** e **1%** originaram **áreas queimadas superiores a 100 ha**.
- Em termos geográficos a distribuição das ocorrências e da correspondente área ardida difere ao nível dos distritos e das CIM. No que concerne à distribuição **por distrito, destacam-se Santarém, Évora e Faro**. No que diz respeito à área ardida, Castelo Branco, Aveiro e Coimbra são os distritos mais afetados. Considerando a CIM como unidade territorial de análise, observa-se que Alentejo Central, Algarve e Médio Tejo ocupam as primeiras posições em termos de ocorrências, mas nas Regiões de Aveiro, Coimbra e Médio Tejo foram registados os maiores valores de área ardida.
- No que concerne à distribuição espacial das ocorrências relativamente aos corredores das FGC das linhas elétricas, e sem colocar em questão a classificação da causa, verifica-se que **89% das ignições encontra-se fora daqueles limites** e **11% das ocorrências ficam incluídas naquelas áreas de gestão das concessionárias**. De salientar, que do total das ignições, **1 % estão localizadas dentro das áreas da responsabilidade da rede de transporte (REN)**, o que limita qualquer análise estatisticamente representativa para esta tipologia de rede (MAT) devido ao reduzido número de observações.

- Face ao exposto anteriormente, destacaram-se dois problemas relacionadas com a informação geográfica de base: 1) a **localização dos pontos de início** das ocorrências; e 2) a **inexistência de uma cartografia associada à rede elétrica de baixa tensão (BT)**. Relativamente ao primeiro problema, a metodologia adotada pelas entidades nacionais para a atribuição da causa evoluiu. Inicialmente era considerada como referência do ponto de início onde o IR ocorreu o centro da freguesia, mais tarde adotou-se a toponímia mais próxima e, sensivelmente a partir de 2014, com a introdução da tecnologia SIRESP, a georreferenciação da 1ª equipa a chegar ao teatro de operações.

No que respeita à cartografia de BT, é uma camada de informação essencial para articular um melhor e mais detalhado apuramento de causas, designadamente na diferenciação por nível de tensão da LE, permitindo no futuro clarificar a classificação das ocorrências cuja causa associada seja 211.

- O efeito que a mudança no procedimento de georreferenciação do ponto de início das ocorrências classificadas com causa 211 tem na incerteza destas localizações, bem como na distância das mesmas às FGC das redes elétricas, foi estatisticamente avaliado. Concluiu-se que a partir de 2014 a incerteza em relação à média das localizações diminuiu, bem como o erro, ou seja, as ocorrências estão mais perto das linhas elétricas. Estimou-se que o erro da localização das ocorrências face aos corredores das FGC das linhas (dado pela estatística *Root Mean Square Error* - RMSE) é de 281 m (a partir de 2015). Sublinha-se, porém, que esta diminuição não se reflete num aumento de responsabilidade das concessionárias, dado que **não é analisado o erro da classificação da causa da ocorrência**, não pondo em causa os critérios e as competências das entidades responsáveis por esta tarefa. O **pressuposto da análise é que a causa da ocorrência está corretamente classificada**, não permitindo assim avaliar a existência de ocorrências mais perto das linhas que estejam incorretamente classificadas. Adicionalmente, de referir que a inexistência de uma cartografia das linhas de BT poderá condicionar as avaliações realizadas.
- **Considerando a inexistência da cartografia associada à BT**, de um modo geral, observa-se que das ocorrências que interseitam as FGC das redes elétricas, os **níveis de AT e de MT são os que têm associada a maior frequência de ocorrências bem como área ardida**.
- Ao nível da **meteorologia**, onde a análise foi efetuada com dados diários e não horários, às ocorrências estão maioritariamente associadas temperaturas entre 20-30º para todos os níveis de tensão, humidades relativas entre 40-60% e intensidades de vento entre os 5-15 km/h. Topograficamente, a maior frequência de ocorrências distribui-se entre os 100 e os 300 m de altitude, dominando nesta classe a MAT. Nas áreas planas (<50 m), a tipologia de rede dominante é a AT. No caso da MAT, esta prevalece juntamente com a AT (mais de 70% cada) nas zonas mais declivosas (>30º), estando as ocorrências associadas aos corredores da MT em zonas de menor declive.
- A **maior frequência de IRs** e de **área ardida** associadas à causa 211 encontram-se nas classes **FWI Muito Elevado e Máximo** (39% e 23% para os IRs, e 36% e 41% para a área ardida, respetivamente).
- Quando relacionamos a **área ardida** com as **variáveis topográficas**, observamos que é em **altitudes superiores a 300 metros** que a MAT apresenta mais área ardida. Já a MT e a AT registam áreas ardidas maiores entre 200-250 metros e em áreas de altitude inferior a 50 metros, respetivamente. Em **declives superiores a 20 °** observa-se mais área ardida em praticamente todos os níveis de tensão, exceção feita na AT, MT e da MAT com 150 kV onde a maior área ardida regista-se em declives inferiores a 5º. Em relação à vegetação, e particularmente à **ocupação do solo**, cerca de **metade das ignições ocorrem em áreas agrícolas**, sendo transversal a todos os níveis de tensão a maior frequência de ocorrências nesta classe de ocupação. Por outro lado, **na MAT e na AT mais de 40% das ocorrências localizam-se em áreas florestais de eucalipto, pinheiro-bravo e matos** (designadamente 150 kV e 220 kV).

- Em termos de **coberto arbóreo**, **12% das ignições ocorreram em áreas com cobertura superior a 40%**, onde as árvores têm mais de 10 m de altura, mostrando-se novamente que a maior frequência de ignições se localiza em áreas sem coberto arbóreo, em articulação da prevalência anteriormente mencionada de ignições em áreas agrícolas. No caso da AT a maior percentagem de ocorrências acontece em áreas com baixa percentagem de coberto arbóreo e copas muito baixas/inexistentes. À medida que o coberto arbóreo aumenta, o mesmo acontece com a maior frequência de alturas (31%) das copas entre os 10 e os 20 metros. No caso da MT, há um aumento da percentagem relativa de árvores acima de 10 metros, e acima de 5 metros no caso de densidades de coberto acima dos 60%. Nos casos das linhas elétricas em MAT, 57,9% das ocorrências estão associadas a árvores com mais de 10 m de altura.
- Importa referir que os resultados referentes ao uso do solo/coberto arbóreo não devem ser interpretados como indicadores de preferência das ignições para certas categorias. Para essa análise (eventualmente em trabalhos futuros) terá de ser feito um cruzamento das variáveis não só com as ocorrências, mas também com as redes elétricas em geral, para comparação e possível identificação de padrões interessantes.

Na **AVALIAÇÃO DO PERIGO E EXPOSIÇÃO AOS INCÊNDIOS DAS LINHAS ELÉTRICAS** (Parte 3) realizou-se primeiro, a análise e modelação estatística das principais variáveis associadas à distribuição geográfica das ignições com causa elétrica 211, bem como uma classificação de modo a definir diferentes tipologias de ignições de acordo com as relações apuradas na análise anterior. Segundo, com base nos resultados obtidos, a seleção de duas áreas de estudo piloto (Tomar e Monchique) onde foram realizadas as simulações de propagação do fogo para a avaliação do perigo e exposição das linhas aos incêndios. Os principais resultados obtidos foram:

- independentemente da tipologia da linha elétrica, a maior frequência das ocorrências com causa 211 ocorre na agricultura. No caso da **AT** uma grande frequência de ignições ocorre em **matos**. Na **MT** ocorrem predominantemente no **pinheiro-bravo**, maioritariamente em alturas de copado entre 10 e 20 m. Na **MAT**, seguindo-se à agricultura, as ignições são mais frequentes nos **eucaliptais**, com alturas médias de copado entre 10 e 30 m. Na tipologia “**Nenhuma**” (classificada desta forma considerando a não interseção das ocorrências com qualquer FGC da responsabilidade das concessionárias elétricas), para além das ignições ocorrerem com maior frequência na **agricultura**, nos **espaços florestais ocorrem cerca de 10x mais nos pinhais e eucaliptais**, e nas classes de altura média 10-20m;
- **mapa da probabilidade de ignição associada às linhas elétricas**, onde as maiores probabilidades se distribuem principalmente no Vale do Tejo e região Sul, apresenta uma boa concordância com as áreas de maior densidade histórica de ignições. O cálculo das estatísticas descritivas daquele mapa mostra que nas áreas de maior densidade histórica de ignições (acima do percentil 80) **a probabilidade média de causa 211 é igual a 0,80, a probabilidade mediana igual a 0,85 e o percentil 80 igual a 0,93**. As áreas onde historicamente a densidade de ignições 211 é mais elevada têm no mapa também probabilidades mais elevadas;
- **Classificação de grupos de tipologias de ignições:**
 - a) **Cluster 1** - ignições em áreas agrícolas, distantes do edificado, zonas planas, temperaturas elevadas, humidades relativas baixas, e valores de velocidade do vento baixas. São ignições que **ocorrem tipicamente a Sul, particularmente no Alentejo e Algarve**;

- b) Cluster 2** - ignições que para além de ocorrerem em áreas agrícolas, aparecem em floresta, particularmente eucaliptais, mais perto das áreas edificadas, em áreas de baixa altitude e declive, zonas mais húmidas e de maior velocidade média do vento, **tipicamente na zona Litoral e no Vale do Tejo**; e
- c) Cluster 3** - ignições que estão associadas a grandes incêndios, em áreas florestais (pinhais e eucaliptais) e matos, distância ao edificado e meteorologia com valores intermédios aos que caracterizam os dois clusters anteriores, em áreas de maior altitude e declive. **São ignições que ocorrem principalmente no interior Centro e Norte, e também no Algarve**;
- seleção de **duas áreas de estudo com regimes de fogo diferentes**, e de modo a assegurar as três tipologias de ignições anteriormente referidas. Selecionaram-se, em acordo com as concessionárias elétricas, as áreas de **Tomar e Monchique**, onde se analisou o perigo de incêndio na paisagem bem como a exposição de diferentes troços da rede elétrica. Os resultados indicam que as **linhas elétricas nestas duas áreas importam mais área ardida devida a incêndios que têm ignição fora dos seus corredores do que exportam área ardida por ignições dentro dos mesmos**;
 - a cartografia de exposição aos incêndios permite **identificar os troços da rede elétrica que são prioritários para a adoção de medidas preventivas**, quer no que diz respeito à gestão de combustíveis, quer na implementação de medidas de proteção às infraestruturas.

Por último, na Parte 4, foram sinalizados os principais **problemas** relacionados com incêndios rurais classificados com causa 211 em Portugal, que justificam um conjunto de **propostas** de atuação e estratégias de mitigação assentes em **quatro pilares: 1) informação de base; 2) infraestruturas de eletricidade; 3) operações de gestão de combustíveis; e 4) quadro jurídico-legal**.

Ao primeiro correspondem os problemas e as propostas que incidem diretamente na informação e nas bases de dados oficiais usadas na análise e tratamento estatístico, e acesso às mesmas. Resumidamente, identificou-se a necessidade de corrigir informação de algumas ocorrências classificadas com causa 211, de realizar o desdobramento de causas 211, de acordo com a proposta neste trabalho e considerando a nova proposta de grelha que será desenvolvida pelas entidades SGIFR no âmbito do Grupo de Trabalho correspondente e que aguarda formalização para substituição da atual, permitindo acompanhar e monitorizar de forma mais objetiva e transparente as estratégias de mitigação a implementar e, finalmente, desenvolver esforços para cadastrar a LE de BT, estabelecendo como critério a densidade de ignições no território classificadas na classe “*Nenhuma*” no presente trabalho. No futuro, poderá ser pertinente integrar a informação das concessionárias de forma complementar à registada na base de dados do SGIF, tendo em vista uma melhor qualidade da mesma.

Ao segundo correspondem os problemas e as propostas relacionados com infraestruturas de transporte e distribuição de energia elétrica, destacando-se a adoção de soluções de desenho e engenharia para prevenir falhas nos sistemas de distribuição e outras que permitam o fortalecimento mecânico das LE e a redução da probabilidade de ocorrência de falhas. Dois destes exemplos, são o método Rapid Earth Fault Current Limiters (REFCLs), utilizado na Austrália após os incêndios de Victoria, e o aterramento ressonante de linhas elétricas, que apesar de similar ao anterior, tem previsto uma redução de 90% nas ignições.

No terceiro, inserem-se as situações relacionadas com a presença de combustível nas proximidades das linhas elétricas que poderão constituir perigo de incêndio, e nas ações que visam criar condições para reduzir a propagação de incêndios com origem nas linhas elétricas. A cartografia de exposição aos incêndios elaborada neste trabalho permite estrategicamente direcionar investimento prioritário quer no que diz respeito a medidas de proteção das linhas, quer no reforço das ações de gestão de combustíveis. Os resultados obtidos permitirão apoiar a decisão sobre estratégias plurianuais direcionadas para a gestão de combustíveis e proteção das linhas, de acordo com os valores mais elevados de exposição, com a informação

a ser usada nos planos regionais e sub-regionais para a adequação das medidas às especificidades territoriais. De sublinhar as boas práticas desenvolvidas pelas concessionárias em matéria de gestão de combustíveis nas faixas de servidão e nas alternativas em termos de ocupação do solo, que permitam acrescentar valor a estes espaços, dinamizar algumas iniciativas empresariais que ajudem a impulsionar a economia local e potenciar a biodiversidade, sem comprometer o que está estabelecido em termos legais em matéria de gestão integrada de fogos rurais.

Finalmente, o quarto pilar apresenta propostas de alteração do quadro legislativo que se revelem mais pertinentes, sobretudo em torno das obrigações legais das concessionárias de transporte e distribuição de energia elétrica, ao nível do SGIFR.

De forma transversal aos pilares das infraestruturas de eletricidade, das operações gestão de combustíveis e do jurídico-legal, encontra-se a priorização de intervenções dos locais onde o perigo de incêndio e exposição das linhas elétricas é maior, de modo a definir as estratégias de mitigação mais adequadas, seja ao nível do melhoramento das infraestruturas de eletricidade ou de modo a distribuir o custo de gestão de combustíveis num plano investimento plurianual. Para suportar este nível de decisão, apresentam-se para as duas áreas de estudo os mapas que identificam a classificação dos troços mais expostos das linhas elétricas que atravessam às áreas de Tomar e Monchique. Qualquer decisão deve ser sempre enquadrada por um quadro jurídico-legal que permita estas formas de atuação.

Enquadramento



Em Portugal, as florestas representam cerca de 35% do território (3 154 milhões de ha-IFN6), 97% dos quais pertencem a proprietários privados com prédios rústicos de pequena dimensão e distribuídos de forma assimétrica no país (propriedades com área média <1ha nas regiões Centro e Norte e área média >10ha no Sul). A maioria destes espaços florestais sofre do absentismo dos proprietários na respetiva gestão, aumentando o risco e severidade associados a eventuais incêndios rurais que, quando ocorrem, originam graves impactos sociais, económicos e ambientais.

As causalidades dos incêndios rurais¹ podem ser diversas, encontrando-se a respetiva estrutura de classificação definida de forma hierárquica em três níveis, identificando-se cada causa específica com três algarismos:

- primeiro algarismo – identifica uma das seis categorias de causas (Uso de fogo; Acidentais; Estruturais; Incendiarismo; Naturais; e Indeterminadas).
- segundo algarismo – discrimina as causas do nível anterior, identificando-as em grupos e discriminando atividades específicas.
- terceiro algarismo – divide em subgrupos as atividades e discrimina comportamentos e atitudes específicas.

O código 211, integrado na categoria de causas “Acidentais” e na subcategoria de “Transportes e Comunicações”, classifica as ocorrências com origem em “linhas de transporte de energia elétrica que por contacto, descarga, quebra ou arco elétrico, dão origem a ignição”. Todavia, com esta codificação não é possível diferenciar a causa pelos quatro níveis de tensão², cabendo à REN a gestão no transporte de energia elétrica em “Muito Alta Tensão (MAT)” e à E-REDES a responsabilidade da distribuição da energia elétrica em “Baixa Tensão – BT”, “Média Tensão – MT”, “Alta Tensão– AT”.

Nos últimos 23 anos, cerca de 3200 ocorrências em Portugal continental (correspondendo a aproximadamente 38 260 ha de área ardida) foram registadas com causa 211 (de forma indiferenciada entre tipologia de linha MAT, AT, MT ou BT). Ainda que este valor represente 1,4% do número total de incêndios investigados neste intervalo, esta situação apresenta-se como motivo de preocupação para as concessionárias das redes elétricas, não só pelos impactos sociais e ambientais implicados e pelo eco negativo na opinião pública, mas também porque o registo atual não diferenciado, não permite inferir sobre as ações necessárias para mitigar a problemática.

A inspeção das linhas efetuada pela E-REDES e pela REN é realizada para garantir as condições de segurança à sua exploração, nas condições previstas no Decreto- Regulamentar nº. 1/92, de 18 de fevereiro, almejando a segurança de pessoas, bens e da floresta. Adicionalmente, enquanto entidades gestoras de infraestruturas de interesse público, a REN e a E-REDES participam no Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR), enquadradas pelo Decreto-Lei nº 82/2021³ de 13 de novembro, executando, monitorizando, mantendo e reportando os trabalhos de gestão de combustível nas infraestruturas e nas faixas de gestão de combustível a elas associadas, nos termos do presente decreto-lei.

A rede de transporte e a rede de distribuição são de natureza diversa, inclusive no enquadramento legal da sua atividade (Figura 1).

¹ De acordo com a codificação e definição das categorias das causas dos incêndios florestais (ICNF).

² Baixa Tensão, Média Tensão, Alta Tensão e Muito Alta Tensão, tal como consta do Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas. Ver [aqui](#).

³ Disponível [aqui](#).

Rede de Transporte (REN)**Rede de Distribuição (E-REDES)**

Área de intervenção (min e máx)	45-50 metros (MAT)	15 metros (MT) e 25 metros (AT)
Altura mínima dos cabos ao solo (definição de projeto)	12 metros	6 metros

Figura 1 – Diferenças entre a Rede de Transporte (REN) e a Rede de Distribuição (E-REDES) de eletricidade em termos de área de intervenção na faixa de proteção e na altura mínima dos cabos ao solo.

De facto, as diferentes infraestruturas, pelas suas características intrínsecas, apresentam riscos e soluções muito diferentes na gestão das suas áreas de segurança. Embora neste texto se utilize a expressão “causa 211” de forma indistinta, o trabalho preconizado seguirá uma abordagem por família de ativos.

Assim, para além da relevância de esclarecer qual o contributo das diferentes infraestruturas (MAT, AT, MT ou BT) para o total das ignições, torna-se imprescindível enquadrar potenciais estratégias e propostas de atuação, num quadro jurídico-legal que permita adotar as medidas propostas.

Objetivos e Metodologia

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

1. Analisar a base de dados do ICNF no que concerne ao histórico de ignições e área ardida cuja causa está registada com o código 211, em potencial complementaridade com outras fontes de informação (p.e. GNR e PJ⁴).
2. Comparar, à escala internacional, critérios de análise de ignição com causa semelhante, metodologias de avaliação e medidas de mitigação.
3. Definir cenários de perigo com base em critérios de avaliação e classificação das ocorrências nacionais cuja causa está registada como “rede elétrica”.
4. Identificar estratégias para mitigar a ocorrência de incêndios rurais cuja causa provável seja a “rede elétrica”.
5. Propor potenciais alterações no quadro legislativo em vigor que se venham a revelar convenientes.

O trabalho decorrente desta proposta colocará primeiramente a causa 211, na hierarquia de classificação, comparando-se esta com outras causas de incêndios. Sendo um dos objetivos deste trabalho estudar os incêndios classificados com esta causa, é de relevante importância observar, em perspetiva, os incêndios assim categorizados. Por conseguinte, a abordagem inicial do trabalho consistirá na análise pormenorizada da base de dados do ICNF relativa aos incêndios rurais ocorridos entre 2001 e 2022, complementando-a com outras fontes de informação. Finalmente, a proposta para uma classificação destas ignições, separando causas endógenas e exógenas, fornecerá uma base de trabalho para desenhar medidas adequadas de mitigação das consequências de incêndios rurais – que tendo ou não origem na rede elétrica, a envolvam – de acordo com o contexto. Esta avaliação permitirá identificar estratégias que possam mitigar os incêndios rurais derivados destas causas, bem como perceber/propor potenciais alterações de políticas públicas que serão necessárias para suportar tais medidas.

Tendo por base os objetivos definidos, importa estruturar o trabalho que o CoLAB ForestWISE® se propõe desenvolver, assentando em *Work Packages* (WP) e Tarefas subsequentes para a concretização das atividades propostas. Nestas WP pretende-se: a) analisar e caracterizar as ignições classificadas com causa 211; b) caracterizar cenários de risco nas faixas de proteção; e c) identificar oportunidades de melhoria e estratégias de mitigação.

Para a boa prossecução deste serviço, é fundamental o CoLAB ForestWISE® ter acesso a todos os dados necessários para a realização das tarefas, devendo os mesmos ser disponibilizados pelas diversas entidades envolvidas, quando solicitados.

WP1: Análise e caracterização das ignições associadas à rede elétrica

O objetivo desta WP centra-se na investigação das causas destas ignições, tal como registadas no SGIF, complementadas com outras fontes de informação, e na análise da relevância de problemas similares e estratégias adotadas noutros países.

Tarefa 1.1. Análise das bases de dados do ICNF relativas aos incêndios rurais no período de 2001-2022, cuja causa tenha identificação como sendo “Linhas elétricas” e cruzamento com outras fontes de

⁴ No âmbito do artigo 11 do Decreto-Lei nº 82/2021 de 13-10-2021

informação, inclusive base de dados com informação meteorológica, topográfica, de ocupação do solo e o cadastro geográfico da rede elétrica. A utilização de informação detida por outras entidades poderá ser utilizada, se enquadrável e disponível.

METODOLOGIA

- Análise estatística (descritiva) da informação;
- SIG (sistema de informação geográfica);
- Métodos quantitativos de análise das bases de dados geográficas.

Tarefa 1.2. Mapeamento das ignições à escala nacional classificadas como “211-Linhas elétricas” (período 2001-2022) e definição de critérios para seleção e avaliação dos casos considerados mais pertinentes, mediante a documentação existente procurando, dentro do possível, uma distinção e uniformização entre causas endógenas e exógenas.

METODOLOGIA

- Expert elicitation;
- SIG (sistema de informação geográfica);
- Fotografia aérea e Imagens de satélite à data da ocorrência do incêndio (Sentinel-2, ortofotomapas, Google Earth);
- Métodos qualitativos.

Tarefa 1.3. Análise da relevância de problema similar e estratégias adotadas noutros países, nomeadamente da bacia mediterrânica, centrando-se na influência do tipo de linha (MAT, AT, MT e BT), da meteorologia, da topografia, e da ocupação do solo.

METODOLOGIA

- *Benchmarking* internacional com recurso a entrevistas e literatura científica sobre:
 - o análise de fatores de ignição;
 - o métodos de investigação das causas;
 - o processos de mitigação para este tipo de ocorrências
- Análise estatística - Identificação de padrões nas ignições que tenham origem associada às linhas de média e alta tensão, através da avaliação da sua frequência.

WP2: Avaliação de cenários de risco nas faixas de proteção

O objetivo desta WP é efetuar uma análise de cenários de risco, com base na informação recolhida na WP1, conjuntamente com informação produzida nesta WP e derivada de simulações de comportamento e propagação de fogo.

Tarefa 2.1. Com base na informação obtida na tarefa 1.2 (WP1), considerando o leque de critérios usados na tarefa 1.1, identificar padrões espaciais nas ocorrências com recurso a uma análise hierárquica de grupos para determinar fatores comuns na tipologia de ignições em estudo, que permita um enquadramento numa escala de risco com a identificação das zonas de maior perigo de incêndio.

Tarefa 2.2. Análise de comportamento do fogo nos *clusters* identificados na tarefa 2.1 e nos territórios e troços mais críticos, sinalizados pelas concessionárias e pela simulação de comportamento de fogo, usando dados atualizados (tanto quanto possível) da vegetação nas FGC das infraestruturas. O objetivo consiste em priorizar troços destas FGC sob cenários alternativos estratégicos que visem, p.e., reduzir custos de gestão, aumentar stock de carbono, potenciar níveis de biodiversidade, valorizar a paisagem, mediante objetivos e critérios previamente acordados.

METODOLOGIA (para ambas as tarefas)

- SIG (sistema de informação geográfica);
- Análise de padrões espaciais;
- Simuladores de comportamento do fogo (MTT-FARSITE).

WP3: Identificação de oportunidades de melhoria e estratégias de mitigação

O objetivo desta WP centra-se na identificação de condicionantes e oportunidades, definindo eventuais estratégias de mitigação para a redução de ocorrências com causa 211.

Tarefa 3.1. Revisão e eventual sugestão de alternativas ao desdobramento da classificação de novas causas de ignição 211, com suporte na metodologia usada na investigação das causas a nível internacional (Tarefa 1.3 – *Benchmarking* internacional) e consequente comparação entre a proposta sugerida e a classificação usada na base de dados das ocorrências do ICNF.

METODOLOGIA

- Expert elicitation;
- Análise descritiva.

Tarefa 3.2. Propor, com base nas tarefas anteriores, estratégias de mitigação que reduzam as ocorrências com causa associada às linhas elétricas considerando, entre outros, aspetos relacionados com a gestão de combustíveis, com as infraestruturas elétricas e com o quadro jurídico-legal do SGIFR.

METODOLOGIA

- Análise descritiva;
- Análise do diploma legal em vigor relativo ao SGIFR;
- Métodos qualitativos.

Parte 1: Contexto internacional dos incêndios com causa 211



1.1 Enquadramento

De acordo com o ICNF, no intervalo de 2013-2023, a média anual de incêndios rurais com causas relacionadas com transportes e comunicações (21), onde se insere as linhas elétricas (211), é de 4%, valor próximo ao apresentado no quinquénio de 1996-2010, que foi de 3% (Lourenço et al., 2012). Esta ordem de valor é comum noutros países, nomeadamente em Espanha, com 5,5%, (Rodríguez A., 2016) e que correspondem a 8,8% da área ardida entre 2001 e 2010. Em Portugal, para efeitos comparativos, no período correspondente e de acordo com os dados do ICNF, complementados com outras fontes de informação, foram classificados com causa 211, 0,5% dos incêndios rurais, representando estes 0,6% do total de área ardida neste período, com uma média de 24% de incêndios investigados. No caso dos Estados Unidos da América (EUA), em particular na Califórnia, esta causa corresponde atualmente a 10% dos incêndios registados (Mitchell, J. 2023), percentagem que tem vindo a aumentar nos últimos anos (Keeley J., Syphard A., 2018).

Estes valores, pouco expressivos em termos de ocorrências, têm originado alguns dos incêndios com maior área ardida e impacto nas populações em diversos países. É o caso do conjunto de incêndios “*Black Saturday*” de 2009, em Victoria na Austrália, os incêndios da Califórnia de 2007 ou o Camp Fire de 2018.

Esta realidade tem sido alvo de preocupação de diversas entidades, inclusive das próprias empresas energéticas envolvidas, no sentido de compreender melhor as verdadeiras causas inerentes a este de ocorrências para, de forma mais direcionada, desenvolver e implementar estratégias de mitigação que reduzam os incêndios com esta classificação, assim como, os potenciais impactos dos mesmos.

Sendo esta uma problemática transversal a diversos países, torna-se assim importante investigar os mecanismos que poderão estar na origem deste tipo de ignições, os métodos de investigação utilizados e as estratégias de mitigação adotadas noutros países.

1.2 Abordagem metodológica

Para esta pesquisa bibliográfica, as palavras-chaves mais utilizadas foram “*wildfire*”, “*power lines*” “*power grid*” “*bushfire*” “*extreme weather*” incluindo termos redundantes e incompletos, de forma a garantir maior retorno de artigos relacionados com o tema, tendo-se destacado 40 artigos, publicados entre 2011 e 2023.

Após esta pesquisa, foi elaborado um diretório com os artigos, onde foi criada uma coluna para o ano, título e palavras-chave de forma a poder analisar de forma mais simplificada e célere os artigos obtidos.

Os 40 artigos foram revistos, através da leitura do resumo, introdução e conclusão, de forma a selecionar aqueles com maior relevância para este tema. Destes, foram selecionados 21 artigos para uma leitura mais detalhada.

1.3 Resultados

A literatura analisada corrobora que, não sendo comuns, estes incêndios surgem pela interação de uma linha elétrica em falha com a vegetação na proximidade (Muhs, J., et al., 2021). As falhas na linha poderão ser causadas por diferentes fatores, tais como:

- ambientais, como vento (Jahn, W., Urban J. L., Rein G., 2022):
 - de forma direta, que cria tensão e tração, causando o corte/destruição de material elétrico;
 - de forma indireta, movendo a vegetação arbórea em direção à linha e que, ou causam a destruição/corte de material, ou por toque nos dois cabos, criam curto-circuitos;
- condições da vegetação envolvente, nomeadamente a sua altura;
- mau estado de conservação e manutenção da linha elétrica.

Após a interação com a linha elétrica, a ignição surge de diferentes maneiras:

- Arcos voltaicos/elétricos e/ou curto-circuitos:
 - arco voltaico entre fios condutores, que aumentam a condutividade de calor (Jahn, W., Urban J. L., Rein G., 2022);
 - High Energy Arcing Fault (HEAF) principalmente pela sua duração, que origina descargas;
 - Falhas de alta impedância (HIF), cuja amplitude elétrica reduz de forma abrupta e ao não exceder o valor limite de proteção do sistema para corte, origina descargas ou faúlhas (Kandanaarachchi, S., et al., 2021);
- Libertação de material incandescente, como: alumínio, líquido dos insuladores ou explosão de transformadores (Bandara, S., Rajeev, P., Gad, E., 2023)

Muhs et al. (2021), propõe um novo modelo de demonstração do mencionado supra, que relaciona ambas as partes que originam um incêndio elétrico (Figura 2).

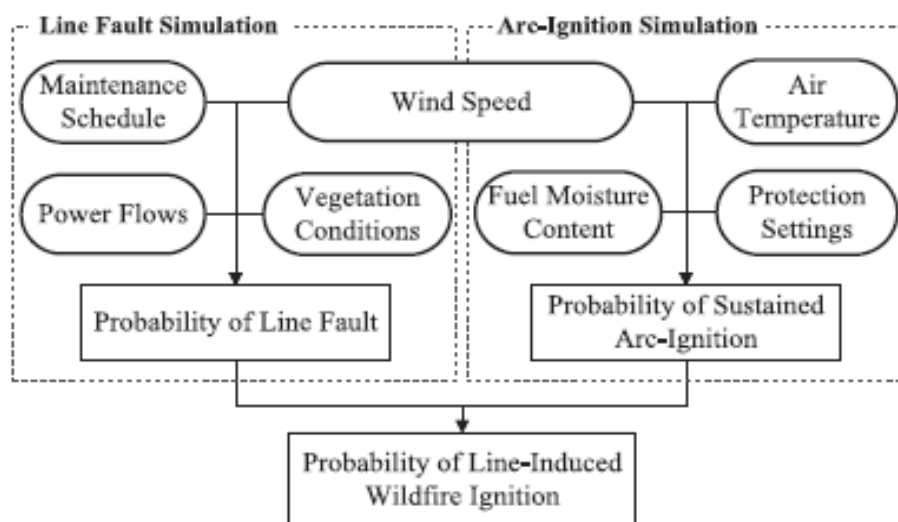


Figura 2: Modelo proposto por Muhs et al. (2021) para ignições de incêndios florestais produzidos por arco voltaico.

Apesar destas ocorrências não serem comuns, a grande maioria ocorre em dias de perigo meteorológico de incêndio elevado (Vasquez, D., et al., 2022), onde estão presentes fatores meteorológicos como baixo teor de humidade relativa e/ou elevada temperatura, criando um contexto favorável a potenciais consequências catastróficas (Mitchell, J., 2013).

Complementarmente, apesar de não estar relacionada com a ignição de incêndio, o Fire Weather Index (FWI) aumenta a intensidade e acelera a propagação de incêndios já em curso, através da rutura/colapso dos sistemas/estruturas elétricas, devido a chamas, fumos, atividades de supressão e queda de matéria vegetal (Jahn, W., Urban J. L., Rein G., 2022). Estas situações podem levar a:

- propagação de fogos de copas através da deposição de materiais incandescentes nas linhas elétricas ou nos isoladores de suspensão;
- propagação de calor através do aumento de condutividade da linha elétrica devido à proximidade das chamas aos materiais ou à fusão de elementos constituídos por alumínio (Jahn, W., Urban J. L., Rein G., 2022).

Desta realidade, surge a necessidade de aumentar a resiliência das estruturas elétricas, preparando-as para eventos disruptivos (Davoudi, M. et al., 2021), designadamente na redução do tempo de recuperação e restabelecimento da funcionalidade destas infraestruturas (Muhs, J., et al., 2020).

Assim, a implementação de Planos de Mitigação de Incêndios (WMPS), representa um procedimento importante para reduzir o número de ignições associadas a esta causa, otimizar o processo de deteção antecipada de ignições e mitigar as consequências em caso de falha do método de proteção/supressão.

Os diferentes métodos existentes e em progresso, podem organizar-se numa das seguintes formas (Muhs, J. et al., 2020):

- **prevenção de falhas** – métodos que incluem reforço estrutural, avaliação de estruturas e inspeção, previsão de falhas através de análise de onda e de *deep learning*, gestão de vegetação;
- **prevenção de ignições** – deteção de HIF, HEAF e curto-circuitos, sistemas de proteção de redes com corte automático, corte programado de troços de redes elétricas, e deteção remota de incêndios;
- **resposta a incêndios e mitigação de impactos** – resposta operacional, acompanhamento de incêndios em tempo real, plano de emergência.

Prevenção de Falhas

A mitigação de incêndios rurais começa com a construção e manutenção de uma estrutura elétrica adequada ao local onde a mesma se insere, com a utilização de materiais adequados e criando as condições necessárias à monitorização da mesma ao longo do tempo (Muhs, J., 2020).

O termo “*reforço estrutural*”, quando utilizado no contexto dos sistemas de energia, refere-se ao conjunto de soluções de desenho e engenharia implementados para prevenir falhas em sistemas de distribuição (Muhs, J., 2020). O objetivo é tornar as linhas de energia e outros componentes do sistema de distribuição, mais resilientes a eventos climáticos extremos, como ventos fortes, tempestades de gelo e incêndios rurais. Isto pode envolver a melhoria de materiais e *design* de postes, de linhas e de outros componentes, para fortalecer mecanicamente as estruturas elétricas e reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas. Um destes exemplos, é o método *Rapid Earth Fault Current Limiters* (REFCLs), utilizado na Austrália após os incêndios de Victoria, que consistiu em aterrar⁵ a linha para realizar descargas diretas para o solo, em caso de queda de linha elétrica (Bandara, S., Rajeev, P., Gad, E., 2023). *Rorabaugh et al. (2021)* descreve um novo método, *aterramento ressonante* de linhas elétricas, que

⁵ Aterrar um aparelho ou equipamento significa que um dos fios do seu cabo de ligação – o fio terra – está conectado com a terra. É basicamente como uma rota de fuga para uma possível descarga elétrica ou fuga de energia.

apesar de similar ao anterior, tem previsto uma redução de 90% nas ignições. Segundo Muhs (2021), o aterramento de estruturas oferece uma boa solução a longo prazo, mesmo em locais com elevado perigo de incêndio, e que pode ser implementado de forma estratégica, mediante a disponibilidade de recursos financeiros.

No que respeita à *inspeção e monitorização de estruturas*, torna-se crucial avaliar o estado da infraestrutura de distribuição de energia para prevenir falhas nos componentes, as quais podem acarretar sérias preocupações de segurança, principalmente no contexto de ignição de incêndios florestais (Bandara, S., Rajeev, P., Gad, E., 2023). A inspeção ao local pode ser feita de duas formas: a inspeção convencional terrestre ou inspeção aérea. A inspeção terrestre, pode ser feita através de recursos humanos ou com ajuda de robots e a inspeção aérea, realizada por helicóptero ou através de Unmanned Aerial Vehicles (UAV). A utilização de robots na inspeção terrestre, garante o acesso a locais inacessíveis por humanos, reduzindo o tempo e aumentando a qualidade da inspeção. A utilização de UAVs também se tem mostrado profícua nos resultados, por ser um método que além de abranger grandes distâncias, alcança lugares inatingíveis por terra, facilita a extração e análise de dados, como é demonstrado no estudo de Bandara S. et al. (2023). Surgem, no entanto, algumas dificuldades associadas à análise de dados extraídos desta forma. Os principais desafios identificados com esta forma de recolha de informação são a qualidade dos dados, a deteção de pequenos objetos e problemas de processamento relacionados com a necessidade de computadores de alto desempenho para executar a análise dos dados (Figura 3). Bandara S. et al. (2023) conclui que a utilização de UAV em conjunto com a análise e processamento automático de dados, consegue ultrapassar a grande maioria dos desafios que existem na inspeção convencional. Este método reduz o tempo necessário para executar esta tarefa, apresentando grande precisão e fiabilidade.

Relativamente à previsão de falhas através de *deep learning*, de acordo com Zhao & Barati (2021), a utilização de algoritmos com uma *Rede Neuronal Convolutiva (CNN)* para determinar o tipo de falha e a localização potencial de incêndios em sistemas de distribuição de energia, apresentam uma precisão de 100%. A utilização de classificadores de *CNN* com vetores de características extraídos de medições do sistema de distribuição, resulta na classificação rápida do tipo de falha e na extração de vetores de características para a localização da falha.

A gestão de vegetação nos corredores ao longo das linhas elétricas, apresenta-se como um dos métodos mais aconselhados para a redução do risco de ignição, visto que as HIF surgem em diversas ocasiões, entre outros, por quebras, falhas ou pelo contacto de vegetação ou de aves com as linhas elétricas. Esta prática impede que a distância linha-vegetação seja reduzida, formando arco voltaico e, em caso de incêndio, provoque danos na estrutura, podendo ainda servir de áreas de apoio ao combate (Viegas, X. et al., 2020).

De acordo com o manual de boas práticas produzido no âmbito do projeto europeu LIFE+ ELIA em 2018, existem diferentes métodos que podem ser aplicados e que apresentam grande eficácia na gestão de vegetação debaixo de linhas elétricas nas zonas rurais. Este manual, além de apresentar alternativas à gestão tradicional da vegetação (corte e destroçamento moto-manual, pastorícia ou queimada), faz um pequeno enquadramento sobre práticas de outros países europeus (Tabela 1).

Tabela 1: Práticas de gestão da vegetação utilizadas internacionalmente

Região	Práticas de gestão da vegetação utilizadas	Impactos
Europa	Criação de bordaduras florestais, com plantação de árvores nas laterais da zona onde ocorreu o corte, com espécies que na sua maturidade não apresentem alturas elevadas de forma a garantir uma evolução gradual da altura das mesmas, enquadradas no clima e ecossistema local, e com produção de flor, de forma a atrair plantas e insetos, alterando a composição da área de U para V (Figura 4).	Menor impacto visual/paisagístico; transição gradual entre as duas áreas; maior ensombramento para dentro da faixa limpa, de forma a inibir o crescimento de outras árvores.
	Utilização de gado debaixo das linhas, para reduzir a densidade vegetal do local, garantindo que a prática se desenvolva em zonas com áreas superiores a 1 ha (passagem de duas linhas, em paralelo).	Maior biodiversidade, valorização socioeconómica
	Instalação de prados/pastagens debaixo das linhas, para que exista uma manutenção constante da vegetação e gerar algum rendimento. Algumas das situações, incluem a instalação de pequenas quintas.	Possibilidade de pequenos proprietários das áreas, possam receber subsídios relacionados com a plantação de espécies agrícolas, gerando assim ganho, através de uma gestão mais gentil da área.
	Construção de poças ou lagoas de pequenas dimensões por baixo das linhas, escavando corpos de água, em zonas adequadas, de forma a criar um espaço no habitat, aumentando assim a biodiversidade do local e tornando-o visualmente heterogéneo.	Lagoas/poças com dimensões adequadas, podem ainda ser utilizadas no apoio ao combate a incêndios.
	Plantação de espécies protegidas no solo debaixo das linhas elétricas. Um dos exemplos é a plantação de orquídeas nesses locais.	Aumentar o número de espécimes por população e garantir um novo pool genético.
Finlândia	Pastoreio, plantação de “árvores de Natal”, criação/manutenção de zonas húmidas, plantação de espécies favoráveis para polinizadores, plantação de espécies que aumentem o valor paisagístico e alimentar da área e gestão da paisagem para caça. Proprietários que pretendam gerir as suas áreas de acordo com estes objetivos/métodos, recebem um apoio de 300€/ha.	Maior biodiversidade, valorização socioeconómica
Canadá	Destroçamento de vegetação arbustiva, corte manual seletivo, corte raso de inverno, e uso de herbicidas (de forma seletiva ou em linha).	Maior impacto negativo paisagístico, redução de biodiversidade, implicações no solo e retenção de água.
EUA	Criação de bordaduras florestais. Nas zonas debaixo das linhas e nos 4 metros adjacentes, a vegetação é cortada e é incentivado o crescimento de espécies arbustivas. Desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio para apoiar a gestão e controlo de vegetação, que pode ser instalada em corredores de linhas de transmissão para monitorizar o crescimento e avanço da vegetação ⁶ . Alarme em tempo real através do uso do método de <i>machine learning</i> , para deteção de arcos voltaicos pela proximidade da vegetação à linha ⁷ , cuja precisão é de 98.2%.	Métodos mais dispendiosos em termos financeiros e de tempo. Complementaridade com outras tecnologias (captação de imagens aéreas através de UAVs ou sistemas LIDAR pode permitir adotar estratégias mais eficientes, tornando a razão custo/benefício mais equilibrado).

⁶ Vasquez et al., (2022)⁷ Ma et al., (2020)

Study	Category	Content, Methods, Analysis Techniques
[97]	Mobile robot	Development of a kinematic structure of a robot capable of moving on powerlines avoiding obstacles for condition assessment
[98]	Mobile robot	Developed a double conical wheel based mobile robot with three driven wheels, distributed control system and a self-configuration frame
[99]	Teleoperated robotic platform	Presented the mobile platform design and its mechatronics subsystems describing the functions and the potential applications
[100]	Teleoperated robotic platform	Development of a robotic system which consists of operators cabin and remote platform which is located on the top of an isolated telescopic boom
[101]	Robotized inspection with infrared vision	Infrared thermography anomaly detection algorithm was developed to process the thermographic images and to detect hotspots in conductors
[102]	Mobile robot	Reviewed the application of mobile robots for power distribution line inspection. Robots were found capable of performing different other tasks beside powerline inspection
[103]	UAVs	Presented a summary of the attributes and requirements of vertical takeoff and landing UAVs considering its critical subsystems.
[104]	UAVs	Developed techniques to process consecutive images (both normal and infrared) taken from UAVs together with telemetry data for automated inspection of power cables
[105]	UAVs-based on quadrotor helicopter	Presented the hardware architecture of the aerial robotic system by providing required payload to conduct qualitative inspection of power lines
[106]	Quadrotor UAVs	Proposed two approaches to achieve real-time tracking of power lines (Image-based visual servoing formulation along with linear quadratic approach and partial pose based visual servoing to solve the control in 3D cartesian space)
[107]	UAVs	Implemented filtering techniques, morphological operations and different mathematical techniques to extract power lines from images suppressing the background
[108–110]	UAVs and deep learning techniques	Employed convolutional neural networks and other deep learning approaches for automated analysis of the data obtained from UAVs. Learning algorithms provided effective preprocessing, analysis and post-processing.

Figura 3: Levantamento dos estudos realizados sobre as técnicas de inspeção às linhas não convencionais (Bandara et al., 2023)

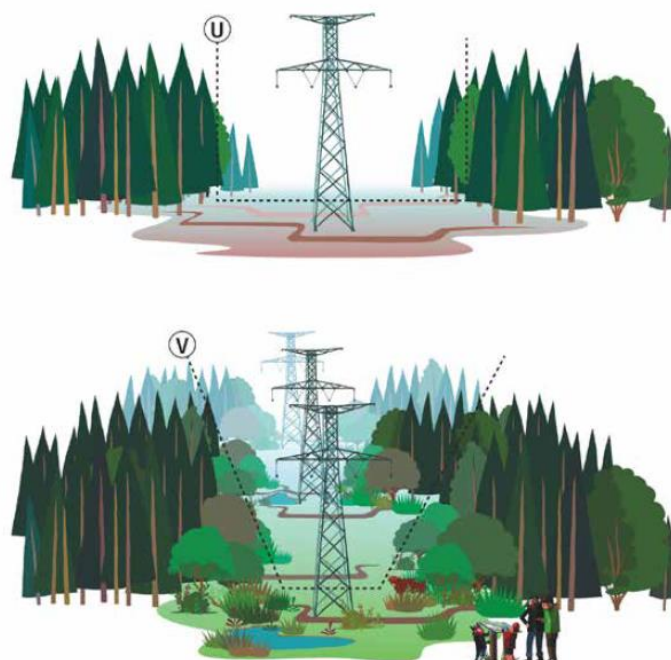


Figura 4: Criação de bordaduras florestais, alterando a composição da vegetação (da área de U para V) nos corredores das linhas elétricas. (Jadoul, G. (coord.) et al., 2018)

Prevenção de ignições

A detecção atempada de HIF é importante, por ser uma falha elétrica cuja amplitude de corrente não ultrapassa o limiar dos dispositivos de proteção, mecanismo que ainda não é totalmente conhecido (Kandanaarachchi, S. et al., 2021). Como resultado, estas falhas não representam risco para o

equipamento e podem ser facilmente confundidas com o aumento de carga de utilização do sistema. Desta forma, os autores propõem um sistema de detecção que se baseia em mais de 200 características simples frequentemente utilizadas na detecção de anomalias, provenientes de análises tanto no domínio temporal como no domínio da frequência. Os resultados dos testes demonstram que é possível detetar antecipadamente, com alta precisão a probabilidade de ignição, utilizando um conjunto menor de 36 características, diminuindo assim a carga computacional para implementação em tempo real. Wang & Dehghanian (2020) demonstram como a utilização de I.A. na detecção de HIF aumenta a sua precisão em 99,95% e a torna extremamente rápida (aproximadamente 40 ms).

Public Safety Power Shutoff ou *corte energético pro-ativo* define-se como o corte seletivo ou total de linhas elétricas, utilizado em situações de meteorologia severa (Vasquez, D., et al., 2022). Muhs (2021) descreve que os cortes de distribuição de energia são os mais eficazes no combate a ignições provenientes de falhas do sistema elétrico, mas é o método com maior impacto negativo nas populações, colocando em risco o acesso a bens e serviços importantes (por exemplo, cuidados de saúde e a manutenção dos alimentos) (Jahn, W., Urban J. L., Rein G., 2022) devendo apenas ser utilizado em situações extremas. Por vezes, após a aplicação deste método, procede-se à identificação da falha ou dano existente na estrutura, seccionando-o e isolando, o que leva ao desenho de um novo um circuito, devolvendo energia à estrutura (Muhs, J. et al., 2020). Este método pode ser também aplicado de forma direta, sem a necessidade de um corte total prévio e permite reduzir o impacto nas necessidades das populações.

Dian et al. (2019) apresentam um sistema de alarmes em tempo real para danos em linhas elétricas, associando simuladores de fogo e alarmes de corte energético. Este modelo encontra-se dividido em duas fases: primeiro a simulação espaço-temporal da evolução do incêndio, utilizando um algoritmo em autómato celular, que antecipa onde e quando um dado incêndio alcançará o limite da zona de segurança da estrutura elétrica. Após esta simulação, é utilizado um Line Outage Model, indicando quais as estruturas mais frágeis que irão ser atingidas pelo incêndio. Este método permite não só otimizar a distribuição dos meios de combate como prever quais os setores que poderão ser afetados, de modo a proceder a uma redistribuição energética atempada.

No estudo de Astudillo, Cui e Zamzam (2020), é usado um modelo que identifica e agenda cortes energéticos, otimizados, garantindo uma resposta de 62%-98% à procura energética. Este modelo inclui ainda a utilização de um sistema de armazenamento energético, que é acionado em caso de corte energético, permitindo diminuir o risco de incêndio ao alterar de forma temporária a procura energética.

Resposta a incêndios e mitigação de impactos

Lu et al. (2016), desenvolveram uma plataforma móvel de apoio ao combate a incêndios com o seguinte princípio: baixo fluxo, longa distância e longo alcance. Este princípio surge da necessidade de combater incêndios em zonas remotas onde se torna difícil o combate direto nas linhas, devido a questões relacionadas com acessibilidade e disponibilidade de água. O sistema faz igualmente uso de um agente de supressão à base de água misturado com aditivos (como sais de amónio, sais com fósforo e sais inorgânicos de metais alcalinos) que funcionam também como substâncias fertilizantes, o que torna este método sustentável em termos ambientais. Os testes desenvolvidos com este método revelaram a possibilidade de atingir pressões hidráulicas superiores a 120 bares, permitindo cobrir distâncias de 500 metros de altura e 3 000 metros de comprimento, perspetivando a obtenção de resultados muito positivos num cenário de incêndio rural de elevada severidade.

1.3.1 Boas práticas nacionais

Apesar da realidade portuguesa encontrar algum paralelo com outros países a nível mundial, no que respeita a incêndios rurais com causa 211, é importante sublinhar que nem sempre é comparável a realidade do país nesta matéria com outros países, como os EUA ou a Austrália. As diferenças significativas evidenciadas pelas concessionárias das linhas elétricas, no âmbito do presente trabalho, apontam contextos diversos que por si são indicadores das formas usadas nuns e noutros territórios na mitigação desta problemática. Por conseguinte, torna-se importante apresentar um conjunto de iniciativas e boas práticas implementadas pelas concessionárias em Portugal que visam mitigar este tipo de ocorrências.

Um primeiro aspeto destacado refere-se à idade da rede elétrica que, no caso do território português, é mais recente quando comparada, por exemplo, com a norte americana. Esta última apresenta uma distribuição regional assimétrica em termos de idade, registando-se algumas partes da rede com mais de 100 anos e 70% das linhas de transmissão e distribuição na segunda metade da sua vida útil. Outro caso paradigmático é o uso frequente de postes de madeira na linha de distribuição neste país. Em Portugal, a idade média dos troços aéreos das redes de AT é de cerca de 27 anos, sendo a idade média dos troços subterrâneos de cerca de 19 anos. A rede AT apresenta um desempenho adequado sendo, contudo, de sublinhar que 11% da extensão da rede aérea é constituída por troços de construção anterior a 1970. A idade estimada dos troços de MT aéreos em serviço é de cerca de 23 anos, sendo a idade média estimada dos troços subterrâneos de cerca de 17 anos⁸.

No que se refere à fiscalização sobre o estado de conservação das linhas, a legislação portuguesa obriga as entidades responsáveis a inspeções periódicas da linha de acordo com o estipulado no Artigo 167º. As concessionárias referem que as linhas são alvo de inspeções regulares que vão além do indicado na lei. A este propósito a REN e a E-Redes afirmam que é efetuado um varrimento laser, com tecnologia LiDAR, com recurso a helicóptero ou *drone*, nas linhas elétricas da sua responsabilidade, onde são detetadas e corrigidas anomalias. No caso da REN esse varrimento é anual e na E-Redes a periodicidade deste procedimento é no máximo de 3 em 3 anos.

A participação em diversos projetos de investigação também oferece a possibilidade de implementação e teste de diversas soluções, como são exemplo, os *Bird Flight Diverters* usado pela REN e pela E-Redes para proteção da águia imperial ibérica (*Aquila adalberti*), a substituição de espécies arbóreas de rápido crescimento nas orlas das faixas de serviço das linhas elétricas por autóctones e de crescimento mais lento. Paralelamente, são testadas soluções tecnológicas de acordo com necessidades e problemas territoriais. Um dos exemplos refere-se ao desenvolvimento de um algoritmo com a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) no sentido de perceber quais as zonas onde as faixas devem ser alargadas, cortando as árvores e indemnizando os proprietários. Neste contexto, a E-Redes faz referência ao projeto *Earth Observation for Vegetation Management*, no qual é utilizada inteligência artificial sobre imagens recolhidas por satélites na gestão de vegetação na proximidade das redes de alta e média tensão. Esta tecnologia foi implementada para responder a três *use cases*: a) análise do volume e densidade da vegetação utilizando imagens de satélite, de modo a facilitar a monitorização e priorização das intervenções no terreno; b) realizar auditorias por satélite às execuções no âmbito da gestão da vegetação, o que permite à E-REDES ter um controlo global desta atividade; c) incorporar a

⁸ Informação disponível em <https://www.erse.pt/media/dr3pn5vz/proposta-pdird-e-2020.pdf>

análise no *Analytics4Vegetation* (A4V), uma solução de Inteligência Artificial (IA) para gestão da vegetação que integra o crescimento das diferentes espécies, o clima, solo, altitude e outros fatores que influenciam o crescimento. Além disso, inclui automação de processos, melhorando assim a eficiência no controlo da vegetação.

Em termos da gestão de vegetação as concessionárias efetuam o que é da sua responsabilidade e que está estipulado no Decreto Regulamentar 1/92 de 18 de fevereiro, que aprova o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão, e no Decreto-Lei 82/2021 de 13 de outubro, que aprova o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais. Os métodos associados a esta gestão são diversos e incorporam algumas das soluções já apresentadas na tabela 1, adaptando-as ao território e às circunstâncias particulares que o mesmo possa evidenciar. A título de exemplo, sinalizamos o projeto “Ocupações compatíveis” no âmbito da gestão da rede secundária da FGC, com a introdução de espécies arbóreas e arbustivas agroflorestais e cuja gestão permite manter uma ocupação do solo que promova a biodiversidade, reduza riscos de erosão associados e simultaneamente crie valor associado no território, promovendo economias locais sustentadas na produção agroflorestal, sem comprometer a segurança das LE e o perigo de incêndio na FGC.

No âmbito da fiscalização associada ao cumprimento na legislação a respeito da gestão da vegetação nas FGC, existe uma proatividade significativa e que é sublinhada pela própria GNR, na deteção de casos de infração. Esta entidade tem desenvolvido esforços no empenho de recursos humanos e equipamento tecnológico que permita melhorar a eficiência e eficácia na deteção de casos em incumprimento.

Em 2018 o projeto “Previsão de Incidentes na Rede Nacional de Distribuição” viu concluída a fase de desenvolvimento e iniciada a fase de teste e validação. Iniciado em 2017 e desenvolvido em parceria com a empresa portuguesa *SmartWatt* (especializada no desenvolvimento de soluções de otimização para o sector energético), este projeto consiste na aplicação de algoritmos de *Machine Learning* para, com base em previsões meteorológicas, fornecer uma previsão do número esperado de incidentes na rede de alta e média tensão por área geográfica, com base no nível de risco associado. Os modelos desenvolvidos, baseados em várias fontes de informação, forneceram à E-REDES uma solução inovadora no apoio operacional à tomada de decisões, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade do serviço através da alocação otimizada de recursos no terreno.

A E-Redes lançou ainda o projeto E-Drone, que consiste na realização de inspeções aos ativos de rede com recurso a *drones* comerciais. O recurso a esta tecnologia permitiu efetuar a inspeção detalhada da rede e a visualização de todos os componentes do ativo, utilizando e adaptando soluções inovadoras para a inspeção dos seus ativos técnicos.

Em termos eletrotécnicos a E-Redes refere que a partir de 2020 são correlacionados geograficamente os disparos da rede elétrica com as coordenadas dos pontos de início das ignições da base de dados disponibilizada no website do ICNF. Na medida em que exista essa correlação e a mesma seja significativa, são enviadas equipas ao terreno para resolver a situação. Paralelamente, desde 2020 que a E-Redes tem um protocolo com o CeaseFire (<https://www.ceasefire.pt/>), do Instituto Dom Luiz (UL), em que *early warnings* de risco de incêndio permitem a tomada de decisão sobre a colocação em regime especial de exploração a rede elétrica nos locais de maior risco, mitigando o risco de ignição.

1.4 Conclusões

Dadas as consequências que podem resultar de incêndios rurais causados por linhas elétricas, e sendo esta uma problemática transversal a diversos países, investigação diversa tem sido desenvolvida nesta temática, procurando resultados que apoiem a implementação de medidas e sistemas que ajudem a prevenir e a mitigar as suas consequências. A investigação que tem sido desenvolvida nos últimos anos, enfatiza a complexidade do problema, reconhecendo que não existe uma solução ótima que possa ser aplicada em todos os contextos.

A abordagem proposta por Arab et al. (2021), considera três níveis de intervenção: 1) prevenção de incêndios, 2) mitigação do risco de incêndio e resposta ativa e, por último, 3) recuperação e prontidão (Figura 5). Esta abordagem engloba os diferentes métodos apresentados anteriormente, garantindo a existência de um sistema que não se baseia em apenas uma solução, mas em várias complementares, hierarquizadas e prontas a serem colocadas em ação, de forma sistémica ou paralela.



Figura 5: As três linhas de defesa para a gestão do risco de incêndio rural nas infraestruturas elétricas (Arab et al., 2021)

À semelhança da proposta de Arab et al. (2021), Vasquez (2022) ao realizar uma revisão bibliográfica das soluções utilizadas pelas diferentes empresas energéticas dos EUA, demonstra a evolução temporal da implementação das soluções, para a criação de um sistema mais resiliente e eficaz (Figura 6).

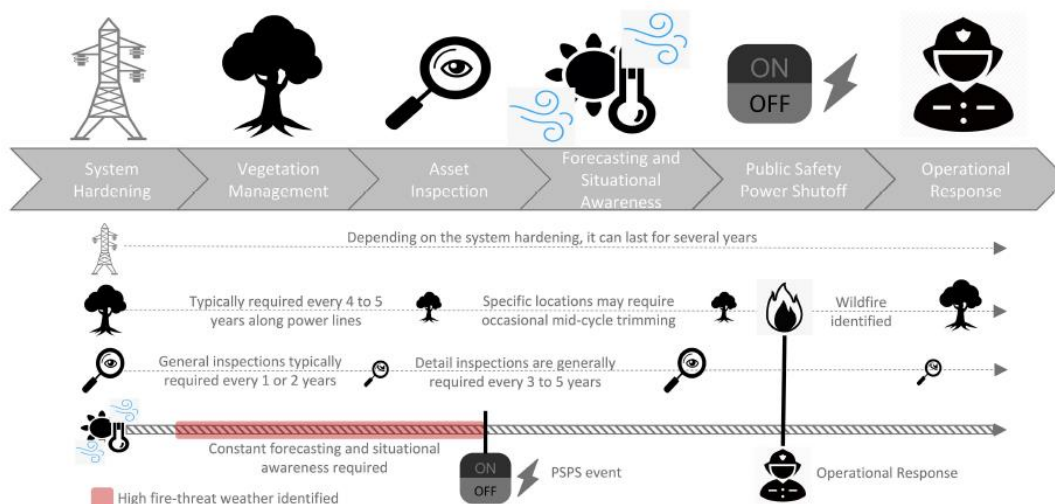


Figura 6: Diagrama temporal das principais metodologias WMPs. (Vasquez, 2022)

Subjacente à criação de um plano de mitigação de incêndio e implementação de qualquer estratégia de redução de risco de incêndio com causa nas linhas elétricas, pressupõe sempre a análise do *trade-off* custo/benefício desse processo. A criação de um plano adequado à realidade onde se inserem as linhas elétricas, deverá permitir a redução dos custos de implementação e monitorização, assim como, assegurar o menor impacto possível na vida e bem-estar das populações. Nesta matéria, Muhs et al. (2020), refere que existem diversos estudos a serem realizados para otimizar esta análise, como é o exemplo da utilização de programação linear em integrais mistos, permitindo a utilização de sistemas complementares em função de cenários definidos.

Por último, salienta-se o conjunto de boas práticas implementadas pelas concessionárias de transporte e distribuição de energia elétrica, convergindo para o que é praticado internacionalmente e, nalguns casos, promovendo investigação e iniciativas adicionais e adaptadas às situações mais específicas do território e realidade portuguesa, como sejam a inspeção regular das LE, suportada em voos LiDAR, em períodos menores do que os previstos na regulamentação; *Early Warnings* sobre risco de incêndio permitindo parametrizar as proteções da rede elétrica em conformidade; cruzamento entre as ignições reportadas no site da ANEPC e a alarmística da rede elétrica; e estrutura interna focalizada nos trabalhos de gestão de vegetação.

Parte 2: Evolução dos incêndios com causa 211 em Portugal

1.5 Incêndios rurais e área ardida

1.5.1 Evolução no tempo (2001-2022)

De acordo com a base de dados oficial de IRs disponível no website do ICNF, apurou-se que entre 2001 e 2022 registaram-se 475 461 ocorrências, tendo sido alvo de investigação cerca de 47,5% (225 826 ocorrências). A causa 211 (associada às linhas elétricas) foi atribuída a 3 195 ocorrências. Contudo, três destas ocorrências permanecem incorretamente classificadas na base de dados disponibilizada pelo ICNF, na medida em que investigações procedentes de processos judiciais apuraram a causa como sendo “Indeterminada”⁹. Deste modo, estas ignições foram excluídas da análise, contabilizando-se assim **3 192 ignições** com esta causa (média de 139 ignições anuais), correspondendo a **1,4%** das ocorrências investigadas, ocupando o 12º lugar num conjunto de 88 causas atribuídas às ocorrências registadas.

A esta causa está associada uma **área ardida de 38 670 ha**, representando **1,3%** do total de área ardida no continente em 23 anos (período em análise) e uma média anual de 1 681 ha. Se considerarmos apenas os incêndios investigados, a área queimada representa 1,4% do total de área ardida, maioritariamente em floresta (66%).

Na Figura 7 observa-se que existe um aumento significativo de IRs investigados a partir de 2006, sendo que antes deste período, o valor era de cerca de 10%. Face à tendência do aumento de ocorrências investigadas, também as ignições potencialmente com causa 211 foram alvo de investigação crescente. Podemos também verificar que o rácio entre os IRs 211 e os IRs investigados (Figura 8) mostra um aumento linear estatisticamente significativo ($p\text{-value}=0,000$; 95% de nível de confiança) ao longo do período em análise. Por cada ano adicional, estima-se que o rácio aumente 0.000847, ou seja, aproximadamente igual a zero) ao longo do tempo. Note-se que, apesar desta tendência crescente, o número absoluto de ocorrências com causa 211, quando comparado com as restantes causas, permanece muito baixo.

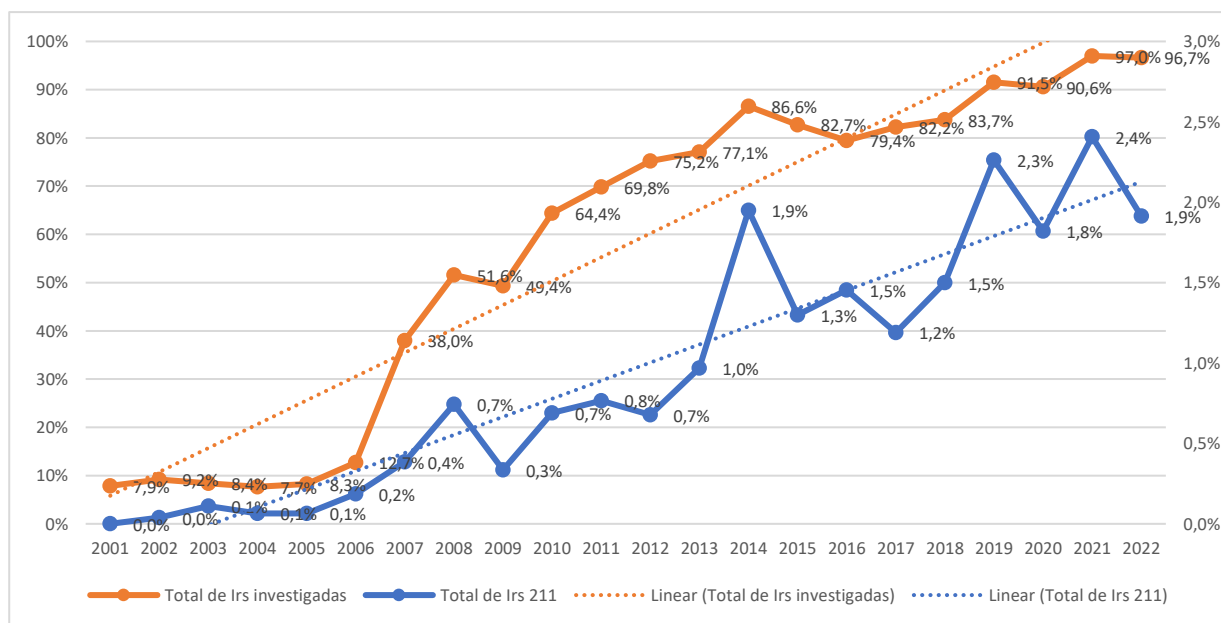


Figura 7: Evolução anual da percentagem dos IRs 211 comparativamente à percentagem de IRs investigados.

⁹ Informação cedida pela E-Redes.

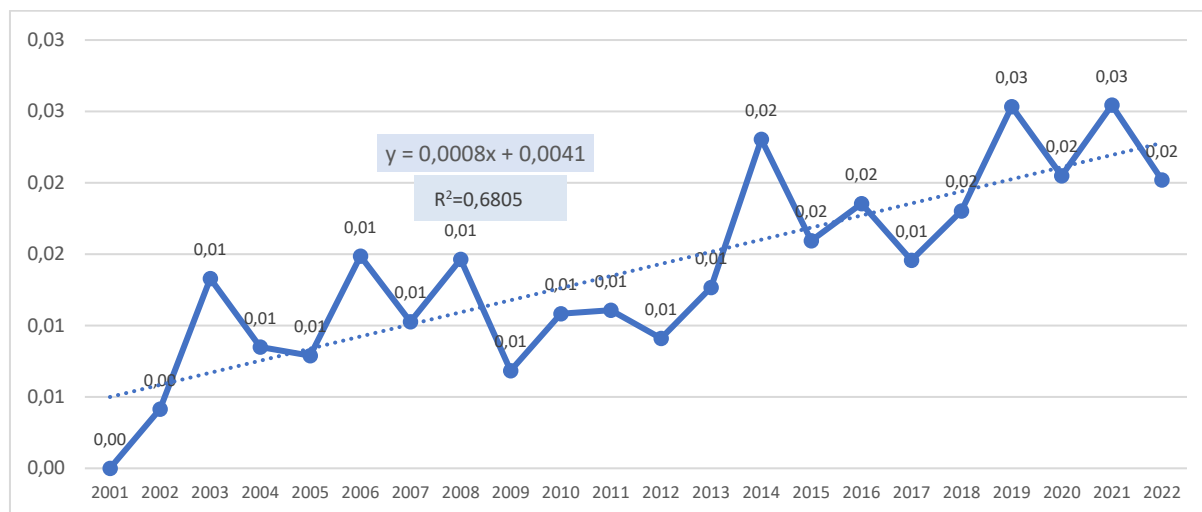


Figura 8: Evolução anual do rácio entre os IRs 211 e os restantes IRs investigados.

Por outro lado, a Figura 9 mostra a evolução da área ardida anual dos IRs com causa 211 comparativamente à área ardida dos IRs das restantes causas investigadas. Contrariamente à análise efetuada anteriormente, observa-se que a tendência da área ardida com causa 211 é praticamente nula. Deste modo, no período em análise, observa-se uma tendência crescente pouco significativa no número de ocorrências 211, mas que não se reflete num aumento de área ardida associadas à causa 211, comparativamente às restantes causas. Este aumento em termos relativos é totalmente consistente com a natureza da causa, por não resultar da ação humana.

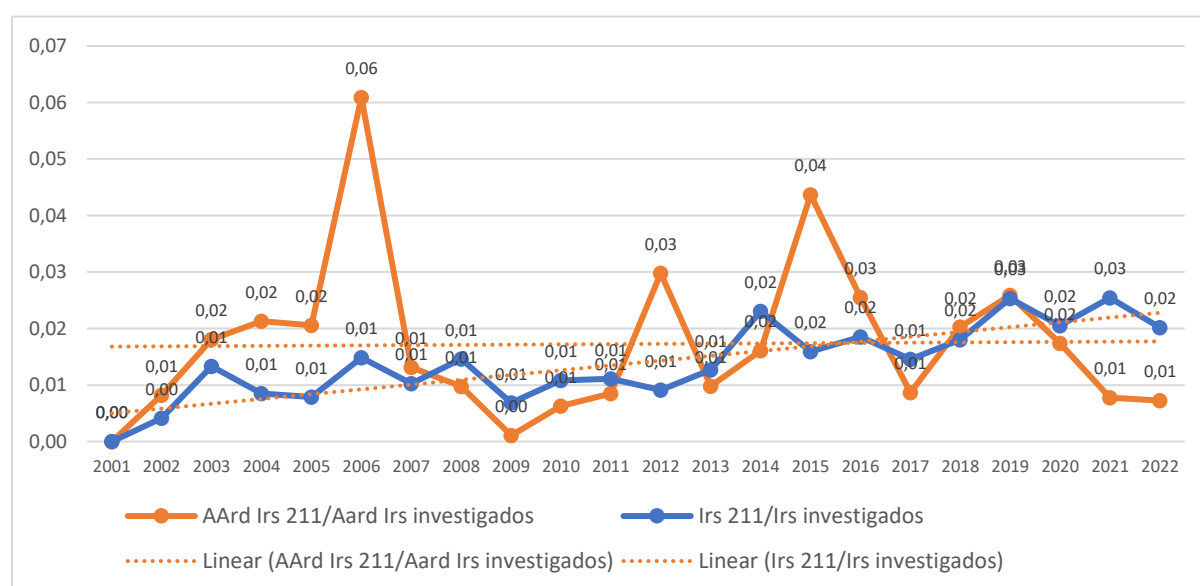


Figura 9: Evolução anual das percentagens de IRs com causa 211 e da Aard. comparativamente aos IRs investigados e à área ardida dessas ocorrências.

Outro registo importante neste período refere-se à distribuição dos IRs por classe de área ardida (Figura 10 e Tabela 2), onde é possível constatar que cerca de 80% das ocorrências apresentam área inferior a 1 ha e cerca de 1% originaram incêndios com área ardida superior a 100 ha. Paralelamente, observa-se que a área ardida com causa associada a ignições 211 apresenta um mínimo de 92 ha em 2009 e um máximo de 5 028 hectares em 2003, registando-se uma média de 12 ha ardidos por incêndio com aquela classificação.

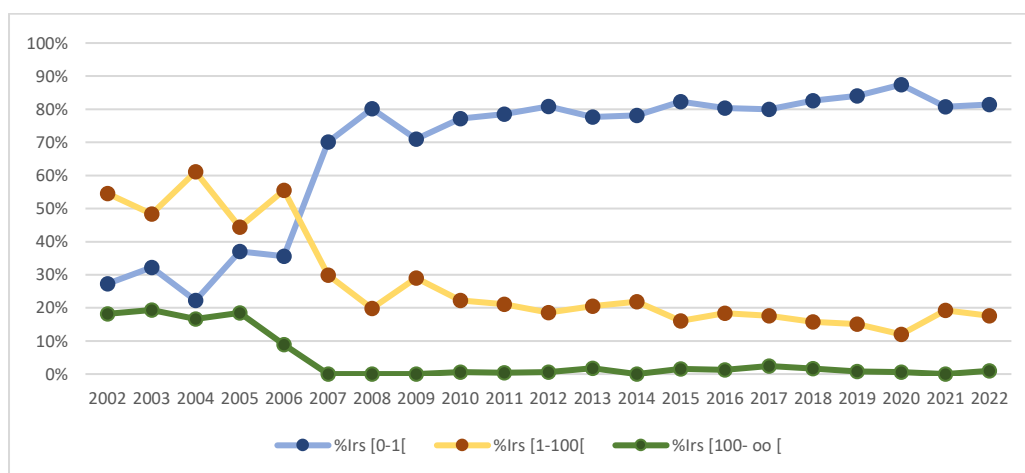


Figura 10: Evolução anual da percentagem de incêndios com causa 211 por classe de área ardida.

Tabela 2: Número anual (2001-2022) de Irs, AAT, área ardida média por incêndio e distribuição absoluta e percentual das ocorrências por classe de área ardida.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Irs (nº)	11	30	18	27	45	97	141	100	180	228	172
AAT (ha)	712,8	5028,3	2066,0	4086,5	3491,9	364,0	162,2	91,5	853,4	610,1	3355,2
AAT (ha)/Irs	64,8	162,2	114,8	151,4	77,6	3,8	1,2	0,9	4,7	2,7	19,5
Irs [0-1]	3	10	4	10	16	68	113	71	139	179	139
Irs [1-100]	6	15	11	12	25	29	28	29	40	48	32
Irs [100-oo]	2	6	3	5	4				1	1	1
%lrs [0-1]	27%	32%	22%	37%	36%	70%	80%	71%	77%	79%	81%
%lrs [1-100]	55%	48%	61%	44%	56%	30%	20%	29%	22%	21%	19%
%lrs [100-oo]	18%	19%	17%	19%	9%	0%	0%	0%	1%	0%	1%

Continuação Tabela 2

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total geral
Irs (nº)	224	183	255	234	248	183	245	175	197	199	3192
AAT (ha)	1693,5	359,4	2772,8	4267,5	4538,3	1009,6	1055,7	1141,3	217,9	792,5	38670,4
AAT (ha)/Irs	7,6	2,0	10,9	18,2	18,3	5,5	4,3	6,5	1,1	4,0	12,1
Irs [0-1]	174	143	210	188	200	152	206	153	159	162	2499
Irs [1-100]	46	40	41	43	44	29	37	21	38	35	649
Irs [100-oo]	4		4	3	4	2	2	1		2	45
%lrs [0-1]	78%	78%	82%	80%	81%	83%	84%	87%	81%	81%	78%
%lrs [1-100]	21%	22%	16%	18%	18%	16%	15%	12%	19%	18%	20%
%lrs [100-oo]	2%	0%	2%	1%	2%	2%	1%	1%	0%	1%	2%

Tendo-se observado a partir de 2006 um progressivo e significativo aumento das ocorrências investigadas (comparativamente ao período entre 2001 e 2006), foram desenvolvidas diligências junto do SEPNA da GNR e a PJ (entidades SGIFR com responsabilidade na investigação de causas de incêndios rurais e parceiras neste projeto) no sentido de obter um esclarecimento para esta tendência. Das entrevistas efetuadas a responsáveis destas entidades, apurou-se que:

- 1- O ano de 2006 representa o ano de transição do Corpo Nacional de Guardas Florestais (CNGF) para o SEPNA, com a consolidação institucional deste e a criação do Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro (GIPS) no âmbito orgânico da Guarda Nacional Republicana;
- 2- Esta mudança estrutural é acompanhada por um aumento significativo do número de incêndios rurais investigados;
- 3- Passa a existir uma necessidade premente de identificação das causas da maioria dos incêndios para, entre outras, conhecer melhor a realidade das causas inerentes e das medidas ou estratégias de mitigação a serem implementadas.

1.5.2 Distribuição no território

No que concerne à distribuição do número médio de ocorrências por distrito (Tabela 3), destaca-se Santarém (1º do *ranking*) com um elevado valor de IRs (em termos absolutos e médios), seguido Évora e Faro. Por outro lado, observa-se o reduzido número de ignições associado à causa 211 em distritos a norte, como Porto, Vila Real ou Viana do Castelo. A área ardida não encontra correspondência com o número de ocorrências, ou seja, Castelo Branco, Aveiro e Coimbra são os distritos mais afetados por incêndios com esta causa atribuída.

Tabela 3: Média de IRs e AArd entre 2001 e 2022 por distrito e respetiva ordenação

Distrito	Nº total de IRs	Média de IRs	Ordenação IRs	AArd Total	Média AArd	Ordenação AArd
Aveiro	78	3	13	5337,4	68,4	2
Beja	252	11	5	3986,4	15,8	4
Braga	41	2	15	124,7	3,0	15
Bragança	51	2	14	464,1	9,1	13
Castelo Branco	208	9	7	5364,3	25,8	1
Coimbra	171	7	8	4692,0	27,4	3
Évora	380	16	2	3522,8	9,3	6
Faro	370	16	3	421,2	1,1	14
Guarda	100	4	11	1594,2	15,9	9
Leiria	232	10	6	3046,2	13,1	7
Lisboa	88	4	12	83,7	1,0	16
Portalegre	276	12	4	1349,4	4,9	10
Porto	11	0	18	55,8	5,1	17
Santarém	580	25	1	2707,2	4,7	8
Setúbal	133	6	10	888,8	6,7	12
Viana do Castelo	29	1	16	18,1	0,6	18
Vila Real	28	1	17	1031,9	36,9	11
Viseu	165	7	9	3982,2	24,1	5
Total geral	3192	8		38670,4	12,1	

Considerando a análise ao nível da unidade territorial NUT III (CIM) (Tabela 4), observa-se que Alentejo Central, Algarve e Médio Tejo ocupam respetivamente as primeiras posições em termos de ocorrências, mas as Regiões de Aveiro, de Coimbra e Médio Tejo, foram onde se registaram os maiores valores de área ardida.

Tabela 4: Média de IRs e AArd entre 2001 e 2022 por CIM e respetiva ordenação

CIM	Nº total de IRs	Média de IRs	Ordenação IRs	AArd Total	Média AArd	Ordenação AArd
Alentejo Central	380	16	1	3522,8	9,3	5
Alentejo Litoral	154	7	9	1604,1	10,4	9
Algarve	370	16	2	421,2	1,1	15
Alto Alentejo	276	12	5	1349,4	4,9	12
Alto Minho	29	1	18	18,1	0,6	22
Alto Tâmega	11	0	23	9,5	0,9	23
Área Metropolitana de Lisboa	107	5	13	88,0	0,8	16
Área Metropolitana do Porto	17	1	20	61,2	3,6	18
Ave	14	1	22	43,3	3,1	20
Baixo Alentejo	186	8	8	3240,9	17,4	6
Beira Baixa	122	5	12	1433,4	11,7	11
Beiras e Serra da Estrela	133	6	11	1605,4	12,1	8
Cávado	24	1	19	23,4	1,0	21
Dão Lafões	135	6	10	3833,8	28,4	4
Douro	41	2	17	1032,2	25,2	13
Lezíria do Tejo	312	14	4	1725,2	5,5	10
Médio Tejo	324	14	3	4902,0	15,1	3
Oeste	50	2	14	70,2	1,4	17
Região de Aveiro	49	2	15	5157,1	105,2	1
Região de Coimbra	200	9	6	5014,4	25,1	2
Região de Leiria	197	9	7	2996,9	15,2	7
Tâmega e Sousa	16	1	21	59,9	3,7	19
Terras de Trás-os-Montes	46	2	16	457,9	10,0	14
Total	3192	8		38670,4	12,1	

Na Figura 11 é possível perceber a distribuição espacial das ignições no país, a sua densidade e a área ardida associada, onde são perceptíveis as diferenças referidas anteriormente ao nível do território.

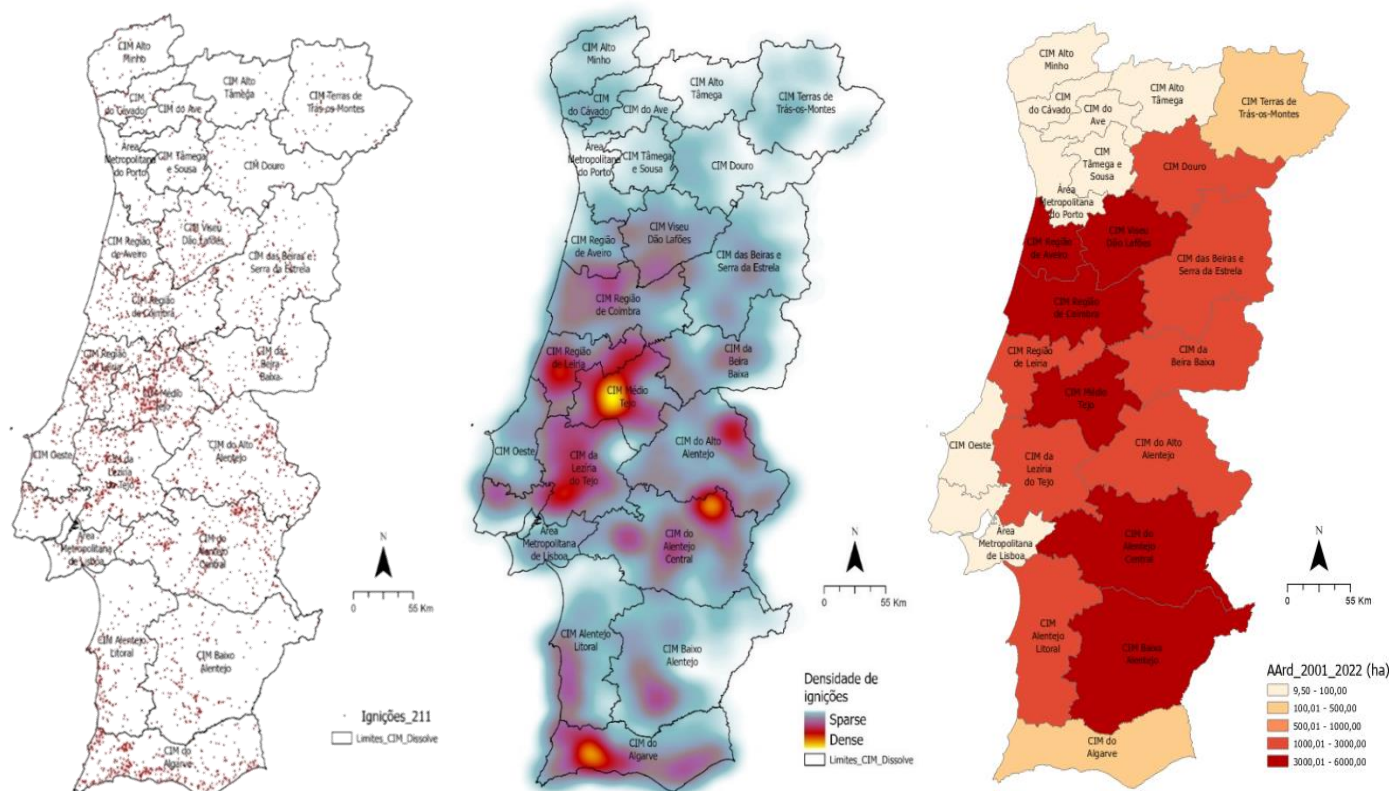


Figura 11: Distribuição espacial (CIM) das ignições e da área ardida das ocorrências classificadas com causa 211

1.5.3 Distribuição por fonte de alerta

As fontes de alerta mais proeminentes neste género de ocorrências (Figura 12) são os “populares”, o “112” e o “117”, sendo indicadores, por um lado, do estado de alerta da população e, por outro, da distribuição destas ocorrências em zonas com maior densidade populacional.

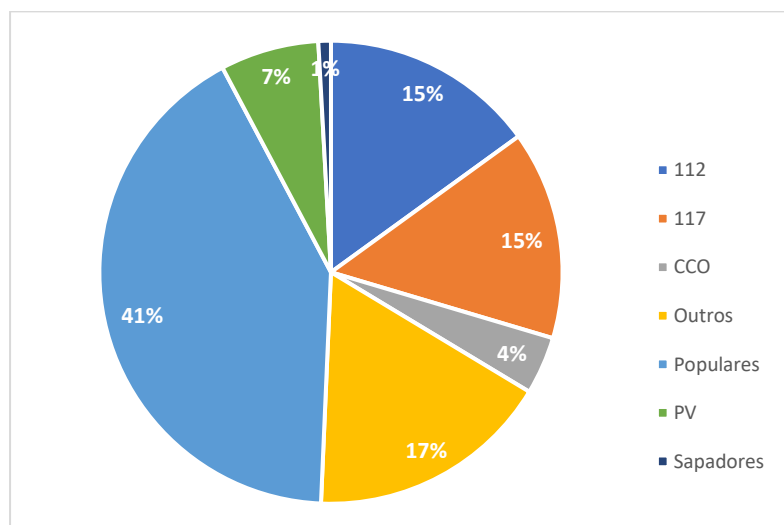


Figura 12: Percentagem de IRs com causa 211 por fonte de alerta

1.5.4 Distribuição por classe FWI¹⁰

Os intervalos usados para definir as classes relativas ao Índice Meteorológico de Incêndio (Fire Weather Index -FWI) foram os empregues pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) que por sua vez se orienta pelos limites estabelecidos em Palheiro et al. (2006), com subdivisão posterior da classe extrema pelo IPMA seguindo a recomendação da CTI (2018) (Anexo 1).

O número de ocorrências com causa 211 atinge o seu máximo na classe de FWI Muito Elevado. Esta e a classe FWI seguinte (perigo Máximo), comportam a maioria das ocorrências classificadas com esta causa (Figura 13). Os anos mais críticos são 2015 (255 ocorrências) e 2017 (248 ocorrências) (Anexo 2). No que concerne à área ardida a realidade é semelhante, sendo que os anos que mais contribuíram para estes registos foram os de 2003 (5028 ha) e 2017 (4538 ha) (Anexo 3).

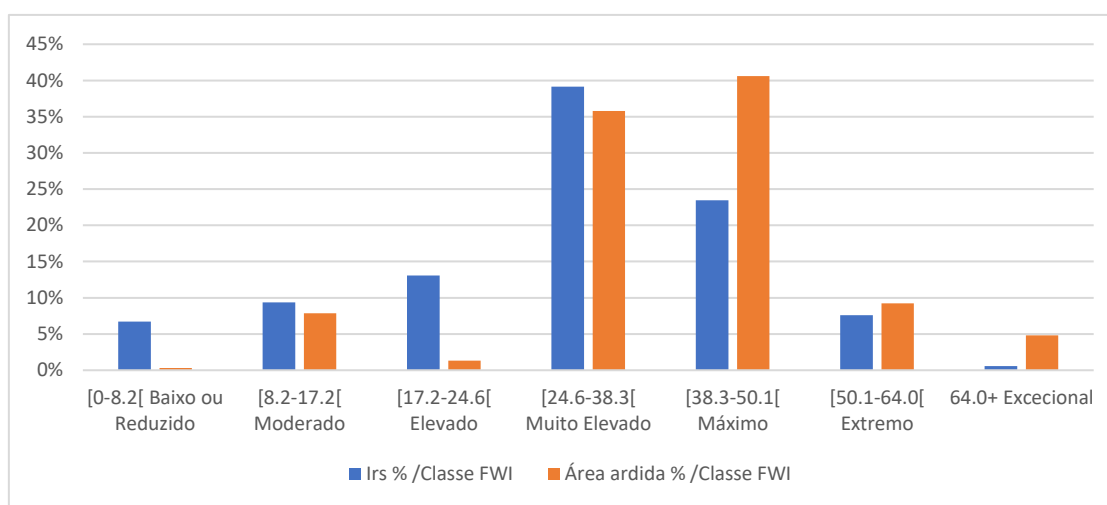


Figura 13: IRs e AArd por classe FWI

Adicionalmente, calculou-se a percentagem de IRs com causa 211 no total de dias em que cada uma das classes FWI ocorreu, tendo-se observado que é na classe de perigo Extremo que esta percentagem é maior (3,3%) seguida das classes de perigo Excepcional (2,5%) e Máximo (2,0%).

Em termos geográficos observa-se que o maior número de ocorrências e de área ardida, na maioria dos distritos, regista-se nas classes FWI Muito Elevado e Máximo. Relativamente às ignições, 39% das mesmas ocorrem na classe de perigo Máximo, contribuindo principalmente os distritos de Santarém, Évora e Faro para esta realidade. No que concerne à área total queimada, 41% da mesma insere-se na classe de perigo Máximo, contribuindo para tal, sobretudo, os distritos de Castelo Branco, Aveiro e Coimbra (Anexos 4 e 5).

Ao nível da NUT III (CIM), verifica-se que é igualmente nas classes de perigo Muito Elevado e Máximo onde existe o maior número de ocorrências. Para esta realidade contribuem sobretudo as CIM do Alentejo Central, do Algarve e do Médio Tejo. Em termos de área ardida são as CIM da Região de Aveiro, de Coimbra e Médio Tejo que mais contribuem para a área ardida nestas classes (Anexos 6 e 7).

1.5.5 Incêndios por classe de área ardida

Relativamente à distribuição dos IRs por classes de área ardida, observa-se que a totalidade dos distritos e CIMs apresenta ocorrências que, na sua maioria, originam áreas ardidas inferiores a 1 ha, com particular destaque para os distritos de Porto, Viseu e Faro e para as CIM Dão Lafões, Médio Tejo e Algarve (Figuras 14 e 15).

¹⁰ A classificação do perigo meteorológico diário de incêndio assenta no índice FWI, calculado para o ponto de início de cada ocorrência a partir dos dados meteorológicos das 12 UTC (dados de reanálise do EMCWF).

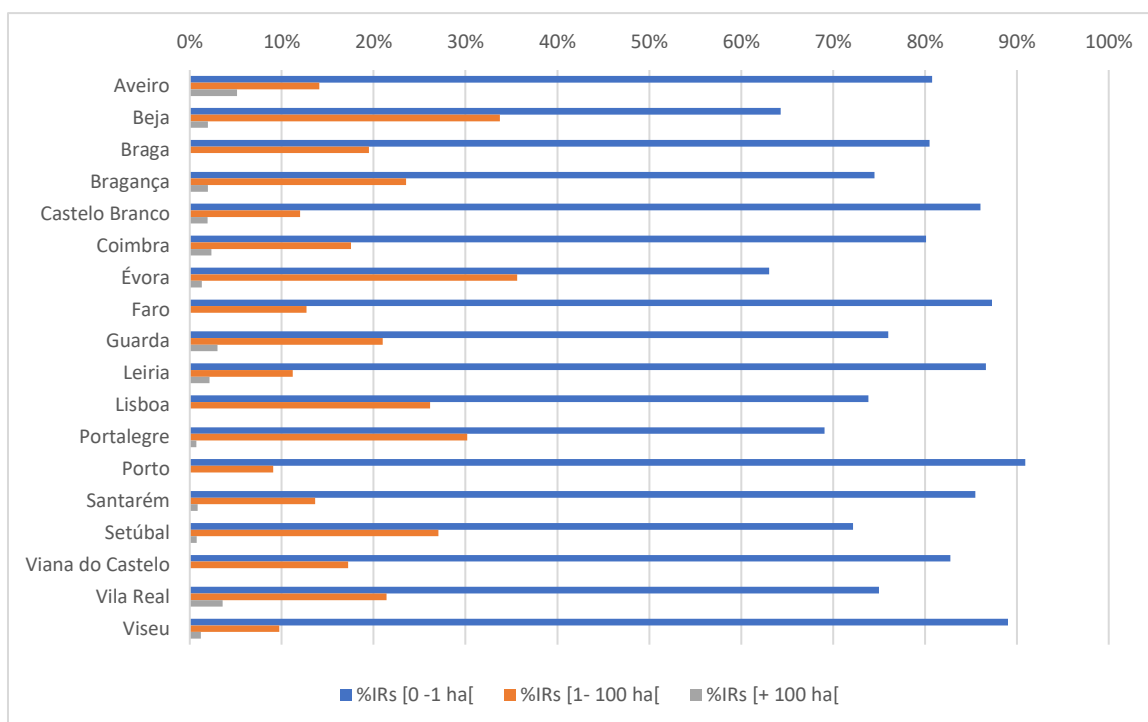


Figura 14: Percentagem de IRs por classe de Aard e por distrito.

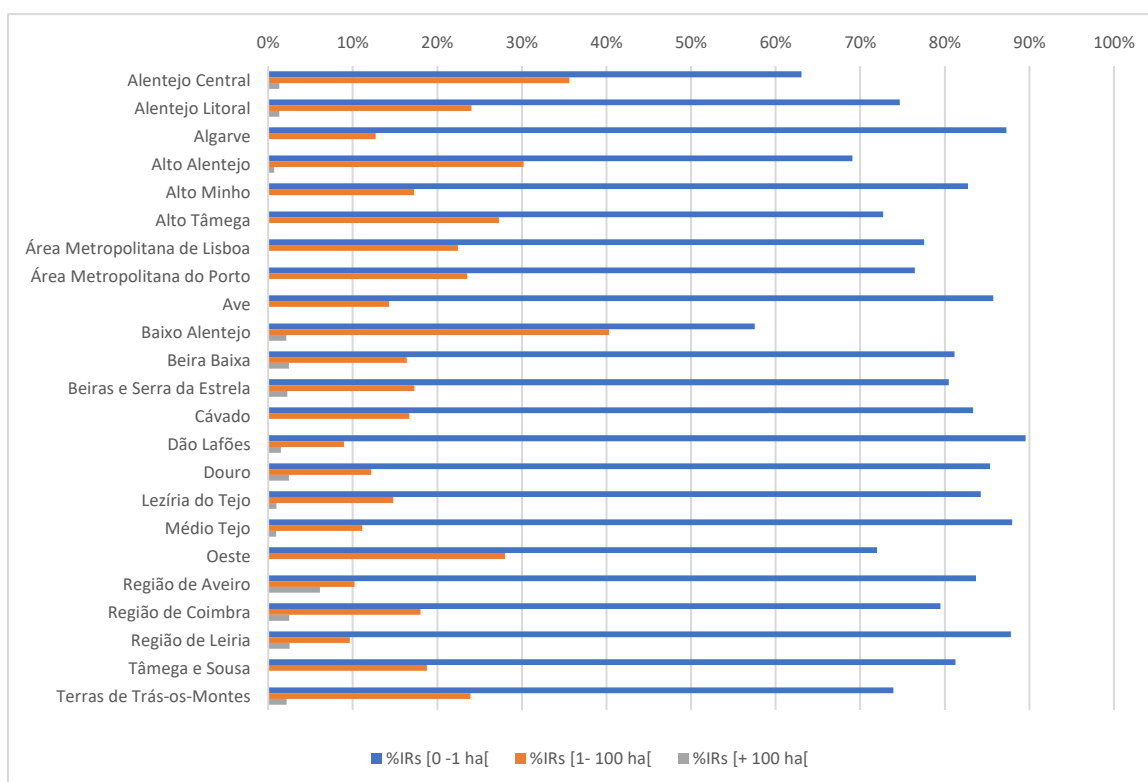


Figura 15: Percentagem de IRs por classe de Aard. e por CIM.

1.5.6 Relação das ocorrências e da área ardida com outras variáveis

Tal como estava previsto, a análise das ocorrências classificadas com causa 211, contemplou outras

variáveis importantes nesta matéria. Para além de variáveis meteorológicas (como a temperatura, a humidade relativa e a intensidade do vento), foram consideradas variáveis topográficas (altitude média, declive médio, ocupação do solo e exposição) e uma análise horária das mesmas.

As Figuras 16, 17 e 18 traduzem a distribuição destes incêndios em função das variáveis analisadas. Por um lado, observa-se que é entre os 20°C e os 30°C que se regista a maior frequência de ocorrências. A maior percentagem de área ardida reflete-se igualmente neste intervalo e com igual significância em temperaturas acima de 35°C.

É nas classes mais baixas de humidade relativa [20 a 40[que se regista a maior área ardida, ficando a classe [40 a 60[com o maior número de ocorrências. Relativamente à intensidade do vento, o maior número de ocorrências tem lugar quando este é fraco (até 15 km/h) e a maior área ardida quando a velocidade do vento supera os 25 km/h.

Relativamente às variáveis topográficas consideradas, observa-se que as ocorrências têm lugar, maioritariamente, a cotas superiores a 300 metros de altitude média (85% das ocorrências), intervalo a partir do qual também se regista maior área ardida. Já o declive apresenta maior número de ocorrências em valores superiores inferiores a 5º e maior área ardida em declives superiores a 30º. Finalmente, no que respeita à ocupação de solo, apesar da maior frequência de ocorrências em áreas agrícolas, é em áreas de povoamentos florestais de pinheiro-bravo e eucalipto que a área queimada é maior.

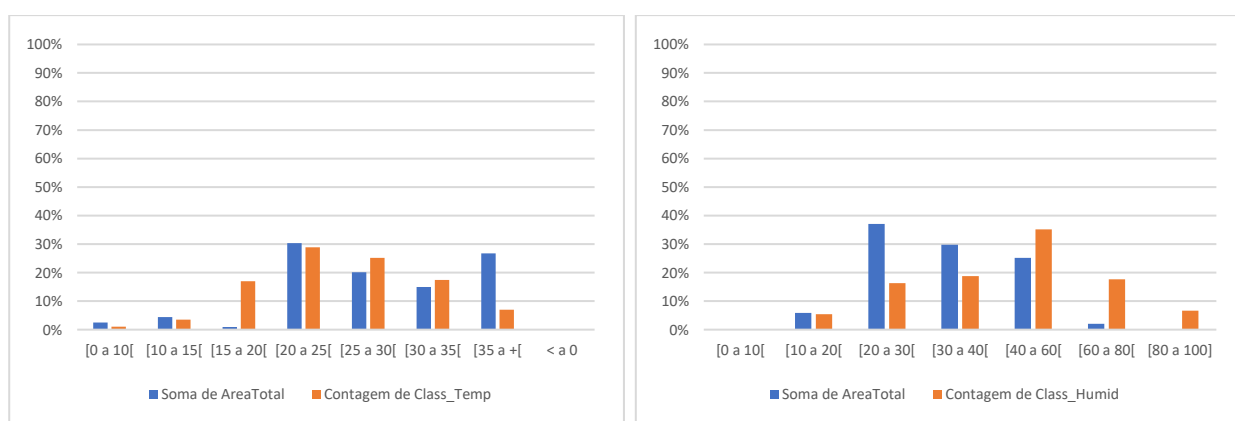


Figura 16: IRs e AArd por classe de temperatura (esquerda) e por classe de humidade relativa (direita)

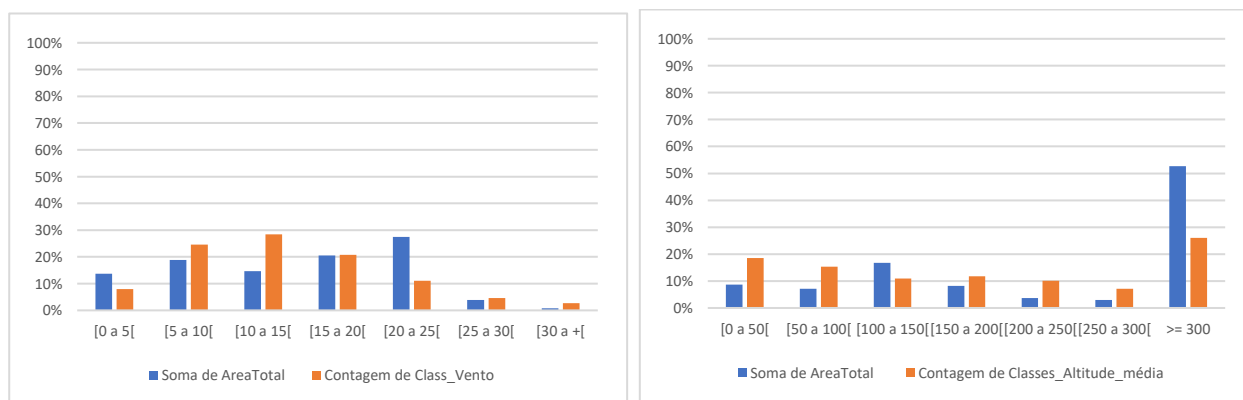


Figura 17: IRs e AArd por classe de intensidade do vento (esquerda) e por classe de altitude média (direita)

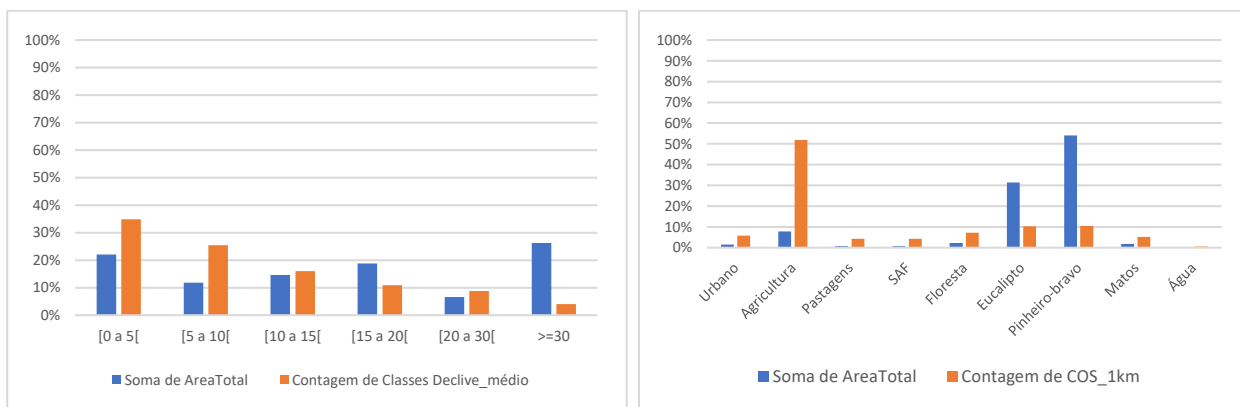


Figura 18: IRs e AARD por classe de declive médio (esquerda) e por classe de ocupação de solo (direita)

A distribuição mensal e horária das ocorrências 211 mostra que cerca de 55% das ocorrências têm lugar nos meses de julho e agosto e 45% das mesmas ocorre entre as 14h e as 18h, observando-se um decréscimo a partir das 15h00 e um crescimento a partir das 05h00 (Figura 18a).

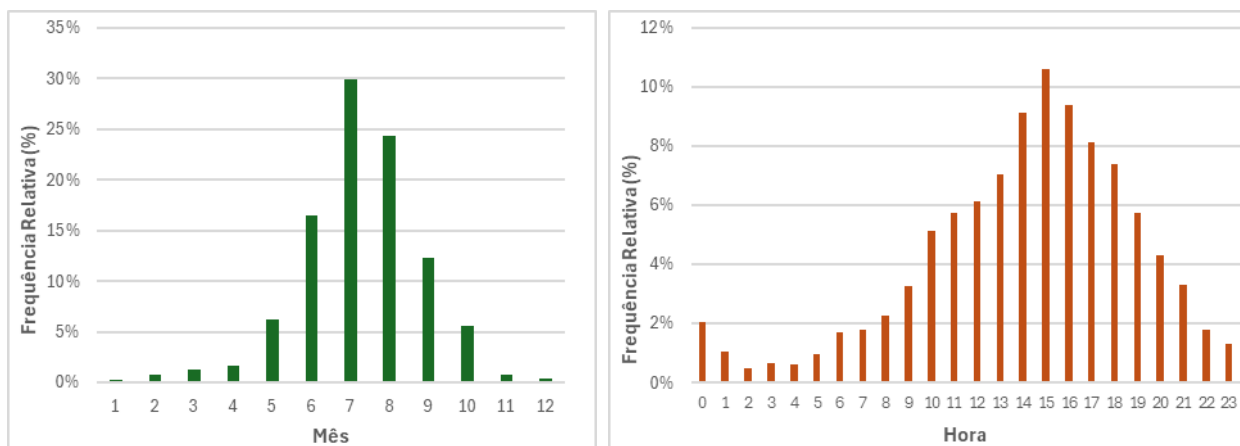


Figura 18a: Distribuição mensal (esquerda) e horária (direita) dos IRs com causa 211

No que concerne à distribuição da exposição das ignições observamos uma considerável heterogeneidade nos diversos quadrantes (Figura 18b).



Figura 18b: Distribuição IRs 211 pelos diferentes quadrantes de exposições

1.6 Incêndios rurais por nível de tensão da rede elétrica

Um dos propósitos deste trabalho consistiu em diferenciar as ocorrências com causa 211 por nível de tensão da rede elétrica, como forma de apontar estratégias e orientações para mitigação futura de incêndios associados às diferentes tipologias de linha elétrica. Isto porque esta diferenciação não se encontra disponível na base de dados das ocorrências. Para tal, estabeleceu-se uma metodologia de interseção entre a coordenada atribuída à ocorrência¹¹ e um *buffer* de 50 metros nas linhas elétricas de MAT, de 25 metros nas de AT e de 15 metros nas de MT¹², considerando a cartografia diferenciada por nível de tensão, fornecida pelas concessionárias.

De acordo com o n.º 3 do Artigo 28 do Decreto-Regulamentar 1/92 de 18 de fevereiro, o qual estabelece o regulamento de segurança das linhas elétricas, com vista a garantir a segurança de exploração das linhas de MAT, a zona de proteção (faixa de servidão) deve ter uma largura mínima de 45 metros, limitada por duas retas paralelas distanciadas 22,5 metros do eixo do traçado, onde se pode cortar ou decotar as árvores necessárias para garantir a distância mínima de segurança. Para as linhas de AT e de MT a largura mínima é de 25 metros e 15 metros, respetivamente. Por outro lado, o Decreto-lei nº 82/2021 de 13 de outubro estabelece nos pontos i), ii) e iii) da alínea c) do nº. 4 do Artigo 49º, os deveres de gestão das entidades responsáveis pelas infraestruturas das redes de transporte e distribuição de energia elétrica, nas faixas de gestão de combustível (FGC) da Rede Secundária de FGC¹³.

Este exercício, para além de permitir identificar a sobreposição espacial das ocorrências nos corredores das linhas elétricas associadas à REN ou à E-Redes, possibilitou igualmente identificação das ocorrências que intersejam simultaneamente a rede de transporte e de distribuição de energia, e ainda aquelas que não intersejam nenhum dos corredores, mas que foram classificadas com causa 211 na base de dados do ICNF.

Da análise da Tabela 5 é possível observar que a grande maioria das ocorrências (89% equivalente a 2849 incêndios rurais) classificadas com a causa 211, posiciona-se fora dos *buffers* criados, ou seja, fora das zonas de proteção/servidão das linhas elétricas. Por outro lado, das interseções identificadas, cerca de 10% recaem sob as infraestruturas da E-Redes, a maioria das quais sob as infraestruturas de MT, e apenas 1% na MAT da REN. Em termos de área queimada, a maioria encontra-se igualmente associada à classe “Nenhuma”, ou seja, fora das zonas de proteção/servidão das linhas elétricas analisadas.

¹¹ Apesar da incerteza das coordenadas associadas aos pontos de ignição que são disponibilizadas pela base de dados das ignições do ICNF, esta é única informação oficial disponível para ser usada numa análise deste género.

¹² A base de dados cartográfica da MAT, AT e MT foi a única à qual se teve acesso e fornecida pelas concessionárias, tendo a E-Redes informado que não possui o cadastro da rede aérea de BT que abrange mais de 110 000 km no território português.

¹³ Nas redes de transporte e distribuição de energia elétrica e de transporte de gás e de produtos petrolíferos:

i) No caso de linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão e em alta tensão, a gestão do combustível numa faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados;

ii) No caso de linhas de distribuição de energia elétrica em média tensão, a gestão de combustível numa faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 7 m para cada um dos lados;

iii) No caso de linhas de distribuição de energia elétrica em baixa tensão, com cabos condutores sem isolamento elétrico, a gestão de combustível numa faixa de largura não inferior a 3 m para cada um dos lados da projeção vertical do cabo condutor.

Tabela 5: Distribuição de IRs e AArD por nível de tensão das linhas elétricas

Zona de Interseção	Nível de tensão						
	IRs (nº)						
	150 kV	220 kV	400 kV	Alta Tensão (AT)	Média Tensão (MT)	Total	% do total
REN	8	7	5	---	---	20	1%
E-REDES	---	---	---	46	273	323	10%
REN e E-REDES	---	1	---	---	*	1	0%
Nenhuma	---	---	---	---	---	2849	89%
Zona de Interseção	AArd (ha)						
	150 kV	220 kV	400 kV	Alta Tensão (AT)	Média Tensão (MT)	Total	% do total
	150 kV	220 kV	400 kV	Alta Tensão (AT)	Média Tensão (MT)	Total	% do total
REN	7,4	0,6	2,8	---	---	11	0,03%
E-REDES	---	---	---	37,7	373,8	412	1,08%
REN e E-REDES	---	0,1	---	---	---	0,1	0,00%
Nenhuma	---	---	---	---	---	38243,0	98,90%

* A ocorrência que teve lugar no nível de tensão da REN indicado, foi simultaneamente identificada na MT da E-REDES.

1.6.1 Análise de incerteza

O processo de georreferenciação dos pontos de início dos IRs foi evoluindo ao longo do tempo, desde o registo do centro da freguesia, passando pela atribuição da coordenada da toponímia mais próxima, até à utilização mais recente e gradualmente alargada a todo o território, da tecnologia SIRESP (fase de adaptação em 2013 e 2014, a considerar em curso a partir de 2015). Por outro lado, tal como foi referido anteriormente, a diferenciação das ocorrências por nível de tensão ficou condicionada pela falta de cadastro de linhas elétricas de BT. Tendo em conta esta realidade, e uma vez que existem dois períodos distintos quanto ao método utilizado para a georreferenciação das ocorrências, procedeu-se a uma análise de incerteza e de erro associado à distância entre a localização das ignições e os corredores de gestão de combustíveis das linhas elétricas. Deste modo, pretende-se apurar se a metodologia adotada após 2014 se traduz numa menor incerteza e numa potencial diminuição do erro associado à posição das ocorrências. Na análise estatística da variável distância das ignições aos corredores das linhas elétricas, compararam-se os seguintes períodos: 2001-2014 e 2015-2023. Por uma questão de robustez estatística acrescentou-se à base de dados das ocorrências os registos relativos ao ano de 2023.

Na Figura 18c, apresenta-se a distribuição anual das ocorrências que permite verificar a existência de uma tendência decrescente da distância das ocorrências às linhas elétricas, e uma grande dispersão anual dos dados. Observou-se ainda a existência de um número considerável de *outliers* e observações extremas.

A **incerteza** é considerada, de uma forma muito simples, como o desvio padrão da distância das ocorrências com causa 211 às FGC das linhas elétricas para os dois períodos temporais considerados. É importante referir que a incerteza é uma estimativa da variação possível em torno do valor médio, e não uma medida do erro de localização.

$$incerteza(u) = \sqrt{\frac{(X_i - \mu)^2}{n * (n - 1)}}$$

Deste modo, a incerteza na localização das ignições é avaliada através da dispersão das ignições em torno da distância média aos corredores das linhas elétricas. Na comparação dos dois períodos em análise espera-se que os desvios relativamente à média diminuam em resposta aos novos procedimentos adotados, ou seja, uma menor dispersão das ocorrências.

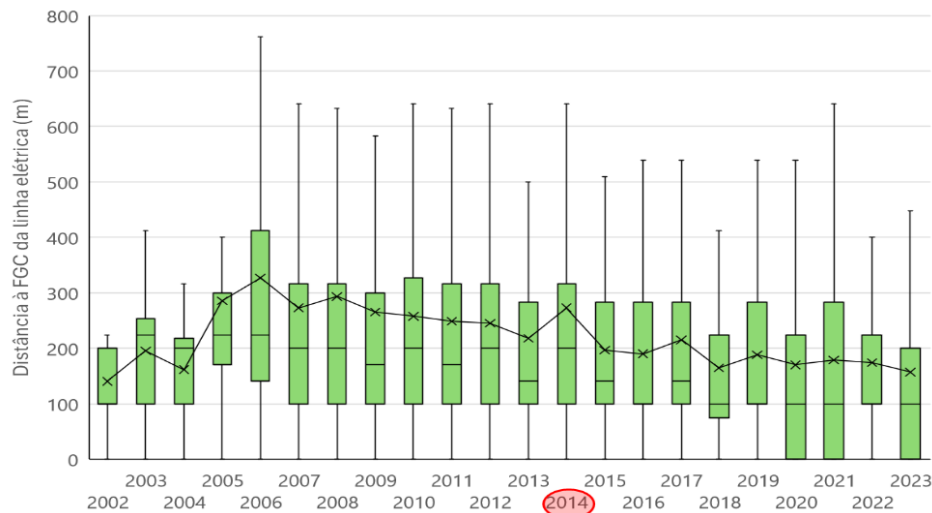


Figura 18c: Distribuição anual da distância das ignições com causa 211 às FGC das linhas elétricas. Nos *boxplots* não estão representados os *outliers*. O ano de 2014 separa os dois intervalos de tempo. A linha que une os *boxplots* representa a média anual que apresenta uma tendência decrescente.

Considera-se nesta abordagem o **erro** como sendo dado pela diferença entre a distância da ocorrência à FGC da rede elétrica e o que deveria ser a localização dessa ignição (dentro da FGC, logo com uma distância igual a zero), assumindo que existe idoneidade na atribuição da causa como tendo origem na rede elétrica.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(X_i - 0)^2}{n}}$$

Como já referido, o facto de não existir uma cartografia da rede de BT é uma limitação na análise dos dados, uma vez que a variável distância aos corredores das linhas elétricas pode potencialmente ser afetada com a introdução dessa cartografia, e consequentemente as estimativas da incerteza e do erro.

A análise estatística dividiu-se assim em quatro partes para os dois períodos em comparação: 1) verificação de pressupostos; 2) comparação da média das distâncias entre as ignições e os corredores das linhas elétricas; 3) estimativa da incerteza; e 4) estimativa do erro. A verificação dos pressupostos é determinante no tipo de teste estatístico usado para a comparação de médias das distâncias nos dois períodos.

A verificação foi feita analisando a existência de *outliers*, testando a normalidade das distribuições (Shapiro-Wilk), e testando a homogeneidade das variâncias (Levene). Para além da existência de *outliers* (7%), as distribuições relativas à variável nos dois períodos analisados não seguem uma distribuição normal, nem se pode assumir a homogeneidade das variâncias. Como tal, para comparação da localização das ocorrências usou-se o teste não paramétrico Wilcoxon, tendo o resultado do teste sido que as distribuições no que diz respeito ao parâmetro de localização diferem estatisticamente, ou seja, existem diferenças entre as médias das distâncias das ignições aos corredores entre os dois períodos considerados.

Relativamente à análise da incerteza e do erro, os resultados apresentam-se na Tabela 5a, verificando-se que:

- quando são comparados os dois períodos em análise, existe um decréscimo na média da distância às linhas elétricas que é estatisticamente significativo;
- a incerteza em torno da distância média (ou seja, a variabilidade da posição das ocorrências face à média das distâncias aos corredores das linhas) diminuiu, assim como o erro no segundo período em análise (2015-2023), ou seja, as localizações estão mais perto das FGC. O decréscimo do RMSE é de cerca de 28%.

Deve ser reforçado que esta análise é condicionada pelos dois problemas distintos que consistem: 1) a atribuição da causa 211 deve ser fundamentada, particularmente entre diferentes fatores, aquele que diz respeito a que nível de tensão da linha elétrica a ocorrência classificada como 211 está associada; e 2) uma melhor aferição da qualidade dos resultados através da cartografia da BT. Os resultados sugerem que informação adicional deverá ser explorada no futuro no sentido de apurar a razão das causas 211 estarem a ser atribuídas mais perto das linhas elétricas no segundo período em análise.

Tabela 5a: Resultados estatísticos para os dois períodos em análise

	Média Dist (m)	N Dist	StdDev Dist (m)	Incerteza (m)	RMSE
2001 - 2014	255	1457	270	144	390 (m)
2015 - 2023	184	1920	213	69	281 (m)
TOTAL	215	3377	242		

1.6.2 Evolução no tempo (2001-2022)

Se entre 2002 e 2012 o comportamento das ignições nos diferentes níveis de tensão era muito uniforme, a partir de 2012 verifica-se um maior número de oscilações anuais em todos os níveis de tensão, sendo que é na MAT e AT que se observam a maior frequência de ocorrências (Figura 19 e Tabela 6). A este facto não será alheio o aumento de elementos do SEPNA com formação para investigação das causas dos incêndios cuja capacitação permite aferir melhor a tipologia de níveis de tensão presentes na zona de início da ocorrência (informação cedida pelo ICNF).

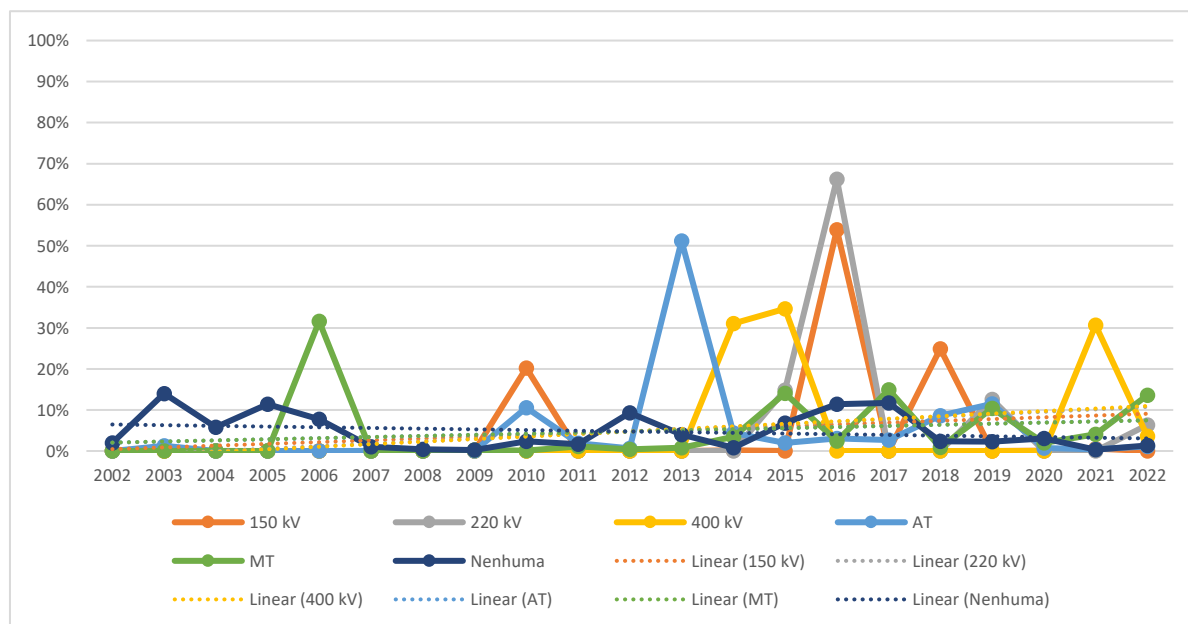


Figura 19: Evolução anual dos IRs por nível de tensão da linha elétrica

Tabela 6: Evolução dos IRs e Aard por nível de tensão das linhas elétricas

Tensão LE	150 kV		220 kV		400 kV		AT		MT		Nenhuma		Total	
Ano	IRs	Aard	IRs	Aard	IRs	Aard	IRs	Aard	IRs	Aard	IRs	Aard	IRs	Aard
2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	2%
2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	14%	1%	13%
2004	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	6%	1%	5%
2005	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	11%	1%	11%
2006	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	32%	2%	8%	1%	9%
2007	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	4%	1%	3%	1%
2008	0%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	5%	0%	4%	0%
2009	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	2%	0%	4%	0%	3%	0%
2010	13%	20%	0%	0%	0%	0%	3%	11%	1%	0%	7%	2%	6%	2%
2011	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	2%	2%	1%	8%	2%	7%	2%
2012	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	1%	4%	0%	6%	9%	5%	9%
2013	0%	0%	0%	0%	20%	0%	11%	51%	6%	1%	7%	4%	7%	4%
2014	13%	0%	0%	0%	20%	31%	5%	4%	5%	3%	6%	1%	6%	1%
2015	0%	0%	29%	15%	20%	35%	9%	2%	10%	14%	7%	7%	8%	7%
2016	13%	54%	29%	66%	0%	0%	8%	3%	10%	2%	7%	11%	7%	11%
2017	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	3%	11%	15%	7%	12%	8%	12%
2018	25%	25%	0%	0%	0%	0%	8%	9%	8%	1%	5%	2%	6%	2%
2019	0%	0%	14%	13%	0%	0%	11%	12%	11%	10%	7%	2%	8%	3%
2020	13%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	1%	9%	2%	5%	3%	5%	3%
2021	13%	1%	0%	0%	20%	31%	7%	0%	11%	4%	5%	0%	6%	1%
2022	13%	0%	14%	6%	20%	4%	5%	1%	9%	14%	5%	1%	6%	2%
Total Geral	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Relativamente à distribuição dos IRs e Aard por classe de área ardida, observa-se que à medida que o nível de tensão da LE vai reduzindo, aumenta o respetivo contributo das mesmas para o aumento de área ardida nas diferentes classes de área ardida. Neste contexto, para além do contributo das ocorrências na categoria “Nenhuma” para a elevada percentagem de incêndios e área ardida, é de salientar o nível de tensão MT (150 kV) (Tabela 7).

Tabela 7: IRs por nível de tensão das linhas elétricas e por classe de Aard

	[0-1 ha]	[1-100 ha]	>=100 ha	Total
Nível de tensão	IRs	IRs	IRs	IRs
150 kV	0%	0%	0%	0%
220 kV	0%	0%	0%	0%
400 kV	0%	0%	0%	0%
AT	2%	2%	0%	2%
MT	21%	14%	15%	19%
Nenhuma	76%	84%	85%	78%
Total Geral	100%	100%	100%	100%

No período considerado para este estudo, observa-se que, até 2011, as ocorrências com causa atribuída às linhas elétricas e que se encontram dentro dos *buffers* (zonas de proteção), mantêm-se abaixo dos 2% (ou das 5 registadas em 2007). A partir de 2010 os valores crescem de forma acentuada, duplicando em 2011 comparativamente ao ano anterior e quadruplicando em 2012 e 2013, para em 2016 ser quase 14 vezes superior ao registado em 2010. A partir de 2017 as ocorrências com esta causalidade não desceram para além das 28 ocorrências anuais (Figuras 20 e 21). Estas ocorrências contabilizam uma área ardida total de 422 ha no período analisado. Os anos 2014 e 2019 são os únicos que registam valores de área ardida que se situam acima

da respetiva percentagem de ocorrências.

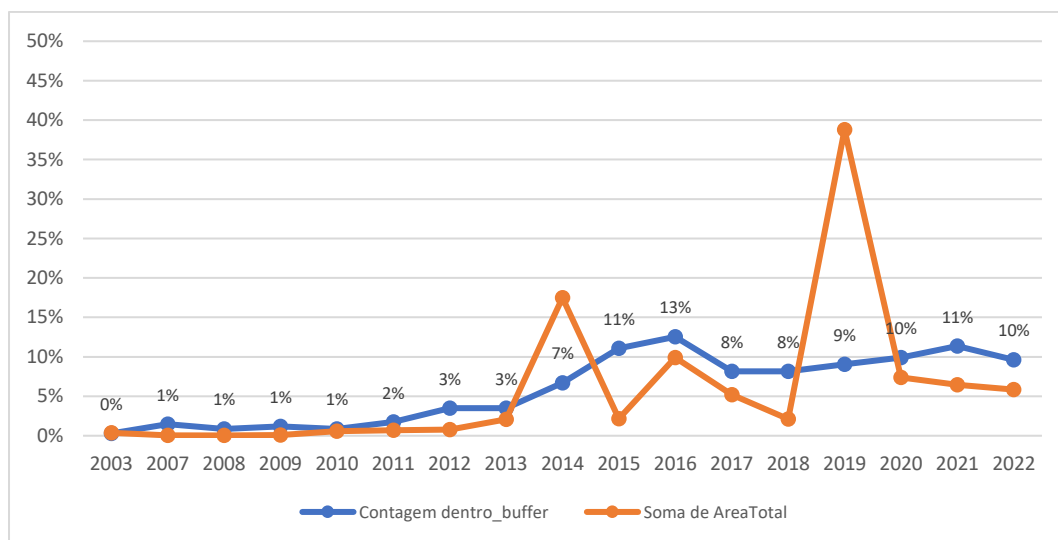


Figura 20: Distribuição anual do IRs e da AArD por ocorrências com causa atribuída às linhas elétricas dentro dos *buffers*.

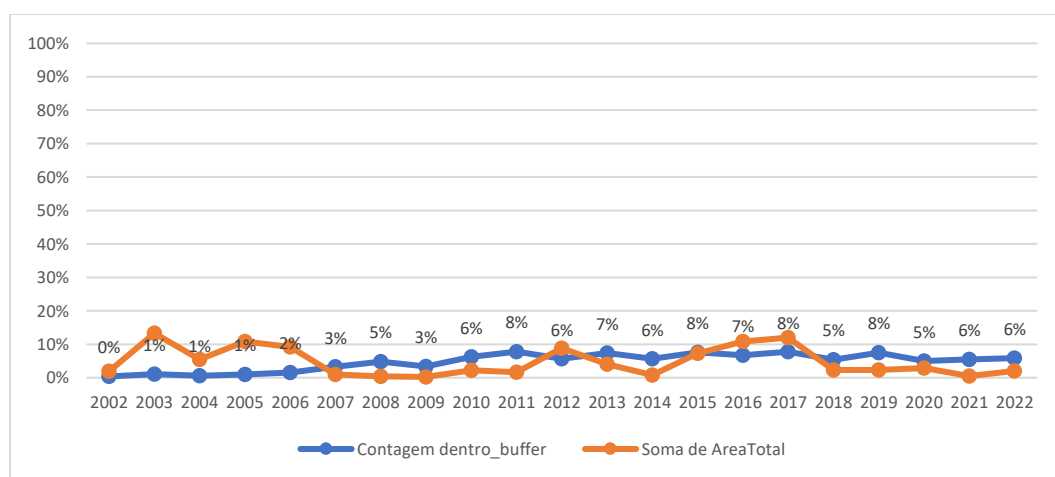


Figura 21: Distribuição anual dos IRs e da AArD por ocorrências com causa atribuída às linhas elétricas fora dos *buffers*.

1.6.3 Distribuição no território

Embora não se observe um padrão nítido de distribuição das ocorrências, no caso da REN, a distribuição ocorre sobretudo no norte e centro do país mais próximo da zona litoral (com algumas exceções). Relativamente à E-REDES a distribuição espacial segue uma tendência muito semelhante à análise efetuada com todo o conjunto das ocorrências. No que concerne aos casos em que ambas as concessionárias foram identificadas, situa-se apenas uma em Lamego (Figura 22).

De um modo global, observa-se que, salvo algumas exceções, os níveis de AT e MT são os que geram, a nível nacional, maior frequência de ocorrências e de área ardida. A par desta constatação, na categoria “*Nenhuma*”, ou seja, aquela em que as coordenadas das ignições não intersejam os *buffers* (zonas de proteção) criados, Santarém, Évora e Faro registam os valores mais elevados do país em termos de ocorrências. Já no que se refere à área ardida, nesta categoria, são os distritos de Castelo Branco e Aveiro que se destacam (Tabela 8). No caso da análise efetuada ao nível das CIM os resultados são muito semelhantes, evidenciando mais uma vez a problemática associadas aos níveis de AT e MT, assim como, à categoria “*Nenhuma*” (Tabela 9 e Anexo 8).

Tabela 8: Distribuição de IRs e Aard por nível de tensão das linhas elétricas (distrito)

Distrito	Ocorrências							Área ardida						
	Nível de tensão													
	150 kV	220 kV	400 kV	AT	MT	Nenhuma	Total	150 kV	220 kV	400 kV	AT	MT	Nenhuma	Total
Aveiro	0%	0%	0%	0%	4%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	7%	14%
Beja	0%	0%	0%	0%	7%	6%	8%	0%	0%	0%	0%	19%	16%	10%
Braga	25%	0%	20%	0%	3%	1%	1%	67%	0%	4%	0%	46%	0%	0%
Bragança	0%	0%	20%	0%	1%	2%	2%	0%	0%	35%	0%	0%	12%	1%
Castelo Branco	0%	0%	20%	0%	5%	7%	7%	0%	0%	31%	0%	0%	0%	15%
Coimbra	0%	14%	0%	0%	7%	6%	5%	0%	1%	0%	0%	0%	11%	12%
Évora	0%	0%	0%	0%	7%	13%	12%	0%	0%	0%	0%	11%	11%	9%
Faro	0%	0%	0%	100%	19%	10%	12%	0%	0%	0%	100%	5%	2%	1%
Guarda	0%	0%	0%	0%	7%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	4%
Leiria	13%	14%	20%	0%	4%	8%	7%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	8%
Lisboa	0%	14%	20%	0%	3%	3%	3%	0%	13%	31%	0%	1%	0%	0%
Portalegre	0%	0%	0%	0%	7%	9%	9%	0%	0%	0%	0%	6%	2%	3%
Porto	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Santarém	63%	29%	0%	0%	19%	19%	18%	32%	14%	0%	0%	3%	3%	7%
Setúbal	0%	0%	0%	0%	4%	4%	4%	0%	0%	0%	0%	5%	32%	0%
Viana do Castelo	0%	0%	0%	0%	3%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%
Vila Real	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	3%
Viseu	0%	29%	0%	0%	3%	6%	5%	0%	66%	0%	0%	1%	0%	11%
Total Geral	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 9: Distribuição de IRs e Aard por nível de tensão das linhas elétricas (CIM)

CIM	IRs							Aard.						
	Nível de tensão													
	150 kV	220 kV	400 kV	AT	MT	Nenhuma	Total	150 kV	220 kV	400 kV	AT	MT	Nenhuma	Total
Alentejo Central	0%	0%	0%	0%	7%	9%	13%	0%	0%	0%	0%	11%	11%	9%
Alentejo Litoral	0%	0%	0%	0%	3%	7%	4%	0%	0%	0%	0%	2%	33%	2%
Algarve	0%	0%	0%	100%	19%	16%	10%	0%	0%	0%	100%	5%	2%	1%
Alto Alentejo	0%	0%	0%	0%	7%	9%	9%	0%	0%	0%	0%	6%	2%	3%
Alto Minho	0%	0%	0%	0%	3%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%
Alto Tâmega	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Área Metropolitana de Lisboa	0%	14%	20%	0%	4%	3%	3%	0%	13%	31%	0%	4%	0%	0%
Área Metropolitana do Porto	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ave	13%	0%	20%	0%	0%	0%	1%	54%	0%	4%	0%	0%	0%	0%
Baixo Alentejo	0%	0%	0%	0%	7%	11%	4%	0%	0%	0%	0%	19%	15%	8%
Beira Baixa	0%	0%	20%	0%	3%	3%	4%	0%	0%	31%	0%	0%	0%	4%
Beiras e Serra da Estrela	0%	0%	0%	0%	7%	6%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	4%
Cávado	13%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dão Lafões	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%
Douro	0%	14%	20%	0%	1%	2%	1%	0%	8%	35%	0%	1%	2%	3%
Lezíria do Tejo	50%	14%	0%	0%	5%	9%	10%	32%	14%	0%	0%	1%	1%	4%
Médio Tejo	13%	14%	0%	0%	16%	9%	10%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	14%
Oeste	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Região de Aveiro	0%	0%	0%	0%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%
Região de Coimbra	0%	14%	0%	0%	8%	3%	7%	0%	1%	0%	0%	0%	18%	13%
Região de Leiria	13%	14%	20%	0%	3%	5%	7%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	8%
Tâmega e Sousa	0%	14%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	58%	0%	0%	45%	0%	0%
Terras de Trás-os-Montes	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	1%
Total Geral	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

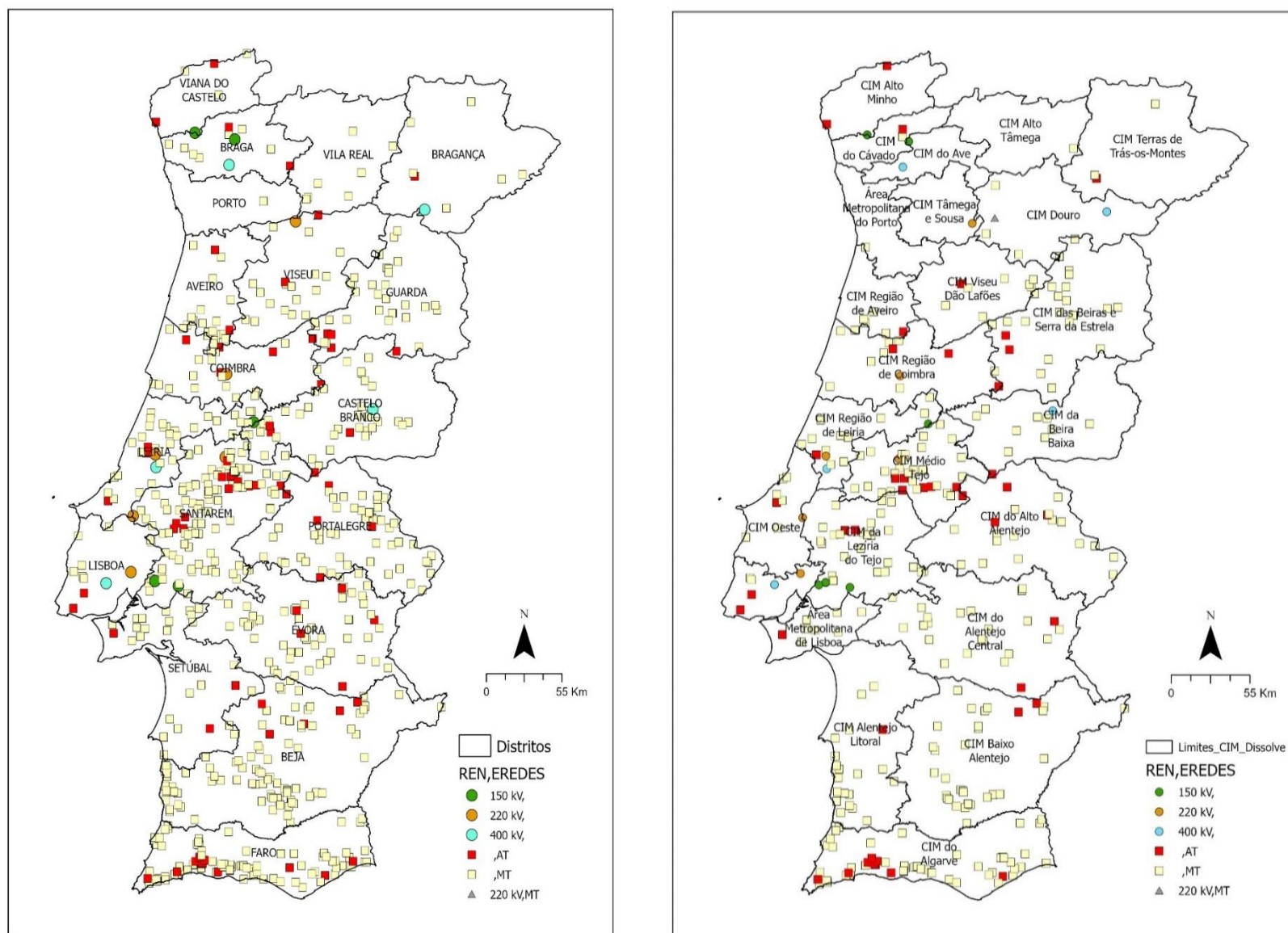


Figura 22: Distribuição espacial (distrito e CIM) dos IRs por nível de tensão da linha elétrica

1.6.4 Distribuição por classe FWI

Relativamente à distribuição dos incêndios rurais e área ardida nas classes FWI por diferentes níveis de tensão, observamos que à exceção do nível de tensão de 400 kV, todas as restantes apresentam maiores frequências de incêndios rurais associadas na classe FWI Muito Elevado (Figura 23). Este é também o comportamento evidenciado pela distribuição padrão evidenciado na Figura 13.

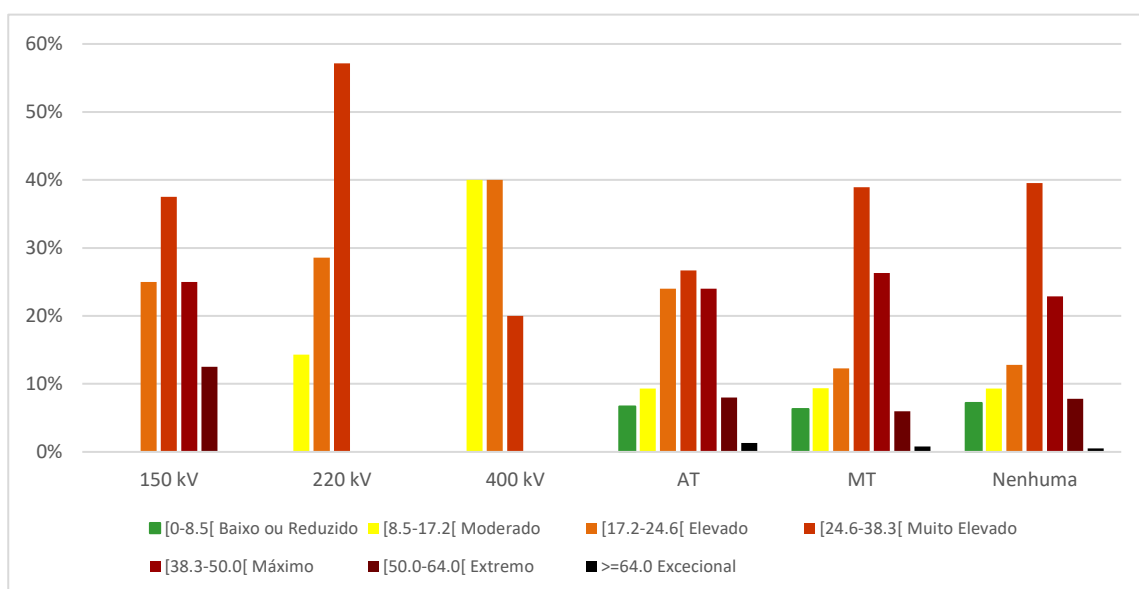


Figura 23: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe FWI

Em termos de área ardida a classe FWI de perigo Muito Elevado representa maiores problemas para os níveis de MAT e MT, sendo que, para os níveis de AT e na categoria “Nenhuma”, é nas classes de perigo Máximo e Extremo que se evidenciam maiores áreas ardidas, respetivamente (Figura 24).

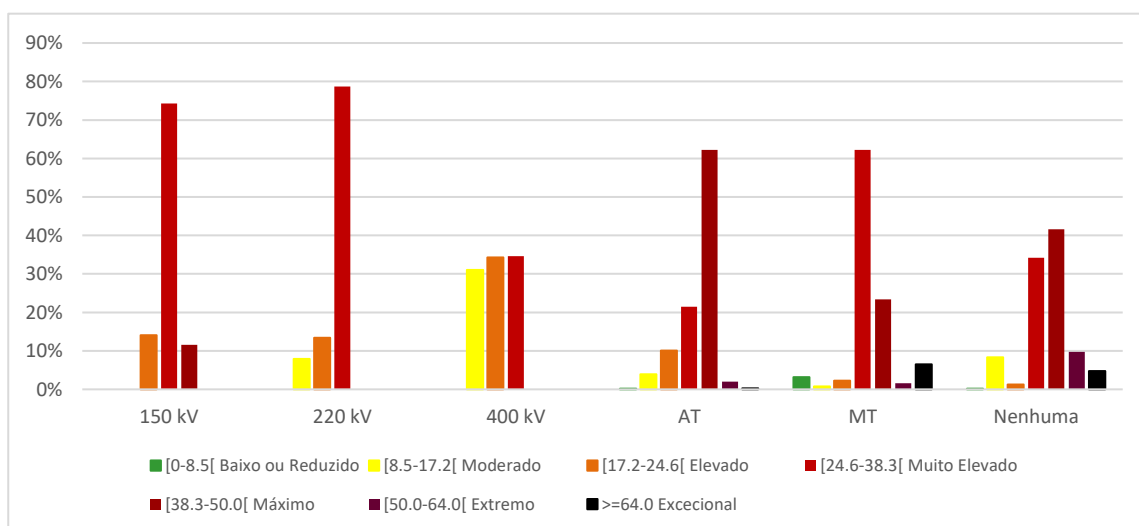


Figura 24: Distribuição da AArd por nível de tensão da linha elétrica e por classe FWI

1.6.5 Relação das ocorrências e da área ardida com outras variáveis

Tal como no capítulo anterior, procurou-se perceber da eventual relação das ocorrências e das áreas ardidas com as variáveis meteorológicas, topográficas e de vegetação. Ao nível das variáveis meteorológicas, às ocorrências estão associadas temperaturas maioritariamente entre 20-25º para todos os níveis de tensão (Figura 25). É

transversal aos diferentes níveis de tensão a predominância da classe de humidade relativa entre 40-60% como aquela onde se observa maior frequência de incêndios rurais (Figura 26). No que concerne à intensidade do vento, é sobretudo com velocidades entre os 5-20 km/h que os diferentes níveis de tensão apresentam maiores frequências de ocorrências (Figura 27).

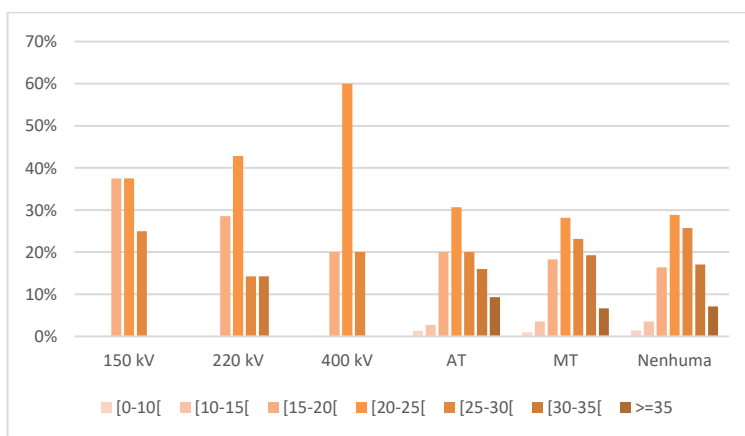


Figura 25: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de temperatura.

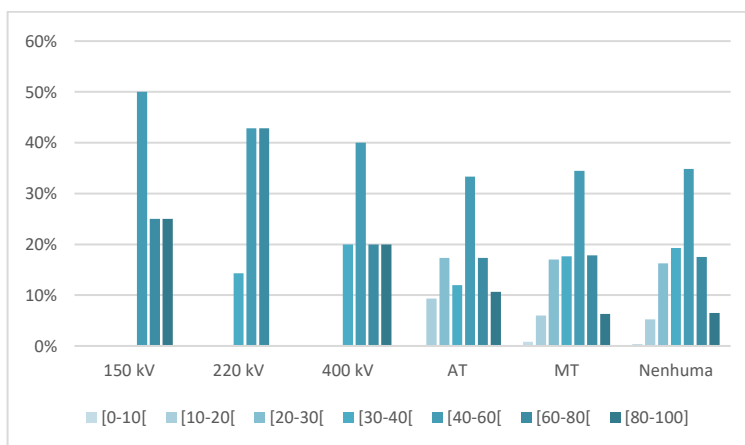


Figura 26: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de humidade relativa.

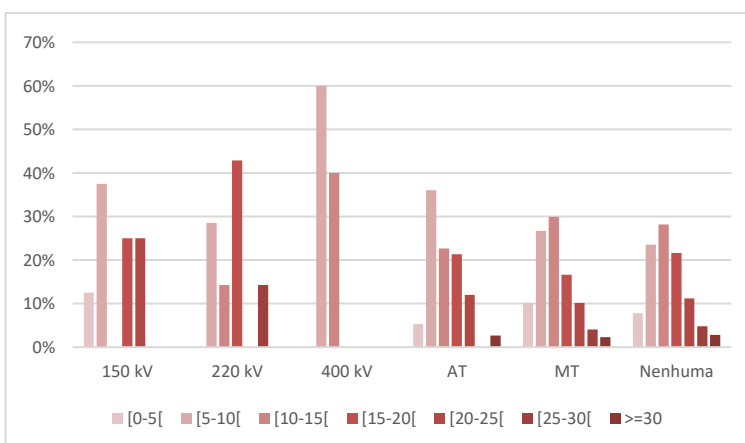


Figura 27: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de intensidade do vento.

Relativamente às variáveis topográficas, existem algumas diferenças entre as ignições causa 211 em termos da sua distribuição por classes de altitude e tensão da linha. Para níveis de MAT a maior frequência das ocorrências têm lugar entre os 0 e os 200 metros de altitude, com exceção dos 400 kV onde a maior frequência ocorre a altitudes

acima dos 300 metros. Nos casos de AT e MT, os registos mais frequentes observam-se entre os 0-50 metros e superiores a 300 metros, respetivamente (Figura 28).



Figura 28: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de altitude média.

Ao nível da classe de declive (Figura 29), as que apresentam valores superiores a 20º têm associadas maior frequência de incêndios na MAT. A exceção observa-se na tensão 150 kV, à qual estão associados declives inferiores a 5º, tal como se verifica também na AT e MT.

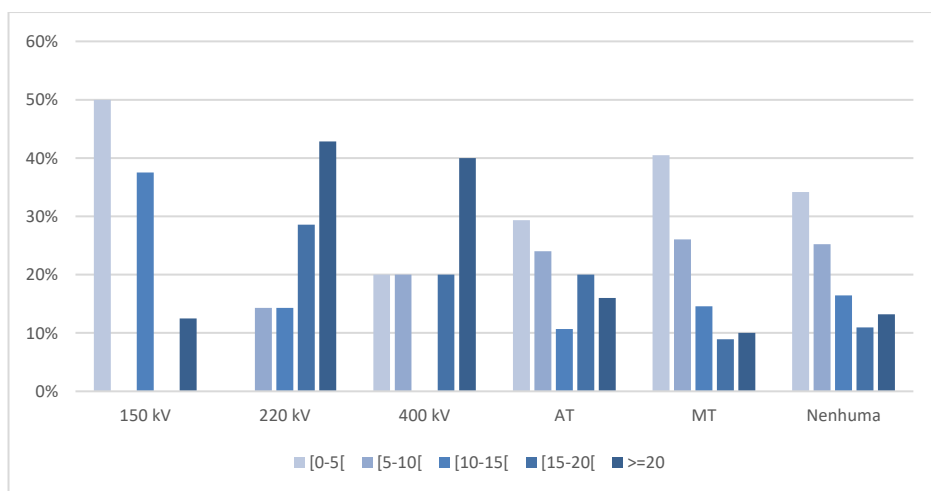


Figura 29: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de declive médio.

Em relação à ocupação do solo, cerca de metade das ignições enquadra-se em áreas agrícolas, sendo transversal a todos os níveis de tensão uma maior frequência incêndios nesta classe. Por outro lado, nas áreas florestais ocupadas com eucalipto, pinheiro-bravo e matos são mais frequentes incêndios associados à MAT (designadamente 150 kV e 220 kV) (Figura 30).

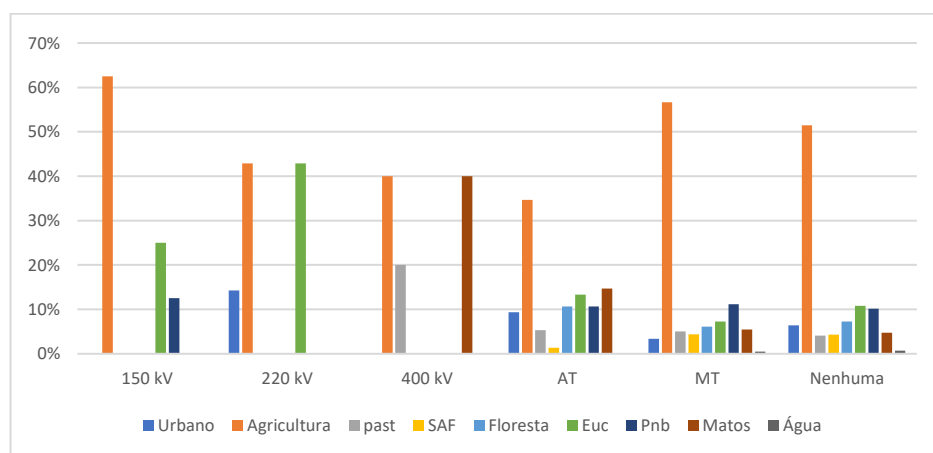


Figura 30: Distribuição dos IRs por nível de tensão da linha elétrica e por classe de ocupação do solo.

Em termos de área ardida, registam-se valores mais elevados quando as temperaturas se situam entre 20-25°C nos níveis de MAT 220 kV e 400 kV, 25-30°C nas MAT com 150 kV e AT, e com temperaturas acima dos 30°C na MT. Quando os níveis de humidade relativa se situam sobretudo entre os 20-30%, obtemos mais área ardida na AT e MT e quando ela é superior a 40% nas linhas de MAT. Relativamente à intensidade do vento, obtemos mais área ardida em MAT (150 kV e 400 kV) e MT quando os ventos são suaves (inferiores a 10 km/h). Quando estes ultrapassam estes limiares, os níveis de tensão que mais contribuem para a área ardida são MAT (220 kV) e AT.

Quando relacionamos a área ardida com as variáveis topográficas, observamos que é em altitudes superiores a 300 metros que a MAT apresenta mais área ardida (exceção feita da MAT com 150 kV). Já a MT e a AT registam maiores áreas ardidas entre 200-250 metros e em áreas com altitude inferior a 50 metros, respetivamente. Em declives superiores a 20 ° obtém-se mais área ardida em praticamente todos os níveis de tensão, exceção feita na AT, MT e da MAT com 150 kV onde a maior área ardida ocorre em zonas com declives até 5°.

Tal como já foi referido para as ocorrências, as áreas agrícolas são as mais afetadas em termos de área queimada, excetuando as linhas de MAT com 150 kV nas quais se observa mais área ardida em zonas de eucaliptal.

Em termos de coberto arbóreo, mais de 12% das ignições têm cobertura superior a 40%. Claramente estas áreas arborizadas têm mais de 10m de altura, mostrando-se novamente que a maior frequência de ignições se localiza em áreas sem coberto arbóreo, em articulação da prevalência anteriormente mencionada de ignições em áreas agrícolas. No caso da AT a maior percentagem de ocorrências acontece nas baixas percentagens de coberto arbóreo e copas muito baixas/inexistentes. À medida que o coberto arbóreo aumenta a maior frequência de alturas (31%) está nas copas com altura entre 10 e 20 metros. No caso da MT, há um aumento da percentagem relativa de árvores acima de 10m, e acima de 5m no caso de densidades de coberto acima dos 60%. Nos casos das linhas elétricas em MAT, 57,9% das ocorrências estão associadas a cobertos com mais de 10 metros (Anexo 9).

1.6.6 As ocorrências classificadas “Nenhuma”

Como se pode observar pelos resultados anteriores, e novamente fazendo nota da incerteza inerente às coordenadas dos pontos de início das ignições que constam da base de dados do ICNF, a classe “Nenhuma” representa uma considerável maioria de ocorrências que, de acordo com o critério usado para a diferenciação das ocorrências por níveis de tensão, se localiza fora dos *buffers* (zonas de proteção) estabelecidos. Considerando esta realidade, efetuaram-se algumas análises complementares a estas ignições para além das evidenciadas nos gráficos e tabelas anteriores, registando-se as seguintes observações:

- 31,6% das ocorrências encontram-se em zonas distantes das linhas elétricas de MAT, AT, MT e do edificado (> 1km);
- 52% das ocorrências estão a menos de 250 metros das zonas urbanas, sendo que as mais distantes das linhas (a mais de 1 000 metros) são também as mais distantes das zonas urbanas (apesar destas ignições representarem apenas 0,6% do total de ignições fora das linhas, correspondendo a 18 ignições).



Figura 31: Exemplo de uma ocorrência (círculo amarelo) cuja localização se encontra fora do *buffer*.

A par das imagens de satélite, foram efetuadas visitas aos pontos georreferenciados de alguns locais onde estas ocorrências foram identificadas. Entrevistámos alguns residentes próximos desse local, de forma informal e sem guião de entrevista estruturada, apenas para perceber se tinham memória da ocorrência e do que a originou.

O que se observou foi a presença de linhas elétricas de baixa tensão (BT) próximas do local da ocorrência (o que não deixa de ser vulgar, em virtude dos 110 000 km de rede aérea de BT existentes¹⁴). Ainda assim, num dos casos essa distância era superior a 70 metros relativamente à coordenada do ponto da ocorrência (Figura 35). Numa outra situação, um dos entrevistados referiu-se ao facto da área em questão ter sido alvo de uma queimada acompanhada pelos bombeiros, com objetivo de eliminar matos e silvas, no ano em que a ocorrência foi registada. Nesta última situação, ainda foi possível ver vestígios de uma árvore queimada que o entrevistado afirmou ser o resultado dessa queimada. Neste caso, mais uma vez, observa-se a presença de linhas elétricas de BT nas imediações (Figura 33).

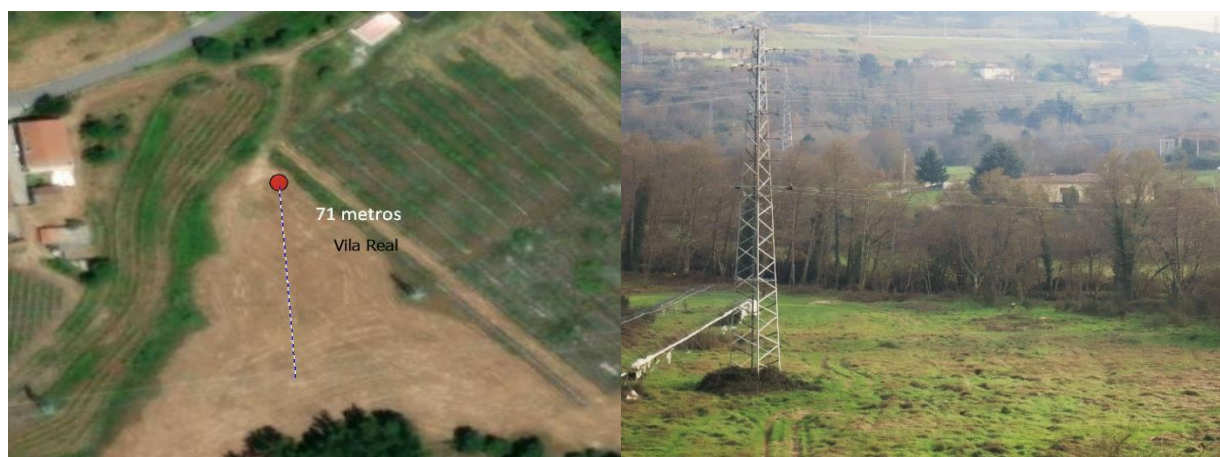


Figura 32: Exemplo de ocorrência fora do *buffer* e perto do edificado

¹⁴ Informação cedida pela E-Redes.



Figura 33: Exemplo de localização de ocorrência 211 fora do *buffer*, com coordenadas incorretas, perto do edificado e da rede de distribuição de energia elétrica em BT

1.7 Conclusões

De acordo com as análises desenvolvidas neste capítulo, foi possível obter as seguintes conclusões:

- A **base de dados das ignições** disponível no website do ICNF apresenta limitações na informação disponibilizada sobre a causa 211, que seria importante colmatar para a definição e implementação de estratégias de mitigação de IRs com esta causalidade, designadamente na diferenciação por nível de tensão da linha elétrica e desdobramento em sub-causas associadas (ave, ramo, vento, etc.) ou na atualização da causalidade de ocorrências com esta classificação.
- A observação de uma tendência crescente no número de ocorrências 211 não se refletiu no aumento de área ardida associada a esta causa, comparativamente às restantes causas. Dada a grande redução verificada no número de ocorrências de fogo rural durante o período analisado é provável que a tendência positiva seja um reflexo da natureza accidental da causa 211, portanto não suscetível de ser influenciada por alterações de comportamento.
- No período 2001-2022, às **3 192 ocorrências** classificadas como causa 211 (1,4% das ocorrências investigadas) corresponde uma área ardida de aproximadamente **38 670 ha** (1,3% da área total ardida neste período). Em termos gerais, estes valores per si indicam que o contributo das linhas elétricas para a problemática dos incêndios rurais, em termos de número de ocorrências e de área total queimada, é reduzida por comparação com outras causas, particularmente o uso indevido do fogo ou o incendiarismo.
- À semelhança de outras causalidades, a **maioria das ocorrências 211 (80%)** tem associada uma **área queimada inferior a 1 ha** e **1%** originaram **áreas queimadas superiores a 100 ha**.
- Em termos geográficos, a distribuição das ocorrências e da correspondente área ardida difere ao nível dos distritos e das CIM.
- No que concerne à distribuição espacial das ocorrências relativamente aos corredores das FGC das linhas elétricas, e sem colocar em questão a classificação da causa, verifica-se que **89% das ignições encontra-se fora daqueles limites** e **11% das ocorrências ficam incluídas naquelas áreas de gestão** das concessionárias. De salientar, que do total das ignições, **1 % estão localizadas dentro das áreas da responsabilidade da rede de transporte (REN)**, o que limita qualquer análise estatisticamente representativa para esta tipologia de rede (MAT) devido ao reduzido número de observações.
- Existe um nível de **incerteza** e de **erro** associado às coordenadas das **ocorrências**, que **diminui do período**

2001-2014 para 2015-2023, evidenciando um decréscimo na média das distâncias às linhas elétricas, ou seja, as localizações no segundo período apresentam menor variabilidade em torno da média e estão mais perto das FGC. É relevante referir que esta análise baseia-se no pressuposto de que o erro é nulo se a ocorrência estiver dentro do corredor da FGC da rede elétrica. Para tal, tem de assumir que a atribuição da causa 211 não foi errada, ou seja, não foi afetada de erro humano quer na sua coordenada quer na classificação em causa 211.

- Não tendo sido possível a análise das linhas elétricas em BT, de um modo global, verifica-se que as ocorrências acontecem maioritariamente associadas aos **níveis de AT e MT**, quer em frequência quer na área ardida por elas originada.
- Ao nível das **variáveis meteorológicas**, onde a análise foi efetuada com dados diários e não horários, às **ocorrências** estão maioritariamente associadas temperaturas entre 20-30º para todos os níveis de tensão, humidades relativas entre 40-60% e intensidades de vento entre os 5-15 km/h. A **área ardida** regista valores mais elevados quando as **temperaturas se situam entre 20-25ºC nos níveis de MAT 220 kV e 400 kV, 25-30ºC nas MAT com 150 kV e AT**, e com **temperaturas acima dos 30ºC na MT**. Quando os níveis de **humidade relativa** se situam sobretudo entre os **20-30%**, obtemos mais área ardida na AT e MT e quando ela é superior a 40% nas linhas de MAT. Relativamente à **intensidade do vento**, regista-se **mais área ardida** em MAT (150 kV e 400 kV) e MT quando os ventos são menores (inferiores a 10 km/h). Quando estes ultrapassam estes limiares, os níveis de tensão que mais contribuem para a área ardida são MAT (220 kV) e AT.
- A **maior frequência de IRs** e de **área ardida** associadas à causa 211 encontram-se nas classes **FWI Muito Elevado e Máximo** (39% e 23% para os IRs, e 36% e 41% para a área ardida, respetivamente). Relativamente à distribuição dos incêndios rurais nas classes FWI por diferentes níveis de tensão, observamos que, à exceção do nível de tensão de 400 kV (FWI Moderado e Elevado), todos os restantes apresentam **maiores frequências de ocorrências na classe FWI Muito Elevado**. Em termos de **área ardida** a classe FWI de **perigo Muito Elevado** apresenta maiores valores nos níveis de MAT e MT, sendo que para os níveis de AT e na categoria “Nenhuma” é a classe de **perigo Máximo** que evidencia maiores áreas ardidadas.
- No que concerne às **variáveis topográficas**, a maior frequência de **ocorrências** distribui-se entre os **100 e os 300 m de altitude**, dominando nesta classe a MAT. Nas áreas planas (<50 m), a tipologia de rede dominante é a AT. No caso da MAT, esta prevalece juntamente com a AT (mais de 70% cada) nas zonas mais declivosas (>30º), estando as ocorrências associadas aos corredores da MT em zonas de menor declive. Quando relacionamos a **área ardida** com a **topografia**, observamos que é em **altitudes superiores a 300 metros** que a MAT apresenta mais área ardida. Já na MT e na AT registam-se maiores áreas queimadas entre 200-250 metros e em áreas com altitude inferior a 50 metros, respetivamente. Em **declives superiores a 15 º** obtém-se mais área ardida em praticamente todos os níveis de tensão, exceção feita na MT onde a maior área ardida ocorre em zonas com declives até 5º.
- Em relação à **ocupação do solo**, cerca de **metade das ocorrências** localiza-se em **áreas agrícolas**, sendo transversal a todos os níveis de tensão uma maior frequência de incêndios neste tipo de ocupação. Por outro lado, na MAT há ocorrências registadas em áreas florestais ocupadas com eucalipto, pinheiro-bravo e matos (designadamente 150 kV e 220 kV).
- Em termos de **coberto arbóreo**, **12% das ocorrências localizam-se em áreas com cobertura superior a 40%**. Estas áreas arborizadas têm mais de 10 m de altura, mostrando-se, no entanto, que a maior frequência de ocorrências se localiza em áreas sem coberto arbóreo, em articulação da prevalência anteriormente mencionada de ignições em áreas agrícolas. No caso da AT a maior percentagem de

ocorrências surge nas baixas percentagens de coberto arbóreo e copas muito baixas/inexistentes. À medida que o coberto arbóreo aumenta, a maior frequência de alturas (31%) está na classe de altura entre 10 e 20 m. No caso da MT, há um aumento da percentagem relativa de árvores acima de 10 m, e acima de 5 m no caso de densidades de coberto acima dos 60%. Nos casos das linhas elétricas em MAT, 58% das ocorrências estão associadas a cobertos com mais de 10 m.

- Importa referir que os resultados referentes ao uso do solo/coberto arbóreo não devem ser interpretados como indicadores de preferência das ignições para certas categorias. Para essa análise (eventualmente em trabalhos futuros) terá de ser feito um cruzamento das variáveis não só com as ocorrências, mas também com as redes elétricas em geral, para comparação e possível identificação de padrões interessantes.

Parte 3: Avaliação do perigo e exposição aos incêndios das linhas elétricas



3.1 Enquadramento

No capítulo anterior foi realizada a caracterização dos incêndios rurais associados à causa 211, ou seja, com origem nas linhas elétricas, em relação à distribuição das ocorrências bem como da respetiva área ardida por tipologia da linha, e de algumas variáveis potencialmente relacionadas com a sua distribuição. Neste capítulo do trabalho pretende-se: 1) **selecionar áreas de estudo piloto** onde serão realizadas simulações de propagação e comportamento do fogo; 2) **caracterizar o perigo de incêndio nas áreas piloto**; e 3) **avaliar a exposição das linhas elétricas aos incêndios**.

Numa primeira fase, para uma **seleção fundamentada das áreas piloto**, realiza-se a análise espacial das variáveis de vegetação, relevo e meteorologia descritas no capítulo anterior, de modo a selecionar as que têm uma maior relação com a distribuição da rede elétrica, bem como com a maior probabilidade de ocorrência de ignições com causa 211. **Esta análise encontra-se dividida em três tarefas**. Na primeira, é realizada a **compilação da base de dados geográfica** de todas as variáveis que sustentam as análises seguintes, visando a seleção das áreas piloto. Segue-se a **análise exploratória** onde se descrevem os principais padrões espaciais recorrendo à classificação hierárquica não supervisionada (**árvores de classificação**) e à modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio associado à causa 211 (**regressão logística**). Por último, com base nos resultados anteriores e informação do capítulo precedente, selecionam-se duas **áreas de estudo piloto** com apoio de uma classificação hierárquica agrupada (*clusters*).

Nas áreas piloto selecionadas, a tarefa seguinte consiste na estimação de alguns descritores do fogo e de perigo de incêndio, usando como suporte **simulações estocásticas de propagação e comportamento do fogo**. De seguida, a partir da análise do perigo de incêndio, realiza-se a avaliação e mapeamento da **exposição das linhas elétricas aos incêndios**. No final, serão identificados os **troços mais críticos de acordo com a tipologia das linhas elétricas**, bem como os **fatores externos** que poderão estar relacionados com os diferentes níveis de exposição encontrados. Na Figura 34, apresenta-se um esquema das diferentes tarefas e análises realizadas com o fim de avaliar o perigo de incêndio e exposição das linhas elétricas aos incêndios, de acordo com o acima descrito.

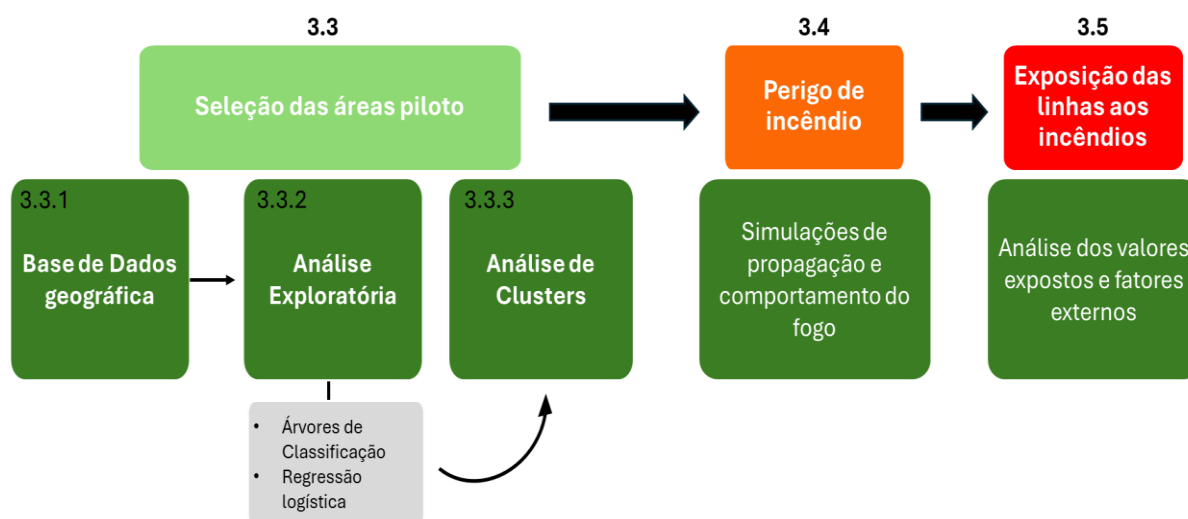


Figura 34: Organização das tarefas e análises desenvolvidas com o objetivo de caracterizar o perigo de incêndio e avaliar a exposição aos incêndios das linhas elétricas.

3.2 Metodologia

3.2.1 Simulações de propagação e comportamento do fogo

O comportamento e propagação do fogo é determinado pela combinação da forma como o combustível entra em ignição, a sua chama se desenvolve e propaga, em resposta a uma interação complexa entre as características do combustível, a meteorologia e a topografia (Merrill et al., 1987). Os modelos de simulação do fogo têm sido muito utilizados para antecipadamente estimar diferentes descritores do fogo tais como a probabilidade de arder, a sua intensidade, a dificuldade de supressão, o tamanho do fogo, entre outros. Existem vários sistemas de simulação da propagação e comportamento do fogo que têm sido extensivamente usados para apoio à decisão da gestão do fogo. Um dos mais utilizados e selecionado neste trabalho é o **Minimum Travel Time (MTT)** (Finney, 2002).

O algoritmo MTT estima a propagação e comportamento potencial do fogo resultante duma ignição, através da sua modelação dinâmica resultante da interação com a meteorologia e os combustíveis, para diferentes durações de propagação do fogo. Este algoritmo estima a velocidade de propagação de um fogo usando a equação de Rothermel (Rothermel, 1972), e a intensidade da chama usando a equação de Byram (Byram, 1959), para posteriormente transformar em comprimento de chama.

Neste trabalho, as simulações são realizadas usando a versão em linha de comando do algoritmo MTT (**FConstMTT**), que foi integrada num pacote R (**MTTfireCALC**) recentemente desenvolvido e publicado numa revista científica (Aparício *et al.*, 2023). Este pacote permite calibrar o sistema de simulação e correr estocasticamente as simulações, combinando os regimes históricos do fogo e de meteorologia associada à propagação de alguns incêndios identificados na área de estudo.

A **calibração do sistema de simulação** é uma tarefa crucial em qualquer simulação, de modo a se produzirem estimativas regionais minimamente credíveis dos descritores do fogo. Estas dependem fundamentalmente da vegetação combustível, da meteorologia associada à propagação do fogo, da probabilidade de ignição, e da duração de um incêndio, variáveis que são todas combinadas em diferentes cenários de simulação. O processo de calibração usado, consiste basicamente na seleção interativa de diferentes classes de duração do fogo, de modo a obter o conjunto ótimo que melhor reproduz o histórico do regime de incêndios (distribuição de tamanhos e frequências) numa dada área de estudo. **Na calibração usou-se o período histórico de referência entre 2001 e 2023.**

Determinado o melhor conjunto de durações de propagação do fogo associado às classes de área ardida produzidas, as simulações propriamente ditas são obtidas para um cenário atual de vegetação (ano de referência 2024), combinando aquelas durações com o regime meteorológico dos incêndios (classificação de diferentes tipologias médias de temperatura, humidade relativa, intensidade do vento e respetiva distribuição de frequências das direções) e a probabilidade de ignição, de modo a gerar centenas de cenários de simulação, cujos pesos combinados obtidos determinam o número de ignições aleatórias a gerar em cada cenário. **As etapas das simulações** bem como os dados de entrada necessários para se estimarem os descritores do fogo e se proceder à análise de perigo, exposição e/ou risco de incêndio, encontram-se esquematicamente representadas na Figura 35. Para mais detalhes técnicos recomenda-se a leitura do estudo desenvolvido por Bruni *et al.* (2024).

No que se relaciona com os dados de vegetação, as simulações requerem um **mapa de modelos de combustível**, que consiste numa classificação estilizada de um conjunto de características da vegetação da superfície (estrutura, compactação, carga, etc.) ao qual está associado um comportamento potencial

do fogo. Esta variável depende da cartografia de base de ocupação do solo, e sendo a vegetação uma variável dinâmica alvo de alterações devidas à gestão florestal (redução de combustível, exploração florestal) e da ocorrência de incêndios, deve ser alvo de atualizações que reflitam estas mudanças de modo a caracterizar o melhor possível o combustível existente à data de referência. No caso deste trabalho o ano de referência é 2024.

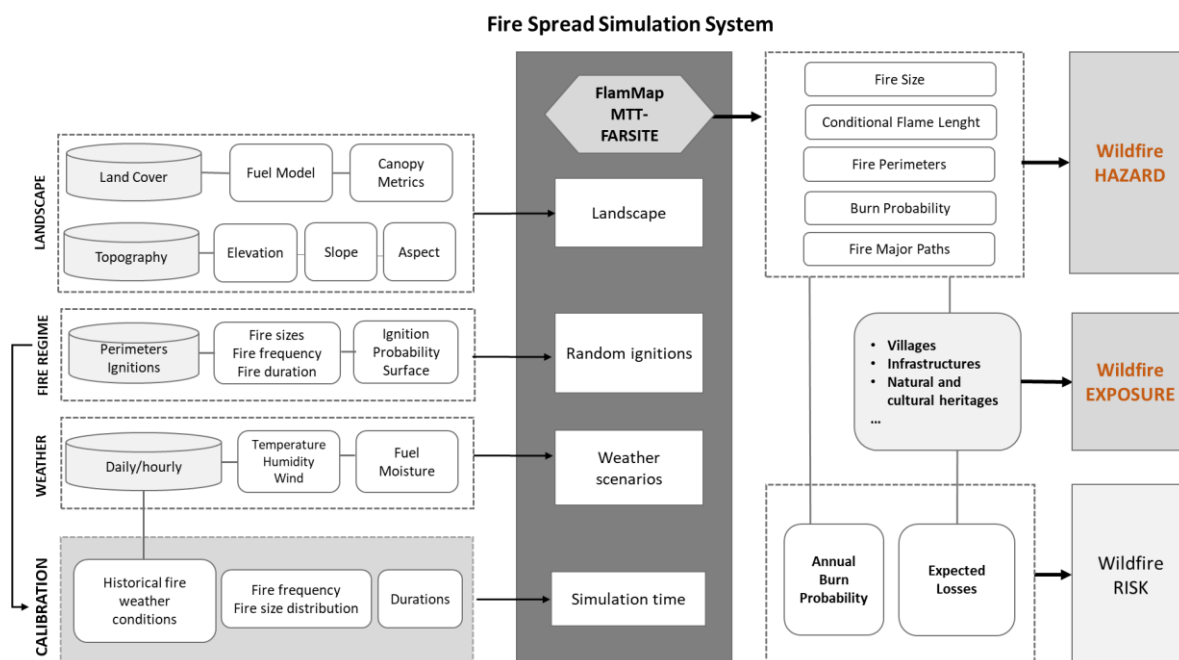


Figura 35: Organograma das diferentes etapas que compõem as simulações de propagação e comportamento do fogo, com identificação dos dados de entrada necessários, calibração do sistema, principais descritores do fogo a estimar bem como as possíveis análises de perigo, exposição e risco de incêndio.

3.2.2 Dados de simulação

Os dados de entrada para as simulações são compostos por variáveis que caracterizam a **paisagem** e o **regime de incêndio** (mapas em formato grelha de topografia, ignições e vegetação) e informação sobre a **meteorologia** caracterizada no regime meteorológico associado à propagação de incêndios na paisagem em análise. Neste trabalho, as variáveis os dados de paisagem são compilados numa grelha comum com células de 100m no caso da calibração, e células de 30m no caso das simulações para o ano de referência (2024), e usando o sistema de coordenadas ETRS 1989 Portugal TM06.

No caso da calibração, a resolução espacial da grelha das variáveis é de 100m porque a informação de base da vegetação que pode ser usada no período entre 2001 e 2023 é a cartografia de ocupação e uso do solo de 2018 (COS 2018), onde a unidade mínima cartografada é 1 ha. No caso das simulações de referência (2024) usou-se a cartografia mais detalhada COSc 2023 (maio de 2023), atualizada com as áreas ardidas de 2023, cuja resolução espacial usada foi de 30m.

Dados paisagem:

- Topografia: altitude, declive e ângulo de exposição solar.
- Probabilidade de ignição.
- Vegetação de superfície: modelos de combustível (2005, 2010 e 2015 na calibração; 2024 nas simulações de referência) e coberto arbóreo (2018, atualizado nas áreas queimadas para 10%).

Dados meteorologia:

Utilizaram-se dados do ERA5-land com resolução espacial de 9 km, nomeadamente valores médios diários (entre as 12h e as 20 h) de temperatura, humidade relativa e velocidade do vento. Extraíram-se os valores destas variáveis para os dias correspondentes à propagação de um conjunto histórico de incêndios que constam da base de dados portuguesa de propagação de incêndios (Benali et al., 2023). Deste modo, a piro-meteorologia é caracterizada fazendo uma classificação em grupos (*clusters*) daqueles dias, cujos centroides correspondem aos valores médios das variáveis meteorológicas em análise. Em cada cluster é caracterizada a distribuição de frequências da direção do vento segundo as direções cardinais e intermédias. O regime meteorológico dos incêndios é obtido na calibração e usado na simulação de referência.

Configurações de simulação:

- Calibração com 2,000 ignições e simulações de referência com 20,000 ignições sorteadas aleatoriamente usando a superfície histórica de probabilidade de ignição.
- Durações de simulação Tomar: d1=25 min. (5 to 25 ha); d2=65 min. (25 to 100 ha); d3=200 min. (100 to 250 ha); d4=350 min. (250 to 500 ha); d5=800 min. (> 500 ha).
- Durações de simulação Monchique: d1=25 min. (5 to 100 ha); d2=65 min. (100 to 1000 ha); d3=200 min. (> 1000 ha).
- Não é simulada a supressão.
- Não são simulados fogos de copa.
- Spotting igual a 5%.
- Os valores iniciais para o teor de humidade dos combustíveis mortos das classes de 1, 10 e 100 h de tempo de resposta, foram calculados usando os valores médios de temperatura e humidade relativa de cada tipologia do regime meteorológico.
- O teor de humidade para os combustíveis herbáceo e lenhoso vivos definiu-se constante e igual a 60 % e 90 %, respetivamente.

3.2.3 Descritores do fogo

A caracterização do perigo de incêndio ao nível da paisagem e a avaliação da exposição das linhas elétricas a este perigo faz-se usando as estimativas dos seguintes descritores do fogo:

- 1) **Probabilidade de arder (BP)** – representa a probabilidade que uma célula da grelha seja afetada por um fogo simulado (rácio entre o total de áreas queimadas intersectadas e o número total de ignições simuladas);
- 2) **Comprimento de chama condicionado (CFL)** – representa a média ponderada do tamanho de chama numa dada célula da grelha considerando a totalidade dos incêndios que afetam essa mesma célula. Esta variável tem sido usada como proxy da intensidade do fogo (Sá et al., 2022).

A partir do mapa da probabilidade de arder obtém-se o mapa da **probabilidade anual de arder (aBP)**, fazendo o rácio entre BP e o número total de épocas de incêndio simuladas. Este último obtém-se a

partir do rácio entre a média anual ardida no histórico de incêndios e a área ardida total simulada. No final, este mapa pode ser classificado em cinco classes (1-muito baixa; 2-baixa; 3-moderada; 4-elevada; e 5-muito elevada), onde na classe moderada se encontra centrado o valor médio anual de área ardida segundo o histórico de incêndios na área de estudo.

Em relação ao **comprimento de chama condicionado** (CFL), este representa uma medida interessante na avaliação do perigo de incêndio porque tem uma relação com a intensidade do fogo, e com a dificuldade de supressão, de acordo com as classes apresentadas no Tabela 10.

Tabela 10: Classes de comprimento de chama (FL) e sua relação com a intensidade de um incêndio (FLI), traduzidas para classes de dificuldade de supressão. Adaptado do estudo de Alexander e Cruz (2019).

Class	FL (m)	FLI (kW m ⁻¹)	Fire suppression difficulty
1	< 1.5	< 500 (very low)	Fire can generally be attacked at the fire head or flanks using hand tools.
2	1.5–2.5	500–2000 (low)	Fires are too intense for direct attack on the fire head using hand tools. Equipment such as plows, dozers, pumpers and retardant aircraft can be effective in suppression.
3	2.5–3.5	2000–4000 (moderate)	Fires may present serious control problems – torching out, crowning and spotting. Control efforts at the fire head will probably be ineffective.
4	3.5–5.5	4000–10 000 (high)	Crowning, spotting and major fire runs are frequent. Control efforts at the fire head are ineffective. Aircraft are required for fire suppression.
5	> 5.5	> 10 000 (very high)	Any combat attempt (even with aircraft) is ineffective.

As estimativas dos dois descritores do fogo anteriores podem ser combinadas para caracterizar o perigo de incêndio (**Problnt**) usando uma matriz construída com base em conhecimento especializado (Tabela 11). Assim, é possível classificar o perigo de incêndio em cinco classes, localizando as áreas mais prováveis (ou menos prováveis) de propagarem incêndios de maior intensidade (ou de menor intensidade).

Tabela 11: Matriz combinada das classes de probabilidade anual de arder (aBP) e de comprimento condicional da chama (CFL), cujas estimativas foram obtidas por simulação de propagação e comportamento do fogo. O mapa resultante representa o perigo de incêndio (Problnt), com base na elevada probabilidade (ou baixa probabilidade) de ocorrência de um incêndio numa dada classe de intensidade.

		CFL				
		1 (muito baixa)	2 (baixa)	3 (moderada)	4 (elevada)	5 (muito elevada)
aBP	1 (muito baixa)	1	1	2	2	2
	2 (baixa)	1	2	2	3	4
	3 (moderada)	2	3	4	4	5
	4 (elevada)	2	3	4	5	5
	5 (muito elevada)	2	3	5	5	5

Problnt	
1	muito baixa
2	baixa
3	moderada
4	elevada
5	muito elevada

3.2.4 Exposição das linhas ao fogo

Relativamente à exposição das linhas elétricas aos incêndios, esta é avaliada considerando-as divididas em troços de 200m, e envolvente de 60m para cada lado do corredor definido para cada tipologia de linha, pela respetiva faixa de gestão de combustível. Extrai-se a seguinte informação:

- Cartografia dos valores médios das estimativas dos descritores do fogo (aBP e CFL) e da classe mais frequente de perigo de incêndio (ProbInt) nos troços da rede elétrica, com inclusão da zona envolvente. Cálculo das estatísticas descritivas (média, mediana, P75 e máximo) por tipologia de linha.
- Para cada troço é calculada a probabilidade anual de arder devida a incêndios cuja ignição se localiza fora do corredor e sua envolvente de 60m (aBPimp, correspondendo a áreas ardidas importadas); bem como a probabilidade anual de arder devida a ignições que tiveram origem dentro dos corredores das linhas e respetiva envolvente de 60m (aBPexp, correspondendo a áreas ardidas exportadas);
- Para as distâncias de 0-60m, 60-120m e 120-180m na envolvente dos corredores das linhas elétricas, avaliação do efeito da distância sobre o número de ignições anuais, considerando a área dos corredores das linhas.

3.3 Seleção das áreas piloto

3.3.1 Base de dados geográfica

A base de dados geográficas das ignições apresenta 3192 registos com causa 211 no período em estudo (2001-2022), contendo informação diversa, entre a qual meteorológica tal como a temperatura, precipitação, humidade relativa, intensidade do vento e índices de severidade meteorológica (FWI e sub-índices). Para cada um dos pontos que constituem esta base de dados foi adicionada informação de variáveis geográficas, compiladas para uma grelha comum com células de 100 m. A base de dados construída, apresenta as seguintes variáveis:

- 1) **Meteorologia:** a estrutura do índice FWI e sub-índices que o compõem (Chelli *et al.*, 2015), encontra-se representada na Figura 36.
- 2) **Topografia:** altitude (m), declive (%) e exposição (^o).
- 3) **Vegetação:** ocupação (COS 2018), coberto arbóreo (%), altura média do copado arbóreo (m).
- 4) **Outras:** densidade de ignições (n^o. Ign/km²), densidade de linhas elétricas (km/km²), densidade de rede viária (km/km²), distância às linhas elétricas (m), distância às áreas edificadas (m), tipologia de linha elétrica (REN: **MAT**; E-REDES: **AT** e **MT**; e ainda a classe “**Nenhuma**” que correspondem às ignições com causa 211, mas que se localizam fora dos corredores estipulados por lei para cada uma das tipologias de linha).

As variáveis anteriormente listadas e usadas nas análises subsequentes encontram-se mapeadas no ANEXO 10.

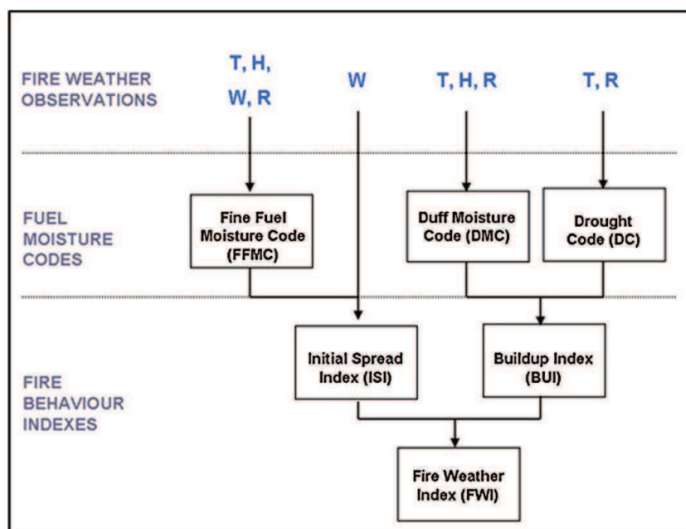


Figura 36: Estrutura dos diferentes sub-índices que compõem o sistema Canadano de classificação de severidade meteorológica Fire Weather Index (FWI). T = temperatura do ar; H = humidade relativa do ar; R = Precipitação; W = velocidade do vento.

3.3.2 Análise exploratória

A análise exploratória visa identificar as potenciais relações existentes entre as ignições com causa associada às linhas elétricas (211) e as variáveis existentes na base de dados geográfica. Numa primeira parte explora-se a **distribuição dos valores das variáveis de acordo com a tipologia da rede elétrica (a)**, e numa segunda a modelação estatística das relações espaciais recorrendo a dois métodos estatísticos: **árvores de classificação (b)**; e 2) **modelo de regressão logístico (c)**.

Com as árvores de classificação pretende-se identificar variáveis que de acordo com as especificidades territoriais exibem uma relação com a distribuição espacial das ignições. Com o modelo de regressão logística **pretende-se a construção de um modelo global (ajustado nacionalmente) que estime a probabilidade de uma ignição ter causa 211** (variável resposta), avaliando simultaneamente o contributo de cada uma das variáveis estatisticamente significativas (variáveis preditoras) para a explicação da variabilidade do modelo.

Para efeitos de modelação, foi trabalhada uma base de dados equitativa de modo a ter aproximadamente igual representatividade de ignições associadas à causa 211 e a outras causas. Para além disto, de modo a eliminar potenciais erros associados a ignições que deram origem a áreas ardidas de muito reduzida extensão, eliminaram-se todos os registos cuja área ardida total fosse inferior a 0,1 ha. Assim, a nova base de dados apresenta 3127 ignições, das quais 1738 têm associada a causa 211.

a) Variáveis e tipologia das linhas elétricas

No que diz respeito à caracterização da distribuição dos valores de cada uma das principais variáveis usadas na modelação, apresentam-se nesta secção os principais resultados, cujos quadros podem ser consultados no ANEXO 11. Os principais resultados são:

- não se observam diferenças na distribuição por classe de **altitude**, sendo a **mais frequente entre 100m e 300m (38,6%)**; no caso da **AT** há uma frequência semelhante entre esta classe e a de **altitude inferior a 50m** (Tabela A11.1);
- prevalecem **declives inferiores a 30º (77%)**, sendo que na **MAT e AT**, a classe entre os 30º e os 45º tem cerca de 30% das ignições (Tabela A11.2);

- dada a relevância das ignições da tipologia “*Nenhuma*”, importa salientar que **cerca de 29% encontram-se a mais de 250m dos corredores das linhas elétricas e cerca de 25% a mais de 250m do edificado**. No entanto, é entre 100m e 250m que se encontram as maiores frequências, ou seja, 38% e 48%, respetivamente (Tabela A11.3, Tabela A11.4);
- é na envoltória (**até 250m**) dos corredores das linhas e do edificado que se encontra a maior frequência de ignições com causa elétrica (1688/3189 – **52%**). Apesar de baixa frequência, 18 ignições (0,6%) estão a mais de 1km do edificado e das linhas elétricas (Tabela A11.5);
- relativamente à vegetação, **cerca de metade das ignições localizam-se em áreas agrícolas maioritariamente na MT (57,3%)**, com uma **menor frequência na AT (21,4%)**, com igual percentagem nos matos, seguindo-se os eucaliptais (16,7%) (Tabela A11.6);
- áreas de **eucaliptais e pinhais** contabilizam cada com cerca de 10% das ignições, sendo dentro da **MAT** que se encontra a maior frequência de ignições em **eucaliptais (26,3%)**, seguida da classe de **matos (10,5%)**. Já dentro da **MT**, depois da agricultura é nos povoamentos de **pinheiro-bravo** onde se encontra **a maior percentagem de ignições (10,4%)** (Tabela A11.6);
- onde existe **floresta**, 45% das ignições ocorrem em áreas onde se estimam alturas superiores a 5m, particularmente **32,2% onde a altura das árvores pode ser superior a 20m**. Esta classe é particularmente relevante para a **MAT**, onde se localizam **cerca de 58% das ignições** (Tabela A11.7);
- quando se integra a altura das copas e a percentagem de coberto arbóreo, por tipologia da rede elétrica, verifica-se que **79% das ignições são em locais com baixa densidade de coberto arbóreo (<10%)**, da qual **44% com alturas de copa inferiores a 2m** (Tabela A11.8);
- em suma, e usando a informação da **altura de copas combinada com a ocupação**, e por tipologia da rede elétrica, verifica-se que 52% das ignições estão na classe agricultura, 10% na floresta de pinheiro-bravo e 10% nos eucaliptais. Do total, 47% encontram-se em vegetação com menos de 2m de altura. No caso da **AT**, predominam nas classes **agricultura e matos** (com 0,3% cada); na **MT** na **agricultura (5,1%)** e no **pinheiro-bravo (1,1%)**, neste último caso maioritariamente entre 10-20m de altura; e na **MAT** na **agricultura** e no **eucalipto** (0,3% e 0,2%, respetivamente) também na classe 10-30m. Na tipologia “*Nenhuma*”, para além das ignições ocorrerem com maior frequência na **agricultura**, **ocorrem cerca de 10x mais no pinheiro-bravo e no eucaliptal**, e nas classes de 10-20m, quando comparado com as restantes tipologias (Tabela A11.9).

b) Árvores de classificação

A base de dados equitativa é usada para melhorar o conhecimento das relações complexas que existem entre as variáveis selecionadas e as ignições com causa 211, e que podem ser estudadas usando o método **Árvores de Classificação**. As árvores de classificação são um método de classificação hierárquico que, a partir dum conjunto inicial de observações (nó raiz), faz a subdivisão em subconjuntos mais homogêneos (nós intermédios) com base em regras de segmentação de variáveis preditoras definidas em cada nó, até se obter um conjunto de nós finais (nós terminais) onde a classificação é feita na classe de causa 211 ou outra classe. O método foi inicialmente desenvolvido por Breiman et al. (1984) e, em termos gerais, baseia-se na seleção em cada nó da variável e respetivo valor que produzem a maior redução da sua variabilidade, partindo-o em dois nós filhos que serão alvo de nova segmentação caso estes não sejam nós terminais. Cada nó terminal é caracterizado pela sua classificação em causa 211 ou outra, pela percentagem total das

observações nele contidas, e pela proporção de observações de cada classe. Esta última informação caracteriza a pureza do nó, ou seja, se por exemplo um nó tem 0,5 ignições com causa 211 e 0,5 associado a outras causas, isto significa que o nó é impuro. Existem vários critérios de segmentação e de avaliação da variabilidade de cada nó que se encontram detalhados no estudo referenciado.

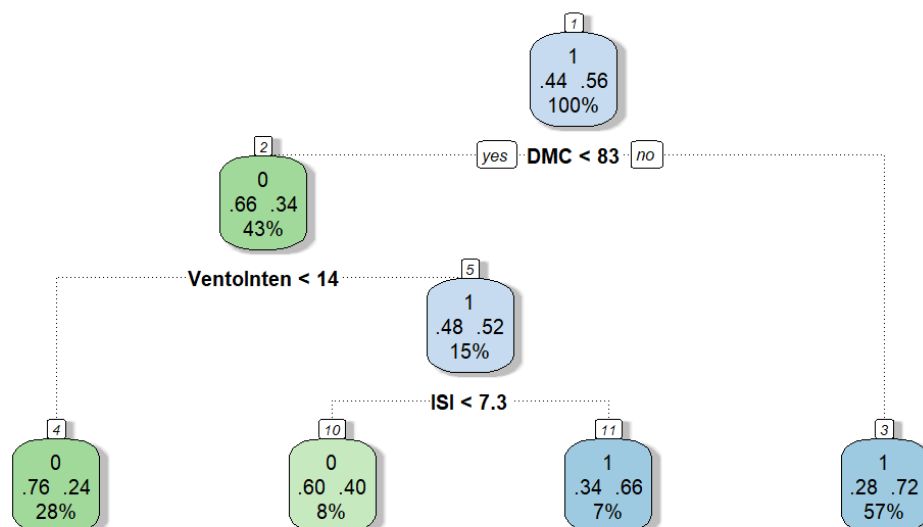
Foi construída uma árvore de classificação para identificar quais as variáveis meteorológicas mais relacionadas com as ignições cuja causa associada é 211. Do mesmo modo, foi construída uma árvore de classificação onde apenas se usaram variáveis geográficas (todas as variáveis da base de dados equitativa exceto as meteorológicas) e uma última onde se consideraram a totalidade das variáveis (meteorológicas e geográficas). As árvores resultantes encontram-se representadas na Figura 37. Na análise das árvores de classificação há que ter os seguintes aspetos em consideração:

- De acordo com a representatividade cada nó é classificado com a classe 1 que representa as ignições com causa associada 211 (nós azuis), ou com a classe 0 para as ignições cuja causa não é a 211 (nós verdes);
- A “pureza” de cada nó é determinada pela proporção de cada uma das classes;
- A percentagem do total das observações em cada um dos nós também é indicada como uma medida da “representatividade” desse nó.

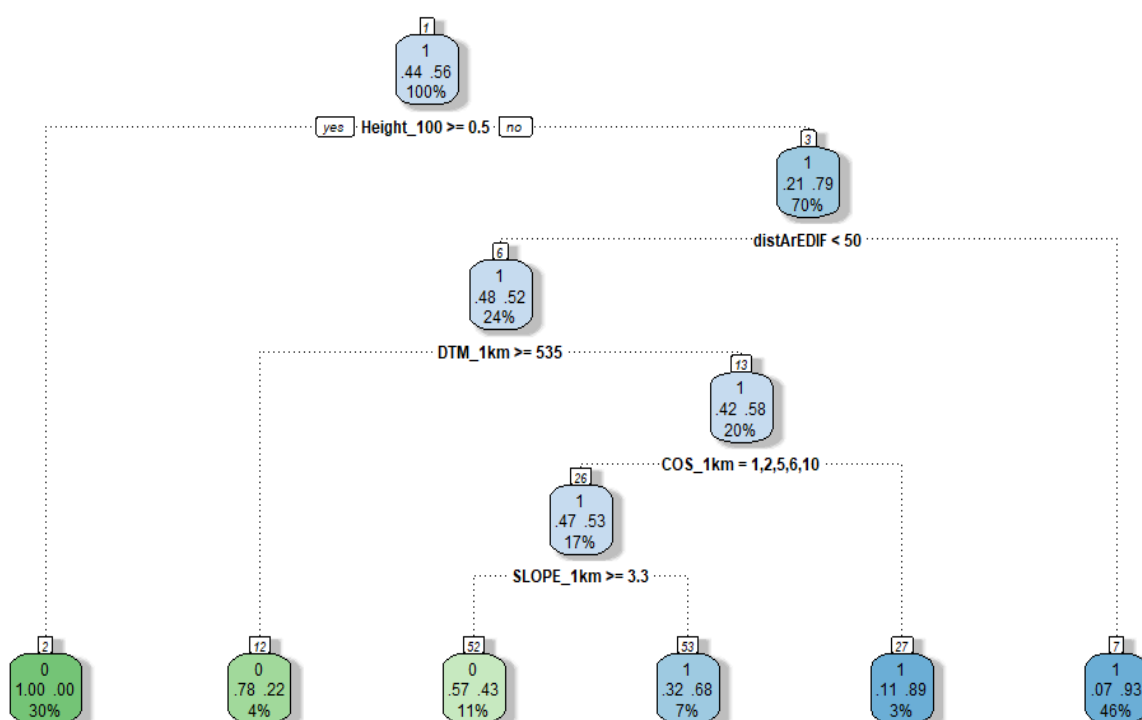
Por exemplo, no caso da árvore representada na Figura 37a, o nó terminal mais à direita tem mais de metade (57%) das ignições existentes na base de dados, sendo 0.72 a proporção de ignições da classe 1 (causa 211). Estas ignições foram classificadas usando uma única regra que foi terem todas um valor do índice DMC superior ou igual a 83. Da análise das árvores de classificação obtidas na Figura 37 destacam-se as seguintes relações:

- Apenas dois sub-índices (**DMC e ISI**) e a **velocidade do vento** se destacam na classificação das ignições com causa 211. A maioria destas (57%) tem **valores elevados de DMC (teor de humidade da folhada) mais elevados** ($DMC \geq 83$). Com menor percentagem do total das observações (7%) encontram-se ignições que ocorreram em condições de maior secura ($DMC < 83$), maiores intensidades do vento (velocidade ≥ 14 km/h) e com valores de ISI mais elevados (maiores velocidades de propagação) (Figura 40a).
- Quando apenas se usam as variáveis topográficas (Figura 36b), as variáveis destacadas na classificação são: **altura das copas, distância às áreas edificadas, altitude, ocupação e declive**. Tipicamente, **46% das ocorrências** com causa 211 surgem em áreas com altura de copas inferior a 0,5 m, e **a mais de 50 m das áreas edificadas**. Uma menor percentagem (3%) ocorre a menos de 50 m do edificado, altitude inferior a 535 m, e nas classes de ocupação pastagens, sistemas agroflorestais, pinhais, e zonas de vegetação esparsa. A outra classe de ocorrências com causa 211 (7%) surge nas classes de ocupação urbano, agricultura, floresta e eucaliptais, e associadas a declives baixos (<3,3%). No entanto, estes dois últimos nós apenas incluem cerca de 10% do total dos registos com causa 211 (Figura 40b).
- Quando se junta a meteorologia (Figura 40c), continua a haver uma separação de quase metade das ignições (43%) com causa 211 para **zonas afastadas a mais de 50m do edificado**. Nas mais perto, há então uma separação de 9% para condições de temperatura acima dos 26º, ou então um conjunto de ocorrências 211 (5%) para temperaturas abaixo deste valor, mas vento superior a 14 km/m e ISI superior a 6.2.

(a)



(b)



(c)

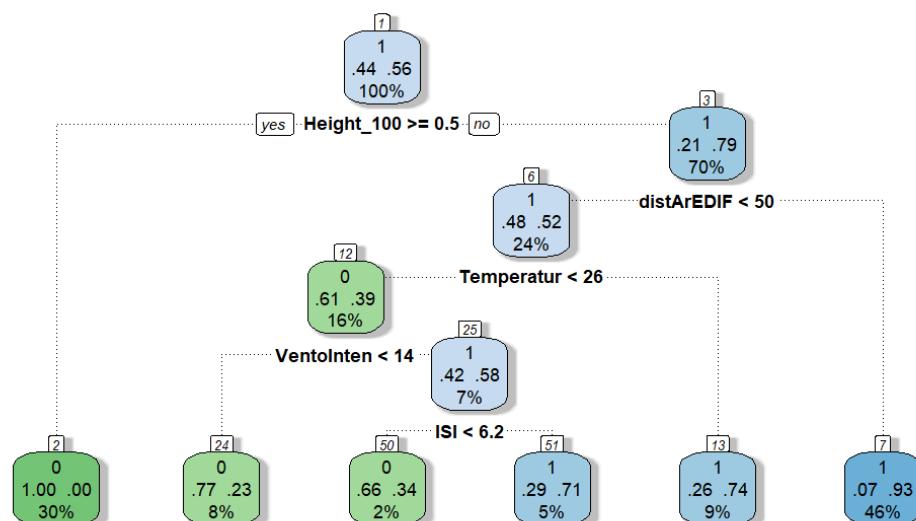


Figura 37: Árvores de classificação obtidas para caracterizar as relações entre as ignições segundo a sua causa (1 = causa 211; 0 = outras causas) com: as variáveis meteorológicas (a); variáveis geográficas (b); e conjunto das variáveis meteorológicas e geográficas (c).

Em suma, desta análise é de destacar a importância de algumas variáveis como descritoras localmente da distribuição das ignições com causa associada 211. A classe de ocupação agrícola destaca-se indiretamente através da variável da altura da vegetação (baixa), bem como zonas de menor declive e relativamente distantes das zonas edificadas. Nas zonas mais perto do edificado, apesar de haver uma separação de ocorrências em zonas agrícolas e eucaliptais de ocorrências em pinhais e SAF, estas apenas representam 7% e 3%, respetivamente. **Quando se adicionam variáveis meteorológicas, destacam-se a intensidade do vento e a temperatura, a altura da vegetação e distância às áreas edificadas, como os fatores localmente mais relacionados com a distribuição das ignições com causa 211.**

c) Modelo de regressão logística

Complementarmente, ajustou-se um modelo de regressão logística também para perceber globalmente, como se relacionam as variáveis com a probabilidade de ignição com causa associada 211. Foi usada a mesma base de dados geográfica (equitativa), e de acordo com os resultados do modelo, apenas as variáveis listadas na Figura 38 são estatisticamente significativas, considerando um nível de confiança de 95%.

A variável que mais explica a variabilidade da probabilidade de arder associada à causa 211 é a ocupação (Figura 38a). Numa análise mais detalhada, em que esta variável é definida como um fator, mostra que são as classes sistemas agroflorestais, pastagens, pinheiro-bravo e outras espécies florestais que melhor explicam (por ordem decrescente) a variabilidade daquela probabilidade. Nas zonas onde existe maior densidade de linhas elétricas, e zonas mais próximas destas, a probabilidade de a causa estar associada a estas diminui, o que poderá dever-se a medidas de gestão de combustíveis a que estas infraestruturas são obrigadas a executar, conforme preconizado na lei, ou pelo simples facto de serem zonas edificadas não suscetíveis à ocorrência de um incêndio rural. Por outro lado, **existe uma maior probabilidade de ser causa**

211 nas áreas mais distantes ao edificado. A maior probabilidade encontra-se em zonas de baixa altitude e menor declive conforme indicado pelos coeficientes negativos. Relativamente à meteorologia, a temperaturas mais elevadas, humidades relativas mais baixas e velocidades de vento mais elevadas está associada uma maior probabilidade de ignição como seria de esperar. Pelo contrário, verifica-se que esta probabilidade é maior onde os valores de DMC são mais elevados, o que poderá estar relacionado com as ocupações anteriormente identificadas.

A distribuição das variáveis preditoras (Figura 38b) mostra a maior ou menor separabilidade dos seus valores relativamente à causa associada, por comparação das medianas dos respetivos *boxplots*. Das variáveis geográficas destacam-se o declive, a altitude e a distância às áreas edificadas e todas as variáveis meteorológicas, particularmente o índice DMC. Em relação à altura das copas, esta variável não aparece listada nas variáveis estatisticamente significativas porque, como se pode ver pelo *boxplot*, a sua variabilidade é praticamente nula, o que também está de acordo com o facto das ignições com causa 211 estarem maioritariamente relacionadas com outras ocupações que não a floresta.

(a)

Variável	Coef.	StdError	t_Stat	Prob.
DMC	0,004	0,001	4,661	0,000
Temp.	0,061	0,015	4,031	0,000
HR	-0,013	0,005	-2,342	0,019
Vel.Vento	0,055	0,010	5,596	0,000
Altitude	-0,002	0,000	-4,731	0,000
Declive	-0,115	0,023	-4,938	0,000
COS_1km	0,277	0,038	7,384	0,000
LineDens.	-0,155	0,068	-2,283	0,022
Dist.LIN	-0,001	0,000	-4,710	0,000
DistArEDIF	0,001	0,000	5,220	0,000

(b)

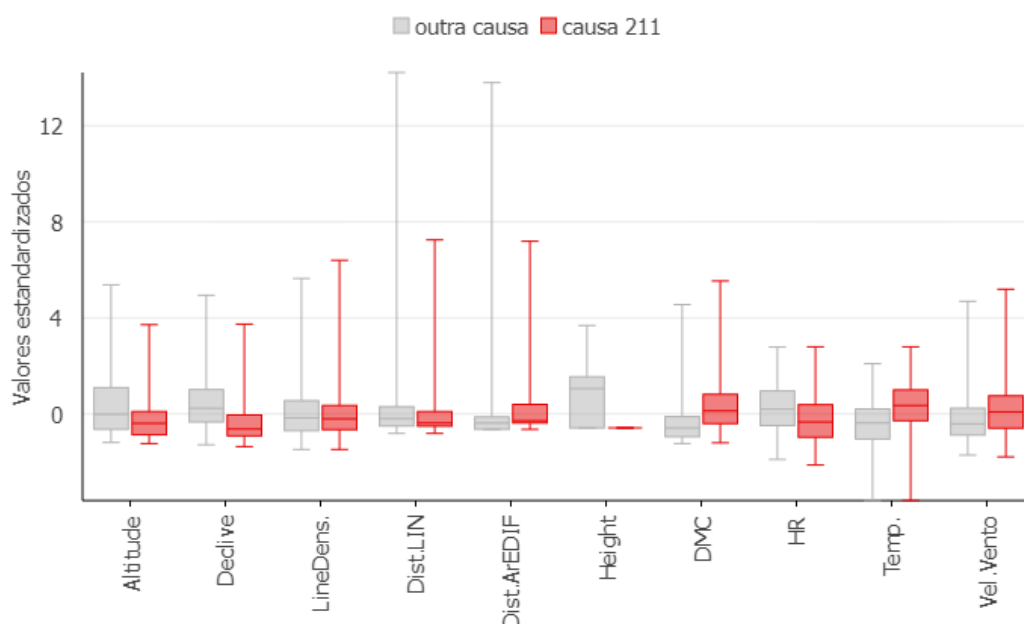


Figura 38: Estimativas dos coeficientes das variáveis preditoras do modelo de regressão logística, que estima a probabilidade de ignição associada às linhas elétricas (causa 211) (a). Boxplots das variáveis preditoras, mostrando através dos valores estandarizados, as distribuições de acordo com a causa associada à ignição (b).

Na Figura 39, apresenta-se o mapa da probabilidade de ignição associada à causa 211, resultante do ajustamento do modelo logístico. Sobreposição-se os polígonos correspondentes às áreas com os 20% dos valores mais elevados (acima do percentil 80: P80) da densidade de ignições com causa 211. Calcularam-se as estatísticas média, mediana e P80 para estes polígonos, tendo-se verificado uma boa correspondência entre os resultados do modelo e a base de dados das ignições com causa 211. Naqueles polígonos **o mapa da probabilidade de ignição tem o valor médio 0,80, mediana igual a 0,85 e o P80 igual a 0,93**. Este último é concordante com os valores mais elevados de densidade de ignições dada pelo P80.

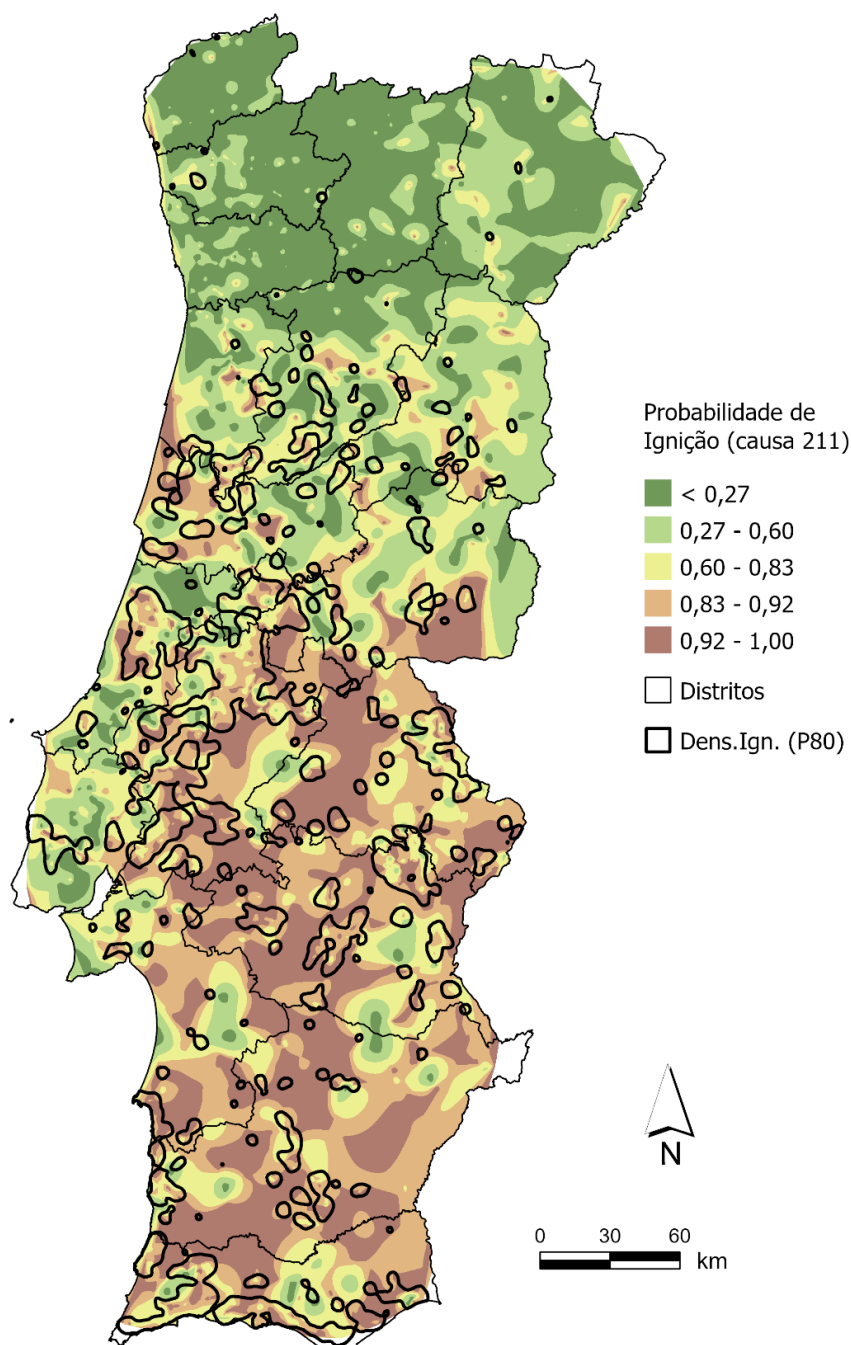


Figura 39: Mapa da probabilidade de ignição associada à causa 211 obtida a partir do modelo de regressão logística. Encontram-se sobrepostos os polígonos correspondentes aos 20% mais elevados da densidade de ignições associada à mesma causa.

3.3.3 Análise de *clusters*

De acordo com a análise realizada anteriormente, foi possível estudar as relações existentes entre as ignições com causa associada às redes elétricas e um conjunto de variáveis, em relação à distribuição de frequências das ignições por classes daquelas variáveis, bem como das suas relações espaciais. Concluída a análise exploratória, toda a informação foi classificada em grandes grupos de ignições com características das variáveis analisadas semelhantes.

Realizou-se, iterativamente, um conjunto de classificações multivariadas definindo selecionando diferentes variáveis e diferente número total de grupos, de modo a chegar a um número reduzido de clusters que tivesse significado, de acordo com as análises anteriormente realizadas. Na Figura 40 mostra-se a classificação em três grupos de ignições com características semelhantes, mostrando-se a distribuição de cada uma das variáveis usadas na classificação. A maior sobreposição entre os *boxplots* indica uma menor capacidade de a variável fazer a separação das ignições entre grupos, caso que é destacado pela distribuição da variável distância às LE (*DistLin*).

De acordo com a distribuição dos valores de cada variável, verifica-se que em termos gerais, as variáveis altitude, declive e altura das copas apresentam valores mais elevados no *cluster* 3. Por outro lado, os valores mais elevados de humidade relativa e de velocidade do vento, com temperaturas mais baixas, discriminam as ignições associadas ao *cluster* 2. Por fim, o *cluster* 1 é caracterizado por ter, em termos de mediana, os valores mais baixos de declive e de altura da copa, e valores ligeiramente mais elevados de distância ao edificado.

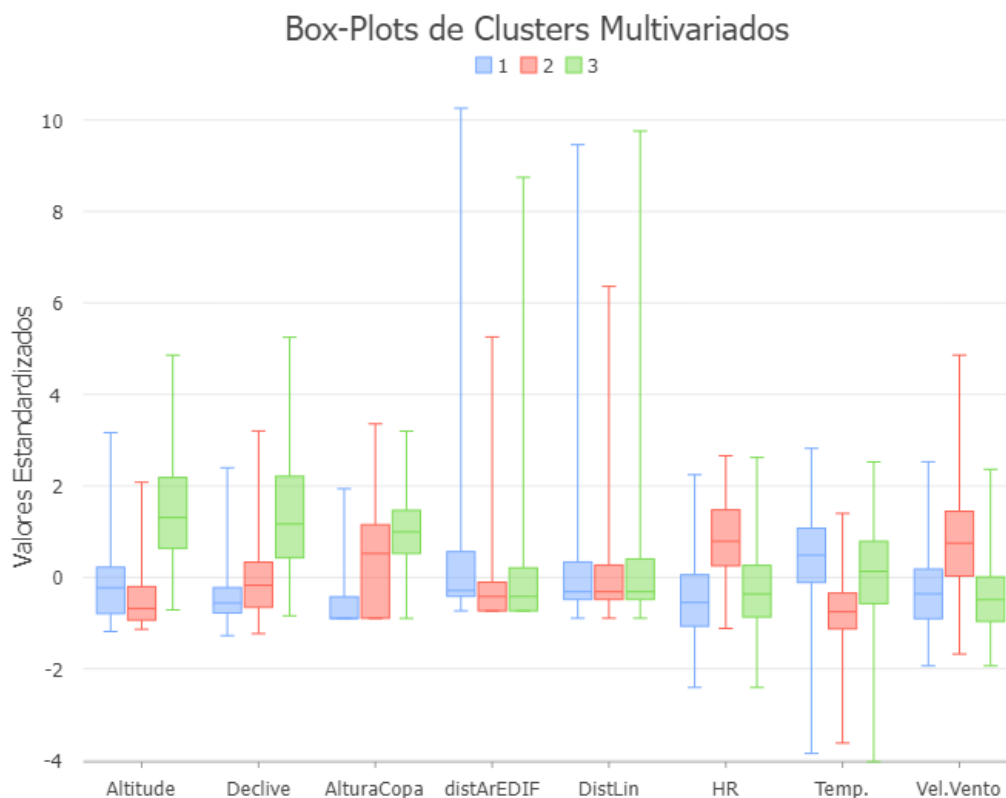


Figura 40: Distribuição das variáveis usadas na classificação dos três clusters considerados.

Na Figura 41 mostra-se o mapa com os referidos *clusters* associados a cada uma das ignições com causa associada 211. Realizou-se uma caracterização descritiva geral das características de cada um dos *clusters* de acordo com os resultados que se observam na Tabela A11.10.

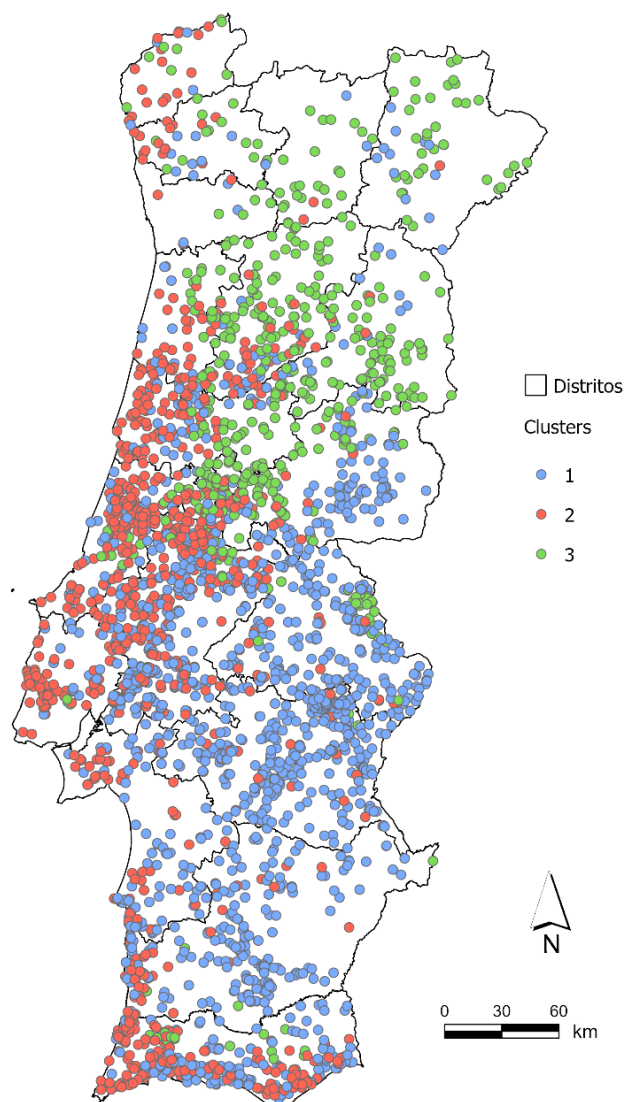


Figura 41: Distribuição espacial das ignições com causa 211 de acordo com a classificação multivariada em *clusters*.

Cluster 1: representa o conjunto das ignições que ocorrem maioritariamente em **agricultura** (logo altura de copas da classe inferior a 1m), com a **maior distância ao edificado** (acima dos 500m), **declives abaixo dos 15º**, **temperaturas elevadas** (superior a 30º), **humidades relativas baixas** (inferior a 30%) e **baixos valores de velocidade do vento** (10 e 20 km/h). **Genericamente representado no sul, particularmente no Alentejo e Algarve.**

Cluster 2: para além de áreas agrícolas, também existem ignições (cerca de 30%) associadas à floresta, particularmente em eucaliptais (como seria de esperar associada a uma maior percentagem de ignições em alturas de copas entre os 10m e os 20m), ignições que estão mais perto do edificado (até 250m), locais de menor altitude (inferior a 100m) e menor declive (inferior a 15º), com a maior frequência de valores de humidade relativa mais elevados (zonas mais húmidas) e velocidades de vento mais elevadas (entre 20 e 30 km/h). **Globalmente representado na zona litoral e Vale do Tejo.**

Cluster 3: representa o conjunto de ignições que são responsáveis por 80% da área total queimada, logo associadas a grandes incêndios (superiores a 1000 ha). Estas ignições estão associadas a áreas florestais, principalmente de eucalipto e de pinheiro-bravo, mas também áreas cobertas com matos, logo com distribuição mais frequente nas classes de altura das copas mais elevadas. A distância ao edificado é

genericamente intermédia em relação aos outros dois clusters. São locais de maior altitude e de maior declive. Os valores de humidade relativa e de temperatura representam condições intermédias relativamente aos restantes clusters, e velocidades de vento predominantemente abaixo dos 20 km/h. **Em geral representado nas regiões do interior Centro e Norte.**

3.3.4 Áreas de estudo piloto

Com base no histórico de incêndios e a análise de *clusters*, foram seleccionadas duas áreas de estudo piloto onde se realiza a análise do perigo de incêndio e exposição das linhas aos incêndios. Na Figura 42 apresentam-se as áreas de estudo seleccionadas.

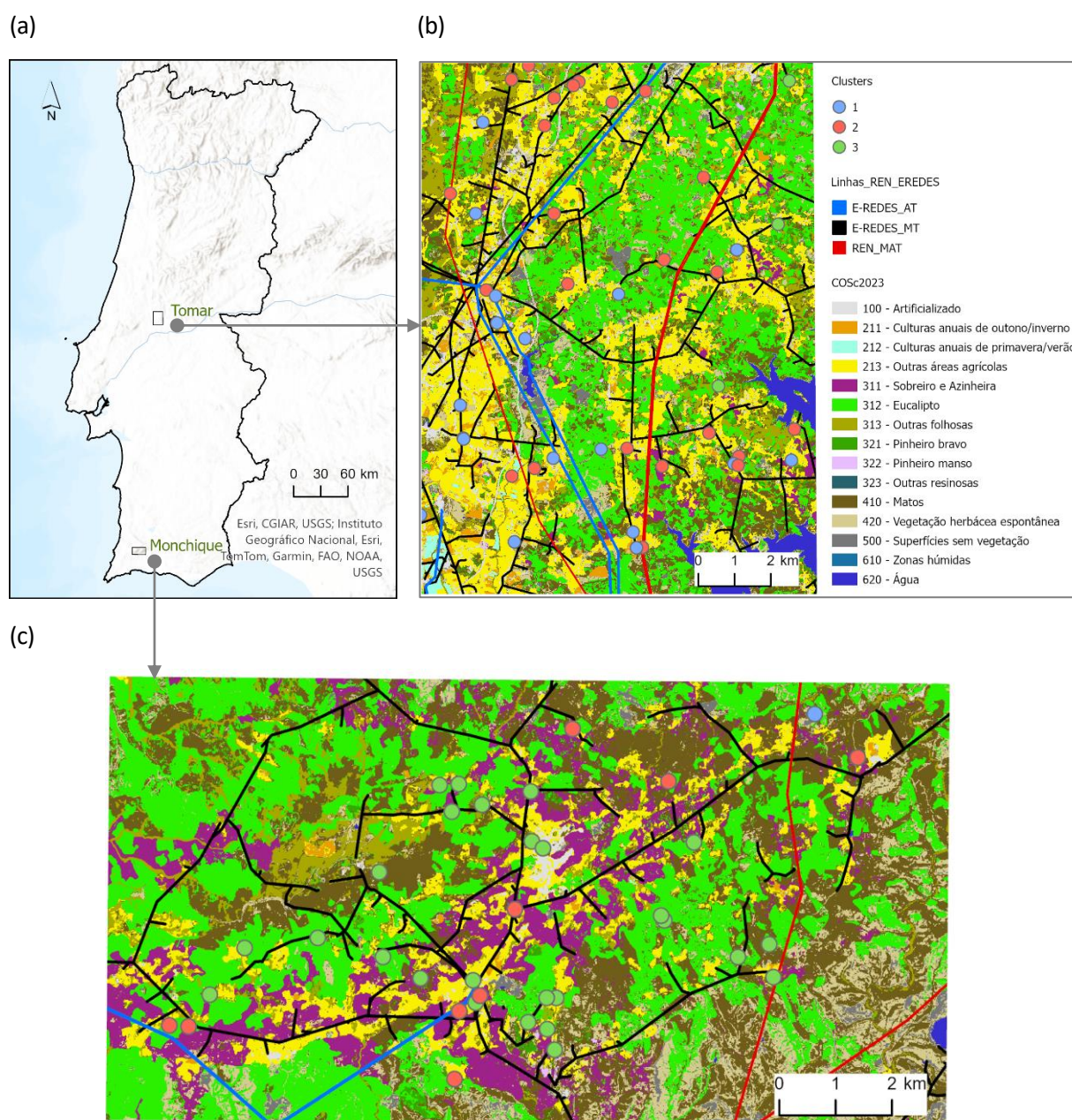


Figura 42: Áreas de estudo piloto seleccionadas para a caracterização do regime do fogo, avaliação do perigo de incêndios e exposição das linhas elétricas aos incêndios, de acordo com a classificação de clusters obtida. Para além dos *clusters*, encontram-se sobrepostas grandes classes de ocupação do solo (COS2018) e as diferentes tipologias das linhas elétricas.

3.4 Perigo de incêndio

A avaliação do perigo de incêndio, nas áreas de estudo piloto selecionadas, é realizada com os descritores do fogo estimados a partir de simulações de comportamento e propagação do fogo. O histórico de incêndios em cada uma das paisagens, as condições meteorológicas associadas à propagação de alguns incêndios e a vegetação (histórico e atual) são usados na calibração do sistema de modelação e na simulação de referência.

A caracterização do regime do fogo em cada uma das áreas de estudo é essencial na avaliação do respetivo perigo de incêndio e precede a calibração. Na seção seguinte realiza-se a caracterização do regime do fogo e meteorologia associada (piro-meteorologia) para as duas áreas de estudo selecionadas.

3.4.1 Regimes do fogo

a) Área de estudo de Tomar

A Figura 46 mostra os mapas do histórico de incêndios, de acordo com o atlas de perímetros de áreas queimadas (ICNF), para o período compreendido entre 1975 e 2023. Esta área caracteriza-se pela baixa frequência de incêndios (a maior parte ardeu menos de quatro vezes num período de 49 anos), tendo ardido pela última vez há mais de 10 e de 20 anos. A distribuição histórica das ignições refere-se ao período compreendido entre 2001 e 2023. Observam-se duas grandes áreas, a norte e a sul, com a densidade mais elevada de ignições (entre 4,4 e 8,6 ignições/km²). **Cerca de 70% dos incêndios têm menos de 100 ha** (Figura 43a), **e estes contribuem apenas com 7% da área total queimada** (Figura 43c), sendo o maior contributo (51%) devido a incêndios superiores a 1000 ha. Os anos que mais arderam foram 2005 e 2010 (Figura 43b), tendo 2009 sido o ano até ao qual já tinha ardido cerca de 50% do total no período em análise (2001-2023). O número máximo de vezes ardido foi 7 vezes, o que se traduz no máximo de 1 incêndio a cada 14 anos.

Em termos de piro-meteorologia considerando a distribuição da direção do vento por classe de área dos incêndios (Figura 44d), os ventos de noroeste são os mais frequentes, sendo os maiores incêndios (> 500 ha) dominados pelas nortadas.

Os incêndios analisados na área de estudo são caracterizados por uma propagação sob condições de severidade meteorológica, prevalecendo temperaturas superiores a 30º e humidades relativas inferiores a 30% (Figura 47e). Quanto ao vento, este é mais intenso no **cluster 1**, associado à temperatura média mais baixa e humidade relativa mais elevada, sendo a direção predominantemente de noroeste (Figura 44f). Em oposição o **cluster 4**, apresenta a temperatura média mais elevada e humidade relativa mais baixa, sendo aquele que tem a maior frequência de ventos de este. O **cluster 3** é o mais frequente, não havendo grandes diferenças para o **cluster 4**, exceto o maior número de dias de propagação do fogo com ventos de norte.

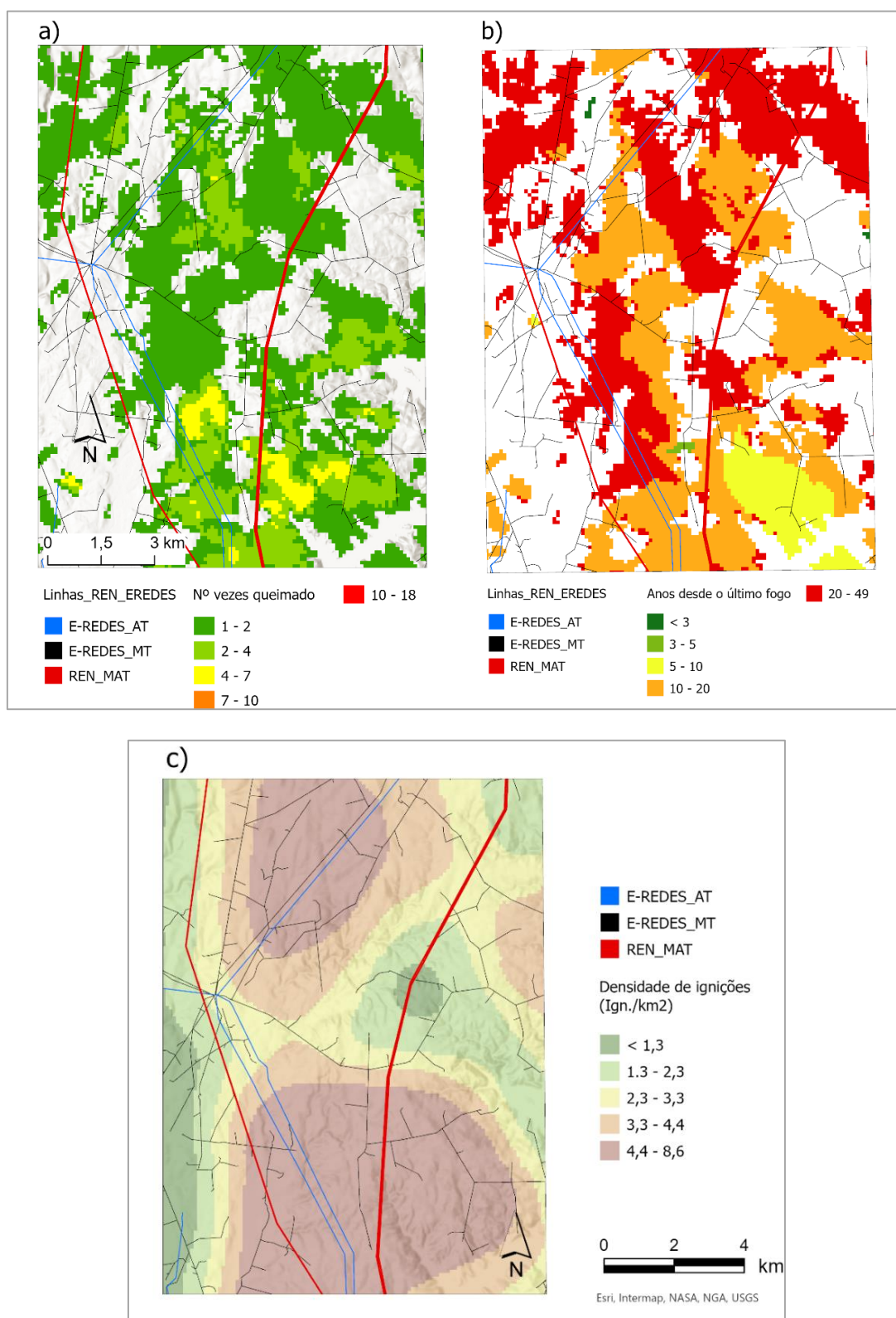


Figura 43: Caracterização do histórico de incêndios na área de estudo de Monchique. Mapas do número de vezes queimado (a); do número de anos desde o último incêndio (b) usando como referência o atlas nacional de áreas queimadas referente ao período entre 1975 e 2023 (ICNF); e da densidade de ignições (c) de acordo com o histórico entre 2001 e 2023.

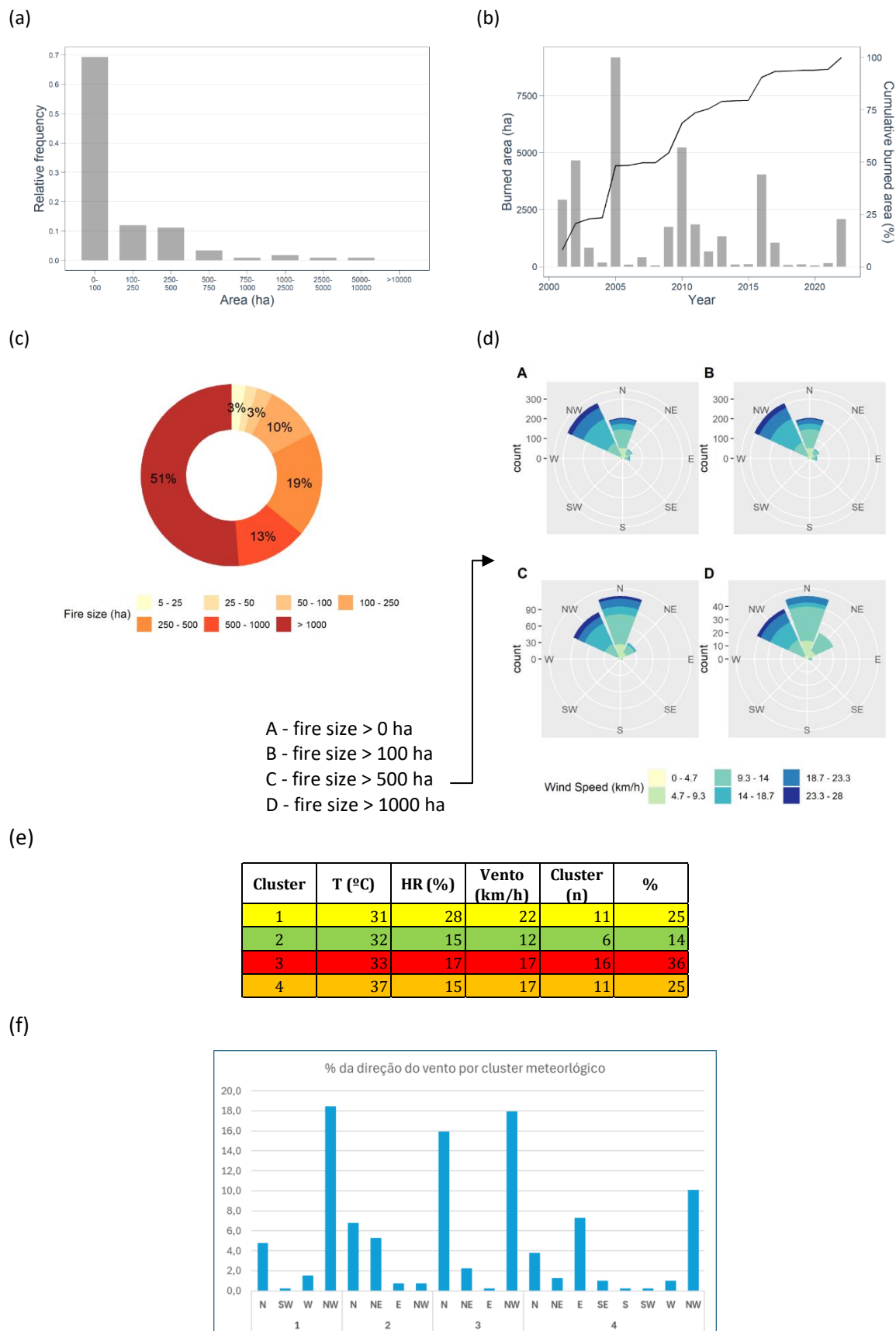


Figura 44: Caracterização do histórico de incêndios de acordo com os perímetros de áreas queimadas (2001 a 2023). Distribuição dos incêndios por classe de área ardida (a); distribuição anual de área ardida (b); contribuição de cada classe de tamanho de incêndio para o total da área queimada (c); frequência da distribuição das direções do vento, por classe de área queimada (d); meteorologia associada aos dias de propagação de alguns incêndios históricos (e); e distribuição das percentagens de direção do vento em cada cluster (f).

b) Área de estudo de Monchique

A Figura 48 mostra os mapas do histórico de incêndios, de acordo com o atlas de perímetros de áreas queimadas (ICNF), para o período compreendido entre 1975 e 2023. Em termos de **regime do fogo** esta área caracteriza-se pela ocorrência esporádica de incêndios (Pereira et al., 2022) que, no entanto, são habitualmente muito intensos, em eucaliptais e pinhais sob clima Supratemperado.

Verifica-se que a maior parte da área de estudo ardeu uma a duas vezes e menos de quatro vezes, num período de 49 anos, tendo ardido pela última vez entre 5 a 10 anos, e a oeste numa área menor há pelo menos 20 anos (Figura 45a e b). A distribuição histórica das ignições refere-se ao período compreendido entre 2001 e 2023. É a sudoeste que se observa a densidade mais elevada de ignições (entre 1,6 e 3,1 ignições/km², **Figura 45c**). **Cerca de 80% dos incêndios têm menos de 100 ha** (Figura 46a), **e estes contribuem apenas com menos de 1% da área total queimada** (Figura 45c), sendo a quase totalidade devida a mega-incêndios (incêndios superiores a 1000 ha). Os anos que mais arderam foram 2003 e 2018 (Figura 46b), tendo 2003 contribuído com quase 75% do total e o restante com os incêndios de 2018, no período em análise (2001-2023).

Em relação à pirometeorologia, considerando a distribuição da direção do vento por classe de área dos incêndios (Figura 46d), claramente que o regime de incêndios está relacionado com ventos de Noroeste (Figura 46f). Os incêndios analisados são caracterizados por uma propagação sob condições de severidade meteorológica, prevalecendo temperaturas superiores a 30º e humidades relativas inferiores a 30% (Figura 46e) nos **clusters 1 e 3**. O **cluster 2** caracteriza um conjunto de dias em que os incêndios propagaram com uma menor temperatura e maior humidade relativa, mas com maior velocidade média do vento (24 km/h).

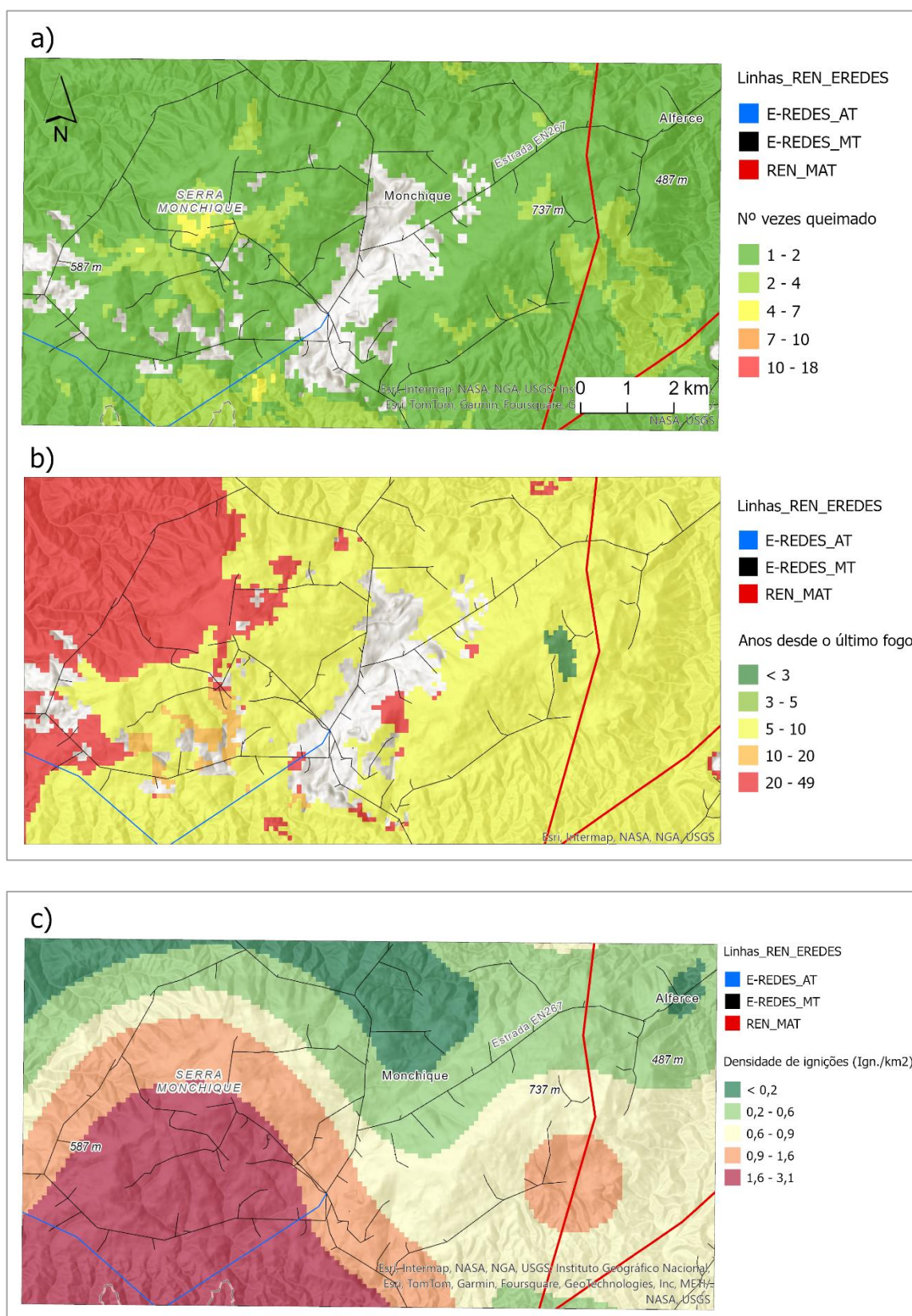


Figura 45: Caracterização do histórico de incêndios na área de estudo de Monchique. Mapas do número de vezes queimado (a); do número de anos desde o último incêndio (b) usando como referência o atlas nacional de áreas queimadas referente ao período entre 1975 e 2023 (ICNF); e da densidade de ignições (c) de acordo com o histórico entre 2001 e 2023.

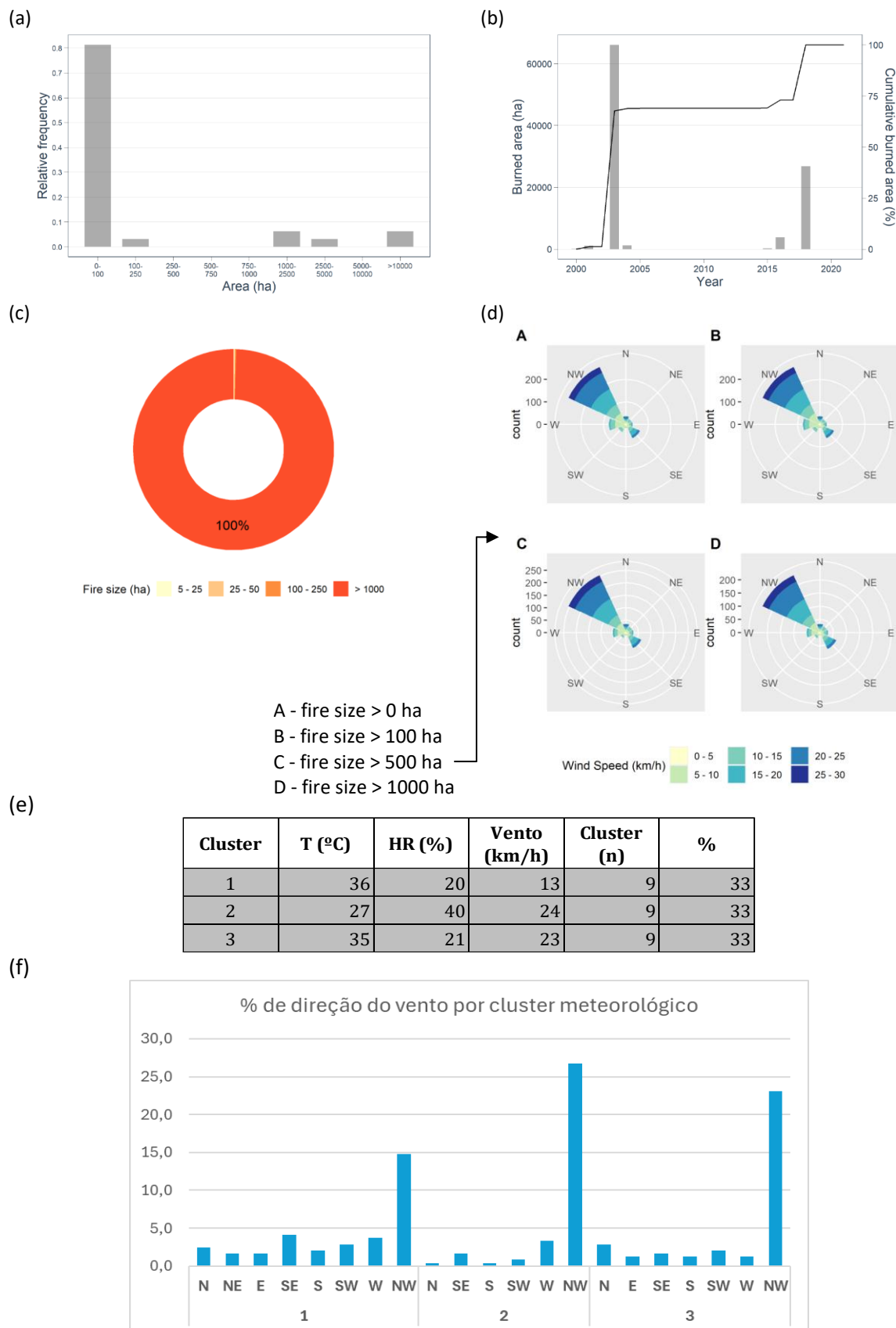


Figura 46: Caracterização do histórico de incêndios de acordo com os perímetros de áreas queimadas entre 2001 e 2023. Distribuição dos incêndios por classe de área ardida (a); distribuição anual de área ardida (b); contribuição de cada classe de área de incêndio para o total da área queimada (c); frequência da distribuição das direções do vento, por classe de área queimada (d); meteorologia associada aos dias de propagação de alguns incêndios históricos (e); e distribuição das percentagens de direção do vento em cada *cluster* (f).

3.4.2 Descritores do fogo

De seguida apresenta-se a análise de perigo de incêndio à escala da paisagem, com base nos resultados das simulações, de acordo com a metodologia e especificações anteriormente apresentadas. De referir que o cenário de referência simulado, usou em cada uma das áreas de estudo o mapa de vegetação (modelos de combustível) classificado para o ano de 2024, com base no histórico do regime de incêndios e respetiva pirometeorologia, de acordo com os resultados obtidos na calibração do sistema de simulação.

Nas Figuras 47 e 48, apresentam-se as estimativas para a probabilidade anual de arder e para a altura de chama para as áreas de estudo piloto de Tomar e Monchique, respetivamente. Relativamente a Tomar é na zona a sul, perto de Abrantes, que se estima uma maior probabilidade de arder (classe elevado) quando comparado com a média anual histórica que é de 4,7% (dentro da classe moderada, a amarelo). Em relação à altura de chama, estimam-se pontualmente chamas maiores que 2,5m, com uma maior frequência a sul, na mesma área de maior probabilidade de arder (Figura 47). Grande parte do corredor central, com moderada probabilidade de arder, estima-se que os fogos sejam de baixa/média intensidade, com alturas de chama entre 1,5m e 3,5m.

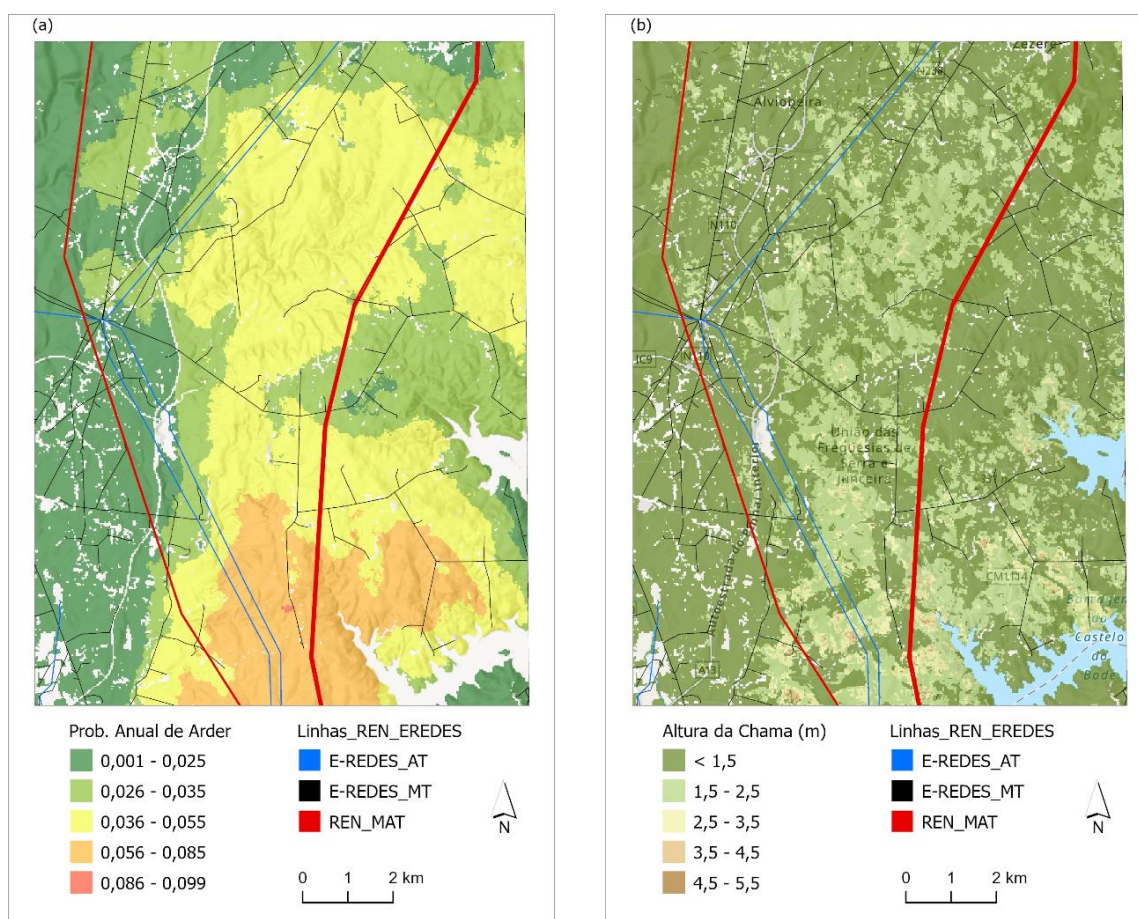


Figura 47: Estimativa dos descritores do fogo obtidos por simulação, para a área de estudo de Tomar: probabilidade anual de arder (a) e altura de chama (b). O valor de referência (histórico) de área média ardida anualmente é de 0,047 (4,7%) valor incluído na terceira classe (moderada). Relativamente à altura de chama, o valor de referência é de 2,5 m, valor a partir do qual os incêndios podem apresentar uma maior dificuldade de supressão devido à sua intensidade. As classes (com uma paleta de verde a vermelho/castanho) correspondem a: muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada.

Na área de estudo de Monchique o padrão geral da distribuição da probabilidade anual de arder e da altura de chama é semelhante ao da área de estudo de Tomar, ou seja, valores mais elevados a Sul/Sudoeste. No entanto, no caso da probabilidade anual de arder, aproximadamente metade da área de estudo encontra-se nas classes elevada e muito elevada (Figura 48a), apesar dos valores de altura de chama se manterem entre os 1,5m e 3,5m, ou seja, estimam-se fogos de intensidade baixa a moderada, pontualmente com alguns locais onde esta pode ser elevada (Figura 48b). Em Monchique, a média anual histórica de área queimada é de 4,2%, igualmente enquadrada na classe de probabilidade anual de arder moderada.

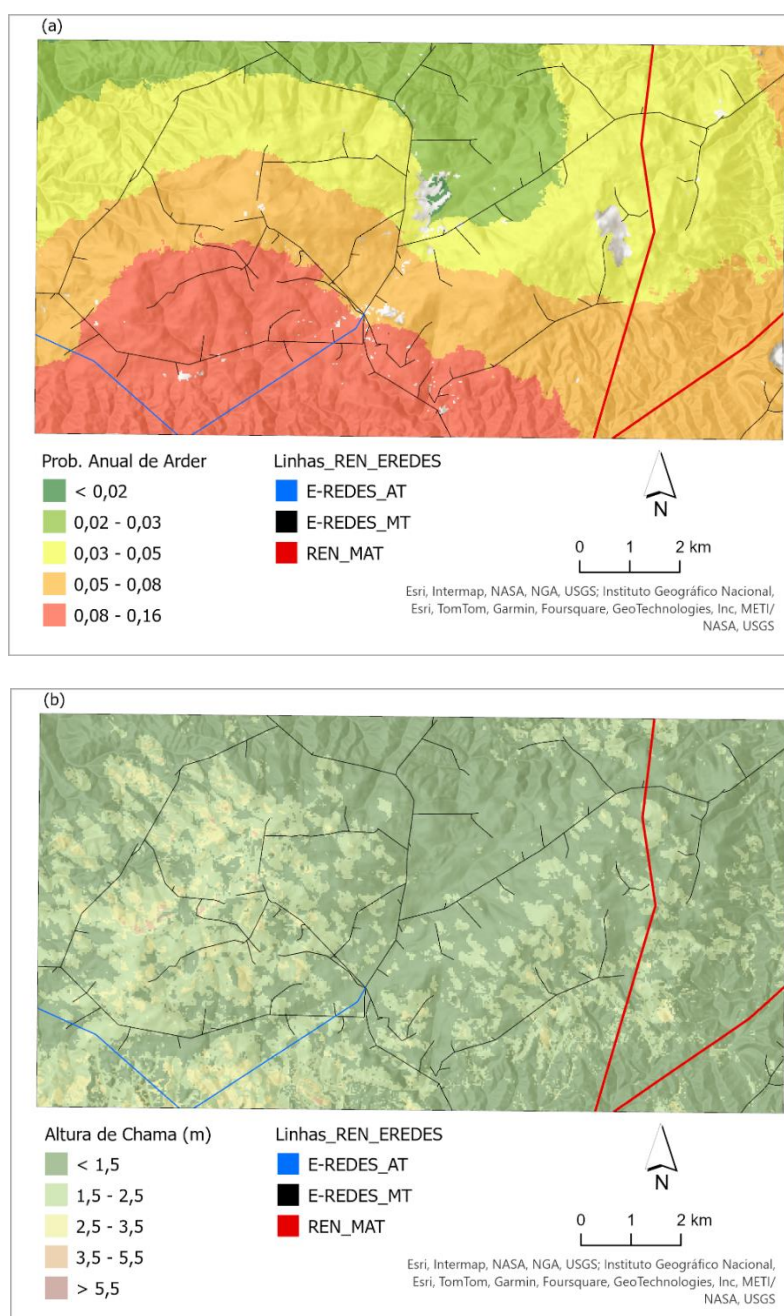


Figura 48: Estimativa dos descritores do fogo obtidos por simulação, para a área de estudo de Monchique: probabilidade anual de arder (a) e altura de chama (b). O valor de referência (histórico) de área média ardida anualmente é de 0,042 (4,2%) valor incluído na terceira classe (moderada). Relativamente à altura de chama, o valor de referência é de 2,5 m, valor a partir do qual os incêndios podem apresentar uma maior dificuldade de supressão devido à sua intensidade. As classes (com uma paleta de verde a vermelho/castanho) correspondem a: muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada.

Em termos gerais, em Tomar 3% da área encontra-se com probabilidade média anual de arder moderada, e 10% com elevada probabilidade. No caso da altura de chama, e, portanto, relação com a potencial intensidade de um incêndio, apenas em cerca de 4% da área se estima que a altura de chama seja superior a 2,5m, sendo indicativo de incêndios dentro da capacidade de supressão. No caso de Monchique, cerca de 52% da área tem uma probabilidade de arder elevada e muito elevada, e 33% na classe moderada. Relativamente à altura de chama, estima-se que na classe moderada esteja incluída cerca de 5% da área, sendo muito marginal a área ocupada pela classe elevada (0,2%).

Combinando os mapas da probabilidade anual de arder com a altura de chama (de acordo com a matriz da Tabela 11) obtêm-se os mapas de perigo de incêndio, traduzindo pela estimativa da maior ou menor probabilidade de ocorrência de incêndios, de maior ou menor intensidade, para as áreas de estudo de Tomar (Figura 49) e de Monchique (Figura 50).

No caso de Tomar, o maior perigo de incêndio (mapeado nas classes elevado e muito elevado) encontra-se destacado por todo o corredor central, particularmente na zona sul. No geral, existem cerca de 6427 ha, onde o perigo de incêndio é elevado e muito elevado, correspondente a cerca de 4% da área de estudo. Relativamente a Monchique, as principais áreas com perigo de incêndio elevado e muito elevado, localizam-se a oeste e sudoeste, com particular destaque para a classe de perigo muito elevado que ocupa 3699 ha, correspondendo a 3% da área de estudo. Conjuntamente as classes de perigo elevado e muito elevado ocupam 6676 ha, ou seja, cerca de 5% da área de estudo.

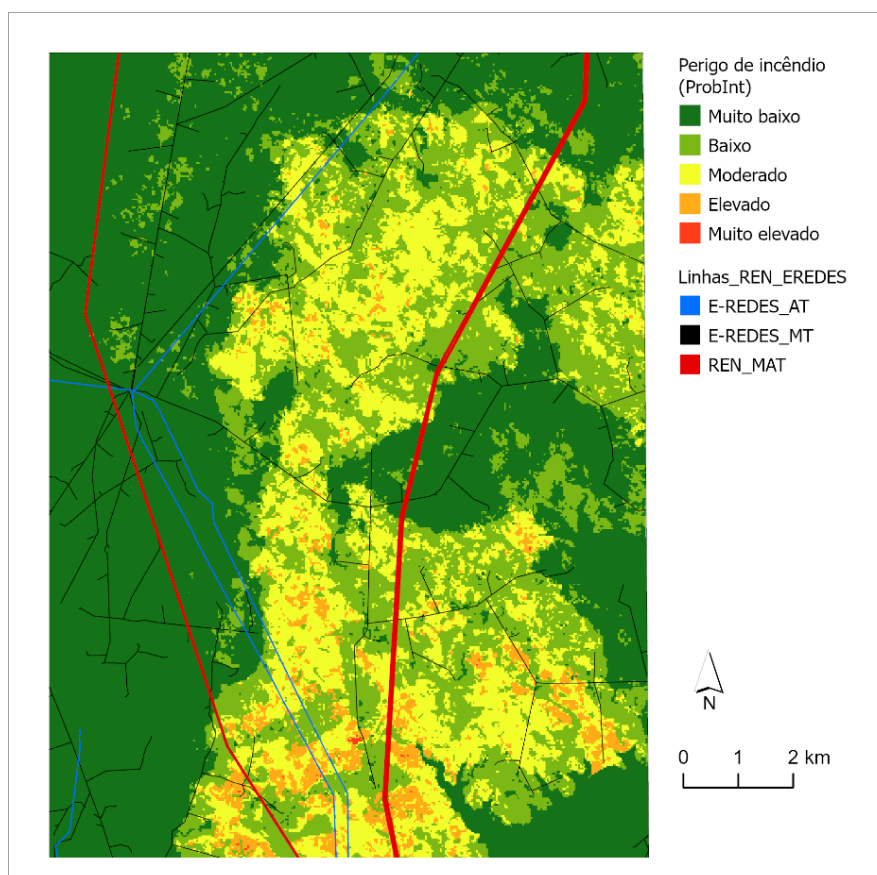


Figura 49: Mapa do perigo de incêndio em Tomar, que resulta da combinação das estimativas da probabilidade anual de arder e do tamanho de chama, de acordo com a matriz da Tabela 11. O mapa permite identificar os locais onde são mais ou menos prováveis, incêndios de maior/menor intensidade (no primeiro caso traduzido pela classe de perigo muito elevado, e no segundo pela classe de perigo muito baixo).

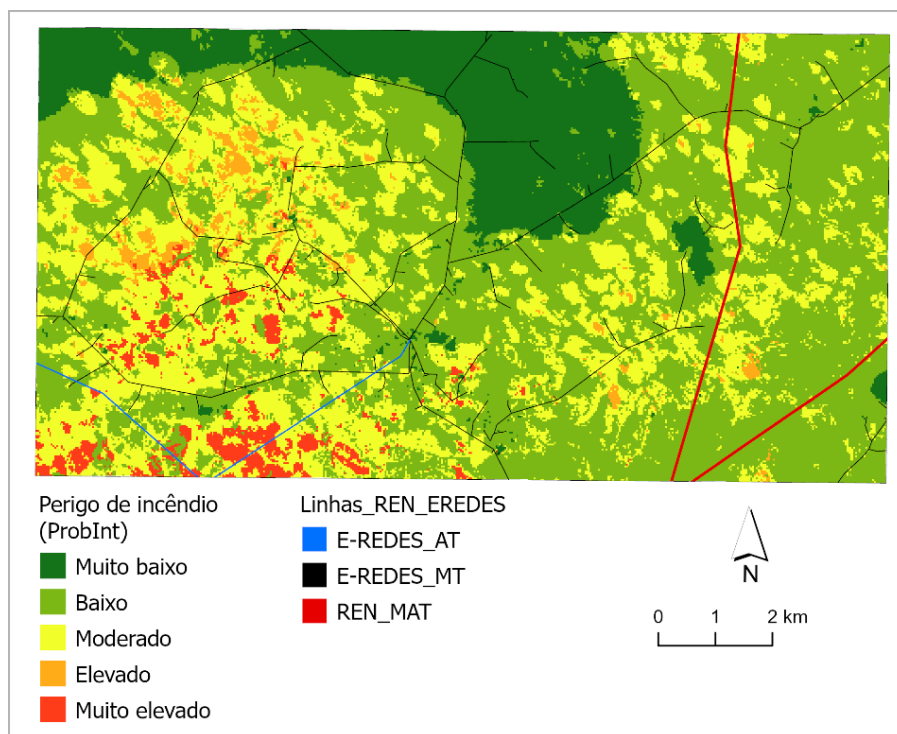


Figura 50: Mapa do perigo de incêndio em Monchique, que resulta da combinação das estimativas da probabilidade anual de arder e do tamanho de chama, de acordo com a matriz da Tabela 11. O mapa permite identificar os locais onde são mais ou menos prováveis, incêndios de maior/menor intensidade (no primeiro caso traduzido pela classe de perigo muito elevado, e no segundo pela classe de perigo muito baixo).

3.5 Exposição das linhas elétricas aos incêndios

Nas Figuras 51 e 52 apresentam-se os mapas do perigo de incêndio nos corredores e envolvente (60 m para cada lado) das linhas elétricas, onde é possível identificar os troços mais expostos aos incêndios. Os troços com maior perigo de incêndio (classes elevado e muito elevado), sinalizam áreas prioritárias de proteção contra os incêndios. Estas sinalizam áreas onde a gestão de combustíveis bem como medidas de proteção das infraestruturas elétricas devem ser alvo de monitorização e de implementação de medidas estratégicas.

Uma análise comparativa da distribuição dos valores em ambas as áreas de estudo (Figura 53), indica uma maior exposição global aos incêndios das linhas elétricas em Monchique, como se pode verificar por uma maior frequência de troços expostos a um perigo de incêndio acima da classe moderado.

Em relação à distribuição dos descritores do fogo por tipologia da linha (Tabela 12), verifica-se que num cenário de referência, mas onde são considerados os 25% dos valores mais extremos (P75), no caso de Tomar, a **probabilidade média de arder é mais elevada (6%) na AT (E-REDES), mas é na MT (30 kV) que a altura de chama surge mais elevada (1,6m)**. Em termos de média da probabilidade de arder, apenas na MAT (150 kV) ela é ligeiramente superior ao histórico (5%), mas sempre com valores de altura de chama abaixo dos 2,5 m (dentro da capacidade de supressão). É na MT que se estimam os valores mais elevados de altura de chama (3,1 m).

Em Monchique e na mesma situação de P75, os **valores de probabilidade anual de arder e de altura de chama são mais elevados, 14% e 2,3 m, respetivamente, e também na AT**. Em termos de médias, a probabilidade anual de arder é superior ao histórico para todas as tipologias de linha, sendo máxima na

AT (60 kV), com altura média de chama 1,7 m (também o valor médio mais elevado). É na AT e MT que se estimam os valores mais elevados de probabilidade de arder (15%) e de altura de chama (2,9 m), respetivamente.

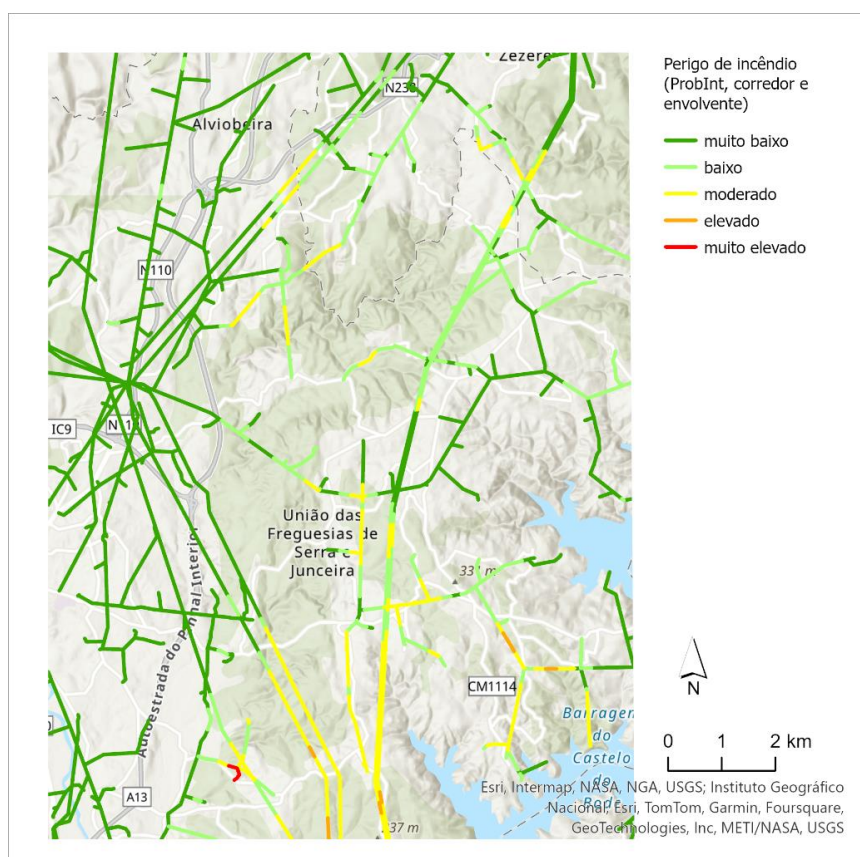


Figura 51: Mapa do perigo de incêndio em Tomar, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60m.

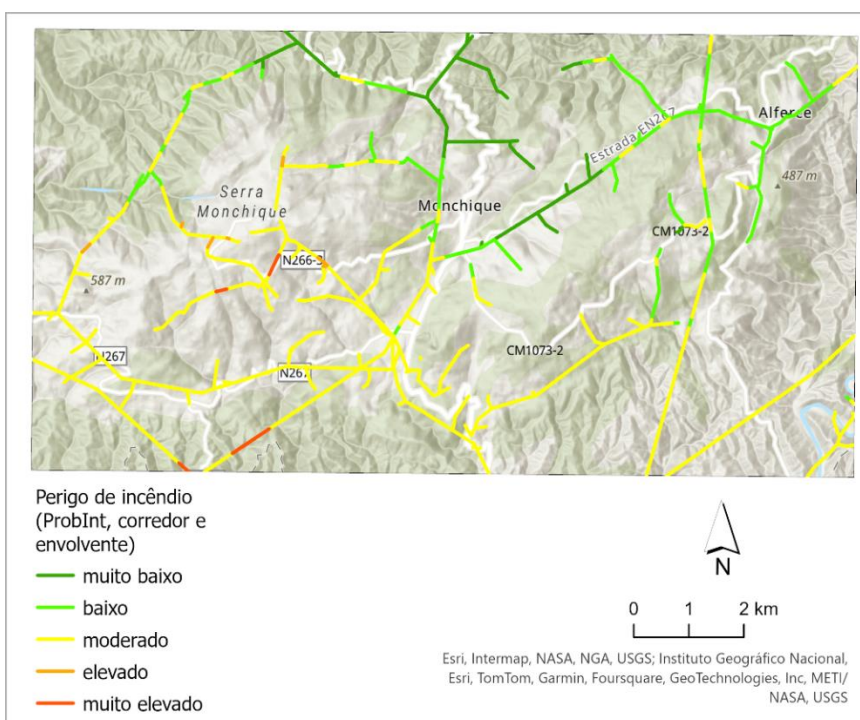


Figura 52: Mapa do perigo de incêndio em Monchique, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60m.

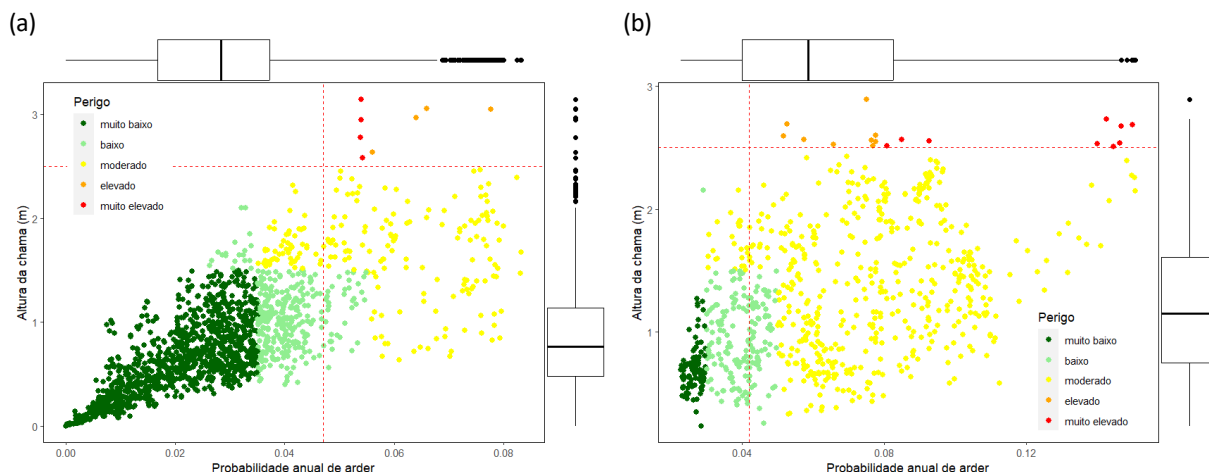


Figura 53: Distribuição dos descritores do fogo probabilidade anual de arder, altura de chama e perigo de incêndio, nos corredores das linhas elétricas e envolvente de 60 m, nas áreas de estudo de Tomar (a) e Monchique (b). As linhas a tracejado representam os valores de referência para área anual ardida e altura de chama em cada uma das áreas de estudo.

Tabela 12: Estatísticas descritivas da probabilidade anual de arder e altura de chama, por tipologia de linha existente nas áreas de estudo de Tomar e Monchique.

(a)

TOMAR			Probabilidade anual de arder / Altura de chama (m)			
			Tensão	média	mediana	p75
REN	Muito alta	150 kV	0,05 / 1,1	0,04 / 1,1	0,05 / 1,4	0,08 / 2,1
		220 kV	0,02 / 1,1	0,02 / 1,1	0,02 / 1,4	0,07 / 2,1
E-REDES	Alta	60 kV	0,04 / 0,8	0,03 / 0,9	0,06 / 1,1	0,08 / 2,1
	Media	30 kV	0,02 / 1,1	0,01 / 1,1	0,02 / 1,6	0,05 / 3,1
		15 kV	0,03 / 0,4	0,03 / 0,5	0,04 / 0,6	0,08 / 3,1

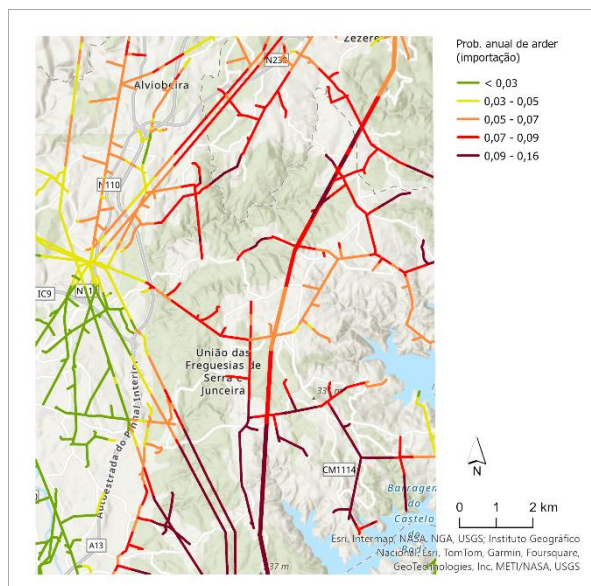
(b)

MONCHIQUE			Probabilidade anual de arder / Altura de chama (m)			
			Tensão	média	mediana	p75
REN	Muito alta	150 kV	0,05 / 1,2	0,05 / 1,2	0,06 / 1,6	0,08 / 2,2
		220 kV	0,06 / 0,7	0,06 / 0,7	0,06 / 0,9	0,07 / 1,4
E-REDES	Alta	60 kV	0,13 / 1,7	0,12 / 1,7	0,14 / 2,3	0,15 / 2,7
	Media	15 kV	0,06 / 1,2	0,06 / 1,3	0,08 / 1,6	0,12 / 2,9

Os mapas das Figuras 54 e 55 estimam a probabilidade de cada troço das linhas elétricas importarem ou exportarem incêndios, com base na localização das ignições fora dos corredores e envolvente, ou dentro dos corredores e envolvente, respetivamente. Considerando como referência a probabilidade de arder aproximadamente igual a 5% em Tomar e de 4% em Monchique, é possível identificar os troços das linhas elétricas mais críticos de importação e de exportação de incêndios.

No geral, verifica-se que os corredores das linhas elétricas são importadores de área ardida, ou seja, a maior parte das ocorrências que caem fora destes geram áreas ardidas que se propagam para o seu interior. Isto é visível por toda a área de tomar que tem probabilidades de arder acima dos 5%, com valores máximos entre os 9% e os 16%, principalmente a sul da área de estudo (Figura 54a). Com uma menor percentagem (superior a 3%), estas áreas são, no entanto, também exportadoras de área ardida (Figura 54b).

(a)



(b)

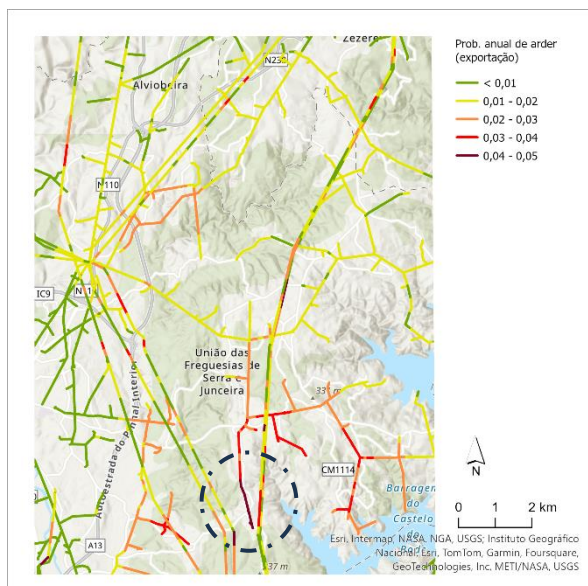


Figura 54: Probabilidade anual de arder, calculada a partir de ignições que ocorrem fora do corredor das linhas e respetiva envolvente (60 m) de modo a avaliar a importação de área ardida (a), e a mesma probabilidade, mas usando a área ardida de ignições que ocorrem dentro do corredor e envolvente às linhas elétricas de modo a avaliar a exportação de área ardida (b), para a área de estudo de Tomar. Notar as diferentes escalas de cores utilizadas.

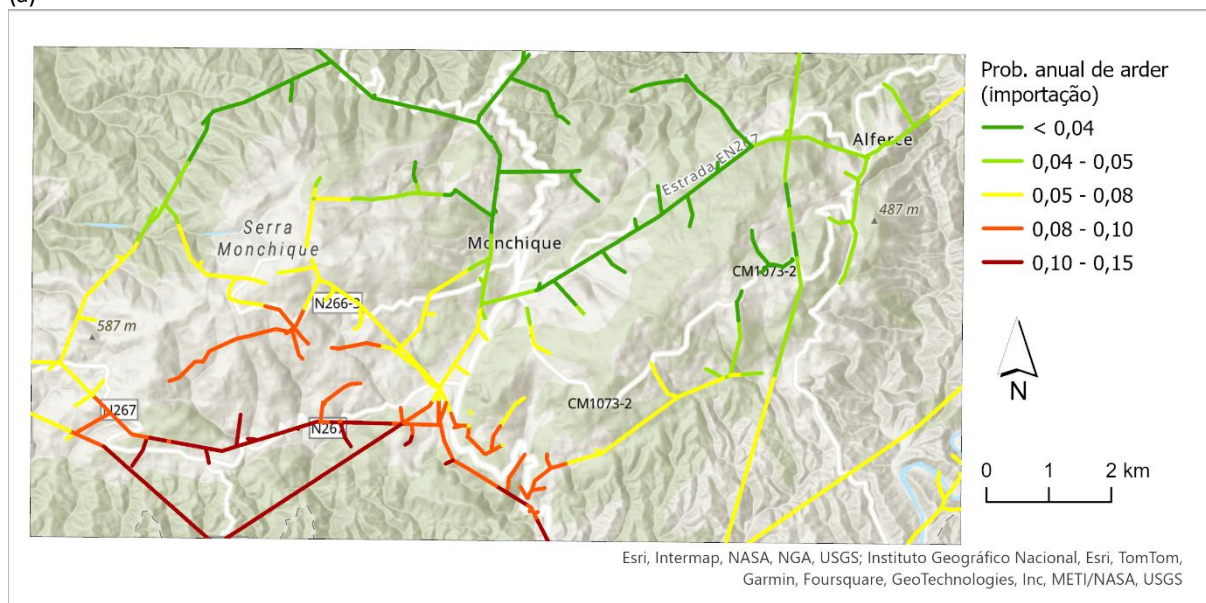
No caso de Monchique, a situação é semelhante prevalecendo a importação de áreas ardidas pela sua maior probabilidade de arder a sul, onde maioritariamente temos valores acima dos 5%, e até valores mais elevados, acima de 8% a sudoeste (Figura 55a). Em relação à exportação de área ardida, os valores de probabilidade anual de arder devido a ignições com origem no interior dos corredores e envolvente, é significativamente baixa (Figura 55b), estimando-se valores inferiores a 2%.

No Tabela 13, apresenta-se a contabilização da probabilidade média anual calculada para importação e exportação de áreas queimadas, para as três tipologias de linhas elétricas. Em geral, e para as duas áreas de estudo, a probabilidade anual de arderem os corredores, por incêndios que se localizam fora destes, é **6 vezes superior** à probabilidade de arderem devido a incêndios com ignição dentro dos corredores. Em Tomar, é na MAT que a probabilidade anual de arder devida à importação de incêndios é maior, sendo este valor em Monchique mais elevado para a MAT. Nesta área de estudo, não há diferenciação entre a tipologia de linha para a probabilidade anual de arder devido a ignições que ocorrem dentro dos corredores, sendo igual a 1%. Esta probabilidade em Tomar é máxima na AT, mas apenas de 2%.

Tabela 13: Média das probabilidades anuais para a área ardida que é importada para os corredores das linhas (ignições fora destes) e exportada para fora dos corredores (ignições dentro dos corredores das linhas).

Tensão		Tomar		Monchique	
		Prob. Anual Exportada	Prob. Anual Importada	Prob. Anual Exportada	Prob. Anual Importada
E-REDES	AT	0,02	0,07	0,01	0,11
	MT	0,01	0,06	0,01	0,06
REN	MAT	0,01	0,08	0,01	0,05
	Média	0,01	0,06	0,01	0,06

(a)



(b)

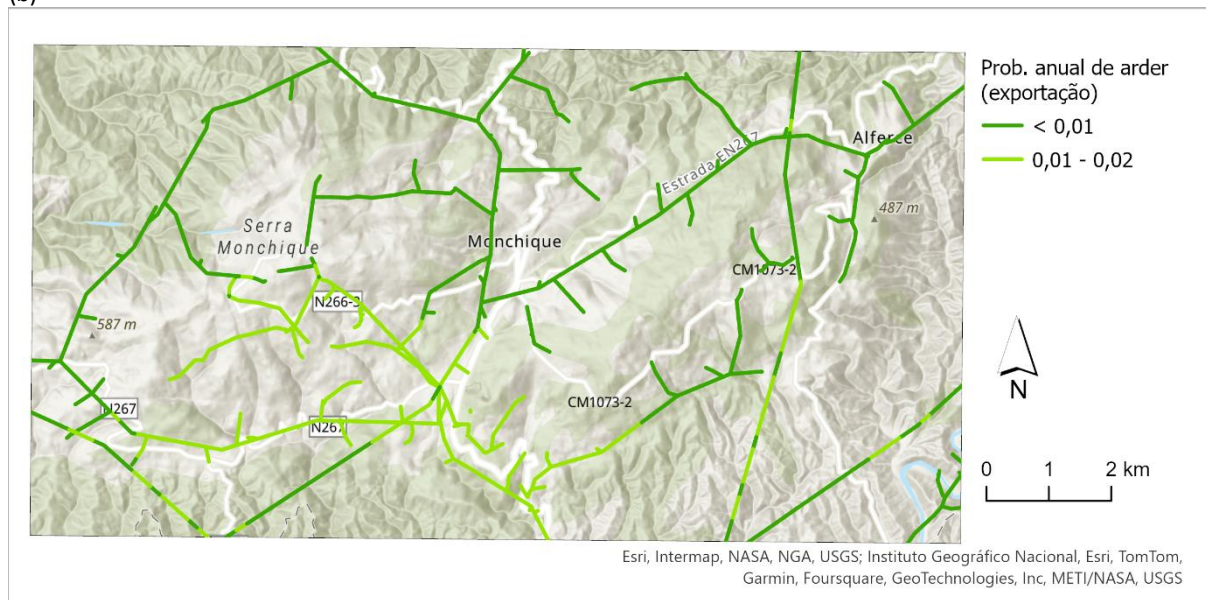


Figura 55: Probabilidade anual de arder, calculada a partir de ignições que ocorrem fora do corredor das linhas e respetiva envolvente (60 m) de modo a avaliar a importação de área ardida (a), e a mesma probabilidade, mas usando a área ardida de ignições que ocorrem dentro do corredor e envolvente às linhas elétricas de modo a avaliar a exportação de área ardida (b), para a área de estudo de Monchique. Notar as diferentes escalas de cores utilizadas.

Por fim, os resultados das simulações mostram que o número de ignições anuais aumenta com o aumento da distância às linhas, sendo o efeito da distância mais notório em Tomar, muito provavelmente devido a ser uma paisagem mais agrícola. Para além disto Tomar, tem entre 3 a 4 vezes mais ignições anuais. Se normalizarmos o número de ignições anuais pela área dos corredores das linhas elétricas, as diferenças entre as duas áreas diminuem. Ainda assim, o regime do fogo em Tomar (muitas ignições com menor área ardida) sobrepõe-se ao facto de ter maior área de linhas elétricas (Figura 56).

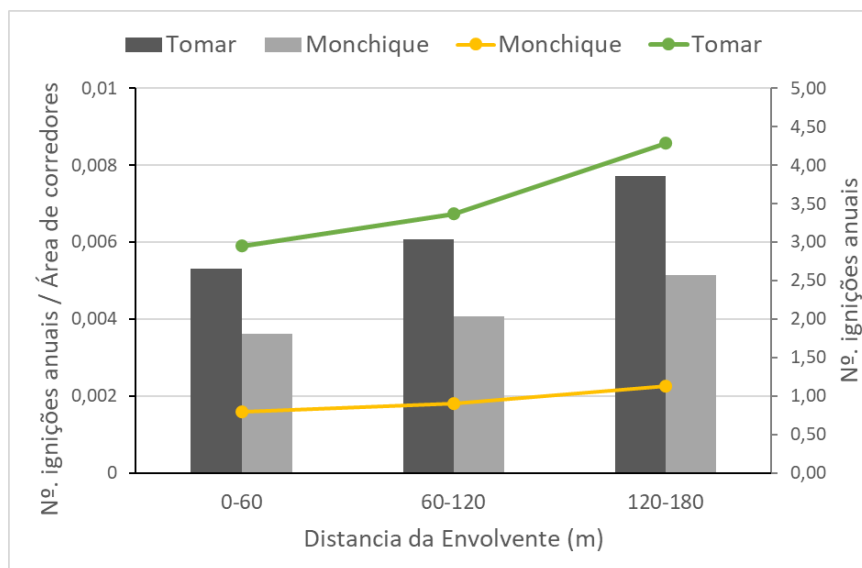


Figura 56: Comparação entre o número de ignições anuais (eixo Y à direita) em função de três níveis de distância na envolvente. Estes valores foram normalizados pela área de corredores associados às linhas elétricas (eixo Y à esquerda).

Apresenta-se a título ilustrativo na Figura 57 uma área sinalizada na Figura 54 por apresentar troços de diferentes tipologias de rede elétrica e sinalizados com elevada e muito elevada probabilidade de exportação de incêndios. Trata-se de uma área de grande heterogeneidade espacial de classes intercaladas de agricultura, eucaliptais, alguns pinhais, e matos, onde a altura da vegetação é frequentemente superior a 5m e mesmo 10m nos corredores e envolvente das linhas elétricas, o que pode justificar também o valor de probabilidade de ignição em média superior a 0,75. De referir que, segundo a legislação, para a manutenção da segurança das linhas elétricas, na MT a distância ao solo deve ser no mínimo 6,1m, podendo haver assim algum conflito com a altura das árvores existentes no local.

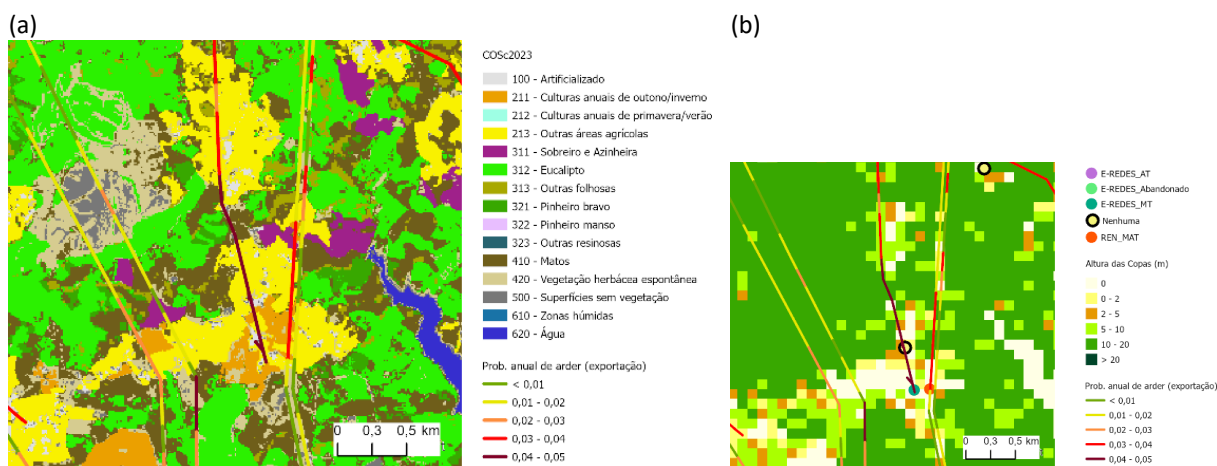


Figura 57: Área sinalizada pela elevada e muito elevada probabilidade anual de exportação de área ardida, em linhas de MT e MAT (ao centro). Cartografia de ocupação do solo COSc 2023 (a) e cartografia de altura da vegetação (b). Nesta última mostram-se duas ignições no histórico, associadas à MT e MAT.

3.6 Conclusões

Os principais resultados deste capítulo, que visou a análise dos principais fatores associados às ignições com causa elétrica 211, a avaliação do perigo de incêndio e exposição das linhas elétricas aos incêndios nas áreas de estudo de Tomar e Monchique, foram:

- a distribuição das ignições está fortemente relacionada com a ocupação do solo nas áreas de proteção (faixas de servidão) das linhas elétricas, particularmente com a agricultura e com a floresta (principalmente eucaliptal e pinhal), com a altura da vegetação, e com a distância às áreas edificadas. Foram também detetadas relações espaciais com variáveis meteorológicas (temperatura, humidade relativa e velocidade do vento);
- quando se considera a tipologia das linhas elétricas, na **AT** predominam ignições nas classes **agricultura e matos**. Na **MT** ocorrem predominantemente na **agricultura** e no **pinheiro-bravo**, neste último caso maioritariamente entre 10-20m de altura. Na **MAT** as ignições são mais frequentes na **agricultura** e nos **eucaliptais**, estes na classe de altura média 10-30m. Na tipologia “**Nenhuma**”, para além das ignições ocorrerem com maior frequência na **agricultura**, **ocorrem em seguida cerca de 10x mais nos pinhais e eucaliptais**, e nas classes de altura média 10-20m;
- de acordo com a importância das variáveis analisadas, obteve-se o **mapa da probabilidade de ignição associada às linhas elétricas**, onde as maiores probabilidades se distribuem principalmente no Vale do Tejo e região Sul, havendo uma boa concordância com as áreas de maior densidade histórica de ignições: **a probabilidade de ignição tem média igual a 0,80, mediana igual a 0,85 e o P80 igual a 0,93** nos polígonos com densidade de ignições superiores ao P80;
- construiu-se um mapa de **grupos de tipologias de ignições**, que na generalidade separam três grandes grupos:
 - a) **Cluster 1** (ignições em áreas agrícolas, distantes do edificado, baixos declives, temperaturas elevadas, humidades relativas baixas, e valores de velocidade do vento baixas; são ignições que **tipicamente ocorrem a Sul, particularmente no Alentejo e Algarve**);
 - b) **Cluster 2** (ignições que para além de ocorrerem em áreas agrícolas, aparecem em floresta, particularmente eucaliptais, mais perto das áreas edificadas, a baixa altitude e declive, zonas mais húmidas e de maior velocidade média do vento, **tipicamente na zona Litoral e no Vale do Tejo**); e
 - c) **Cluster 3**: ignições que estão associadas a grandes incêndios, em áreas florestais (pinhais e eucaliptais), e de matos, com distância ao edificado e variáveis meteorológicas com valores intermédios aos que caracterizam os dois clusters anteriores, em áreas de maior altitude e declive; **são ignições que ocorrem principalmente, no interior Centro e Norte, e também no Algarve**);
- selecionaram-se **duas áreas de estudo com regimes de fogo diferentes**, e de modo a assegurar as três tipologias de ignições anteriormente referidas: **Tomar** e **Monchique**, onde se analisou o perigo de incêndio na paisagem bem como a exposição de diferentes troços da rede elétrica.
- **Tomar**:
 - a) **Regime de incêndios**: área principalmente agrícola e florestal (eucaliptal e algum pinhal), bastante fragmentada, onde 70% das ignições dão origem a incêndios inferiores a 100 ha, mas que apenas contribuem para 7% do total da área ardida. Desde 1975 no máximo observa-se uma pequena área (8 ha) que ardeu 7 vezes, significando que no máximo ocorreu em média um incêndio a cada 7 anos.

A maior parte da área já não arde há mais de 6 anos, devido aos incêndios de 2018. É a Norte e a Sul que a probabilidade histórica de ignição com causa 211 é mais elevada, sendo atravessadas por todas as tipologias de linhas.

- b) **Perigo de incêndio:** grande extensão com moderada probabilidade anual de arder (média histórica anual de 4,7%), e uma área considerável a sul onde a probabilidade de arder é elevada (entre 5,5% e 8,5%). No que respeita à potencial intensidade de um incêndio (associada à dificuldade de supressão e esta à altura da chama), também é a sul que se apresentam manchas de maior extensão onde a altura de chama é superior a 2,5m. Esta área é atravessada por todas as tipologias de rede elétrica, e apresenta algumas manchas dispersas onde o perigo de incêndio é elevado (combinando as estimativas da probabilidade de arder com a altura de chama).
 - c) **Exposição aos incêndios:** os troços revelaram maioritariamente uma exposição moderada ao perigo de incêndio. **Alguns troços podem ser destacados com exposição elevada, e em menor área com exposição muito elevada.** Considerando por tipologia de rede elétrica, é na **AT** que se verificou a maior probabilidade anual de arder (p75 = 6%), e na **MT** os valores mais elevados de altura de chama (p75 de 1,6m e máximo de 3,1m). Foram cartografados os **troços com a probabilidade anual de importar e exportar áreas ardidas**, verificando-se que a extensão de área exposta a áreas ardidas importadas é consideravelmente superior à de áreas ardidas exportadas (que tiveram origem em ignições dentro dos corredores das linhas elétricas).
- **Monchique:**
 - a) **Regime de incêndios:** área principalmente florestal, ocupada principalmente com eucaliptais, sobreiros/azinheiras, onde 80% das ignições dão origem a incêndios inferiores a 100 ha, sendo a quase totalidade da área ardida devida a incêndios maiores que 1000 ha. Desde 1975 no máximo observa-se uma pequena área (5 ha) que ardeu 6 vezes, significando que no máximo ocorreu em média um incêndio a cada 8 anos, logo um intervalo de retorno do fogo maior do que o registado em Tomar. A maior parte da área já não arde há mais de 10 anos. É a sudoeste que a probabilidade histórica de ignição com causa 211 é mais elevada, sendo atravessada apenas por linhas de AT e MT.
 - b) **Perigo de incêndio:** grande extensão com moderada probabilidade anual de arder (média histórica anual de 4%), e uma área considerável a sudoeste onde a **probabilidade de arder é muito elevada (entre 8% e 16%)**. No que respeita à potencial intensidade de um incêndio (associada à dificuldade de supressão e esta à altura da chama), também é a sul que se apresentam manchas de maior extensão onde a altura de chama é superior a 2,5m. Esta área a sudoeste apresenta um número considerável de manchas onde o perigo de incêndio é muito elevado (combinando as estimativas da probabilidade de arder com a altura de chama).
 - c) **Exposição aos incêndios:** os troços das redes elétricas apresentam maioritariamente uma exposição moderada ao perigo de incêndio. **Alguns troços podem ser destacados com exposições elevada, e muito elevada.** Considerando por tipologia de rede elétrica, é na **AT** que se verificou a maior probabilidade anual de arder para todas as estatísticas descritivas calculadas, com valores entre 13% e 15%. Na **MT** estima-se o valor mais elevado para a altura de chama (2,9m). Foram cartografados os **troços com a probabilidade anual de importar e exportar áreas ardidas**, verificando-se que a extensão de área exposta a áreas ardidas importadas é consideravelmente superior à de áreas ardidas exportadas (i.e., que tiveram origem em ignições dentro dos corredores das linhas elétricas).

- Em geral, verifica-se que as linhas elétricas importam mais área ardida devida a incêndios que têm ignição fora dos corredores das linhas elétricas do que exportam áreas ardidas por ignições dentro das mesmas, e esta diferença é de 6 vezes em ambas as áreas de estudo. **No caso de Tomar, a maior probabilidade anual de arder por importação ocorre na MAT (8%) e em Monchique na AT (11%).**
- A **cartografia de exposição aos incêndios** permite identificar **os troços da rede elétrica que são prioritários para a adoção de medidas preventivas**, quer no que diz respeito à gestão de combustíveis, quer na implementação de medidas de proteção às infraestruturas.

Parte 4: Propostas de atuação e estratégias de mitigação



No decurso deste trabalho foi possível identificar problemas de ordem diversa, associados às ocorrências com causa 211. De acordo com os mesmos, decidiu-se organizar o conjunto de propostas orientadas para a mitigação dos problemas em quatro pilares: **1) informação de base, 2) infraestruturas de eletricidade, 3) operações de gestão de combustíveis e 4) quadro jurídico-legal**. Ao primeiro correspondem os problemas e as propostas que incidem diretamente na informação e nas bases de dados cartográficas disponibilizadas para análise e o tipo de informação que permita acompanhar e monitorizar de forma mais objetiva as estratégias de mitigação a implementar, assim como, apoiar na definição de eventuais políticas públicas sobre esta matéria. No segundo pilar enquadram-se os problemas e as propostas relacionados com algumas especificidades técnicas das infraestruturas de transporte e distribuição de energia elétrica. No terceiro pilar, inserem-se as situações relacionadas com a presença e gestão da vegetação (combustível) nas proximidades das linhas elétricas que poderão constituir perigo de incêndio, e nas ações que visam criar condições para reduzir eventuais ocorrências associadas às linhas elétricas. Finalmente, o quarto pilar apresenta propostas de alteração do quadro legislativo que se revelem mais pertinentes, sobretudo em torno das obrigações legais das concessionárias de transporte e distribuição de energia elétrica, ao nível do SGIFR. De forma transversal aos pilares das infraestruturas de eletricidade, das operações gestão de combustíveis e do quadro jurídico-legal, encontra-se a priorização de intervenções dos locais onde o perigo de incêndio e exposição das linhas elétricas é maior, de modo a definir a estratégias de mitigação mais adequadas, seja ao nível do melhoramento das infraestruturas elétricas, seja para distribuir custos de gestão de combustíveis num plano investimento plurianual. Isto sempre enquadrado por um quadro jurídico-legal que permita estas formas de atuação.

Informação de base

Problema 1 – Base de dados de ocorrências

Para a base de dados relativa às ocorrências disponibilizada no website do ICNF, contribuem diversos atores do SGIFR em diversas fases do processo de compilação da informação, sendo a mesma inserida através do SGIF, com a responsabilidade da GNR. Este processo apresenta espaço para melhorar, não apenas em termos de correção de alguns dados, como também na adição de mais detalhe. Um dos principais problemas identificados reside na georreferenciação dos pontos de início dos incêndios. Para este trabalho, foram utilizadas as coordenadas geográficas para mapear a distribuição espacial das ocorrências com a causa 211. Como forma de fazer a diferenciação das ocorrências por tipologia de tensão de linha elétrica, optou-se por introduzir o critério subjacente à responsabilidade legal das concessionárias relativamente à distância e dimensão das respetivas FGC. Este critério permitiu apurar que quase 90% das ocorrências classificadas com causa 211 não se encontra dentro das faixas de servidão/faixas de proteção definidas como sendo da sua responsabilidade no âmbito do SGIFR. O facto de um número considerável destas ignições se encontrar a uma distância superior a 250 m dos corredores das linhas, levou a que se levantasse a dúvida relativamente à correta atribuição da causa às mesmas, de acordo com a cartografia referente aos traçados das linhas elétricas disponibilizada pela REN e pela E-REDES. A interação com as diversas entidades parceiras deste projeto, designadamente o ICNF, a GNR e a PJ, fez perceber, por um lado, que estas coordenadas frequentemente não traduzem o ponto real de início da ignição, mas sim o centro da freguesia, a toponímia mais próxima ou o local sinalizado pela 1ª equipa operacional a chegar ao local. Na medida em que o incêndio venha a ser alvo de investigação por parte da GNR ou da PJ, essas coordenadas podem ser diferentes. Contudo, esta alteração/correção na base de dados, na maioria das vezes, poderá não acontecer.

Paralelamente, na atual base de dados, foram identificadas pelas concessionárias E-REDES e REN, três ocorrências classificadas com causa 211 num momento inicial, que tendo sido sujeitas a posteriores investigações pelas entidades competentes¹⁵, foram apuradas causas diferentes ou dadas como indeterminadas. Apesar desta não atualização na base de dados não apresentar diferenças significativas ao nível do número de ocorrências nem na distribuição geral das mesmas no território, observa-se um impacto significativo em termos de área ardida total contabilizada ao nível das concessionárias. A título de exemplo, a correção da base de dados de apenas estas três ocorrências produziu um impacto imediato na redução da área ardida para 38 670 ha, passando a corresponder a 1,3% do total de área ardida ocorrida no período entre 2001 e 2022 (sem esta correção o valor situar-se-ia nos 4% de total de área ardida no período em questão).

Propostas de atuação

- Em face da investigação que for desencadeada a determinados incêndios rurais, promover um mecanismo que possibilite a GNR proceder à correção automática das coordenadas dos pontos de início das ocorrências.
- Corrigir na base de dados disponibilizada no website do ICNF as causas de incêndio de ocorrências que, tendo sido alvo de posterior investigação ou de processo judicial, se tenha concluído pela não determinação da causa ou por outra diferente da inicial. Adicionalmente, adotar um procedimento que permite no futuro a alteração da causalidade sempre que haja apuramento de causa diferente ou de isenção de responsabilidade com base no processo judicial que a ocorrência tenha sido alvo.

Problema 2- Falta de cadastro das LE com distribuição de BT

Tal como indicado no enquadramento deste trabalho, as diferentes infraestruturas pelas suas características intrínsecas, apresentam riscos e soluções muito diferentes na gestão das suas áreas de servidão. Apesar de neste trabalho se ter apresentado uma diferenciação entre ocorrências que tiveram a sua génese em MAT, AT e MT, não foi possível concluir sobre aquelas cuja possa estar (ou não) relacionada com a BT, uma vez que não se teve acesso à respetiva cartografia. Foi então selecionada uma amostra aleatória de 10% das ocorrências com causa 211 (cerca de 240), que haviam sido classificadas como “*Nenhuma*” no seu enquadramento de diferenciação por nível de tensão, e enviada à GNR para que desse indicação se nos relatórios de investigação das mesmas se encontrava referida a BT como causa da ignição. A GNR referiu a impossibilidade de partilhar esta informação em “*virtude de muitos dos processos associados às causas identificadas estarem subjacentes processos criminais*”. Se casos houve em que visitas ao terreno por parte do CoLAB ForestWISE® permitiram observar linhas elétricas de BT nas proximidades do ponto de início da ocorrência (o que é vulgar acontecer em virtude dos 110 000 km de rede BT existente), também é verdade que diversos registos encontravam-se a mais de 250m daquelas infraestruturas (e nalguns casos, a mais de 1000 m da linha elétrica mais próxima).

Proposta de atuação

- Cadastrar a rede de distribuição de energia elétrica de BT, estabelecendo uma priorização com base na densidade de ignições classificadas na classe “*Nenhuma*” no presente trabalho, de modo que futuramente possam ser cadastrados locais com prioridade alta e média.

¹⁵ Entenda-se que apesar da entidade competente em matéria de investigação das causas de incêndios rurais ser a GNR, no caso concreto destas ocorrências, em virtude das consequências produzidas e dos processos judiciais que foram levantados, ficou a PJ com a incumbência de efetuar as diligências para apurar os factos e as responsabilidades inerentes aos acontecimentos relacionados com as referidas ocorrências.

Problema 3-Identificação da causa objetiva da ignição e diferenciação por nível de tensão da LE

Para ser possível definir estratégias de mitigação no sentido de reduzir a probabilidade de ocorrência de IRs com causa 211, e de forma a excluir erros de localização e atribuição da causa, para além da necessidade de incluir na causa a diferenciação do nível de tensão, é importante, sempre que apurado, ter informação mais concreta sobre os fatores que poderão estar mais associados a esta classificação. Na interação desenvolvida com as diversas entidades parceiras e da pesquisa bibliográfica efetuada, torna-se evidente a existência de causas exógenas ou externas à própria linha elétrica, como elementos que podem desencadear um curto-circuito ou arco voltaico (uma ignição). Em contacto com a vegetação, o material incandescente pode desencadear um processo de combustão cuja progressão depende de diversos fatores. No entanto, a base de dados das ignições carece atualmente de informação adicional que permita efetuar tal desdobramento e o acesso aos relatórios de investigação é condicionado. É do conhecimento da equipa do projeto que paralelamente foi constituído um grupo de trabalho coordenado pela AGIF, e constituído por vários elementos vários parceiros deste projeto. A responsabilidade deste grupo de trabalho traduz-se na investigação e apuramento de causa de incêndios rurais, tendo desenvolvido recentemente uma proposta de desdobramento de causas, inclusive no que se refere à classificação da causa 211 que, de acordo com as indicações fornecidas, será brevemente disponibilizada com um novo formato de grelha.

Propostas de atuação

- A plataforma SGIF deve possibilitar a introdução de informação diferenciada por nível de tensão da LE (MAT, AT, MT e BT) e, adicionalmente, desdobrada em potenciais causas a montante da linha elétrica, na medida do que seja possível apurar em investigações subjacentes (por exemplo, ave; queda de árvore ou ramo; contacto com vegetação; vento; queda da linha, etc.). Para que isto possa suceder, deve ser efetuada uma pesquisa nos relatórios de investigação das ocorrências e perceber que fatores se encontram subjacentes à classificação das ocorrências com causa 211, seguindo um esquema de apuramento semelhante ao traduzido pela Figura 58, de forma sistemática, tanto retrospectivamente como futuramente. De forma complementar, a nova grelha de causas e sub-causas deverá ser desbloqueada e adotada por forma a responder à maioria dos desafios entretanto identificados neste relatório.

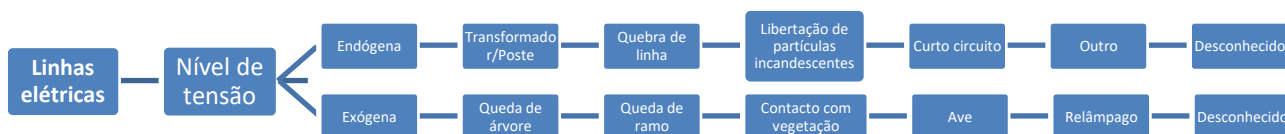


Figura 58: Desdobramento da classificação da causa 211, em diferentes fatores possíveis, com origem exógena e endógena

- A par do desdobramento de causas, propõe-se que seja disponibilizado anualmente às concessionárias de transporte e distribuição de eletricidade, toda a informação adicional sobre os incêndios rurais com causa 211 que, embora não constando da base de dados do SGIF, lhes permita implementar estratégias de mitigação de problemas técnicos relacionados com o transporte e distribuição de energia na rede elétrica.

Para além do que foi referido anteriormente no que respeita à informação de base, alguns resultados deste trabalho evidenciaram a necessidade de se desenvolverem alguns estudos adicionais que aprofundem o conhecimento inerente a determinadas situações. Assim, a título de exemplo,

recomenda-se que se aprofundem as razões para a frequência anormalmente elevada de ocorrências associadas à causa 211 em determinadas áreas geográficas, identificável nos “pontos quentes” da Figura 11. Por outro lado, deverá ser seguido e partilhado entre as diversas entidades o trabalho já posto em prática pela E-Redes que procura observar a existência de correlações espaciais entre os picos de tensão das LE e a distribuição geográfica das ocorrências com causa 211, oferecendo informação adicional e detalhada no apuramento da causa.

Infraestruturas de eletricidade

Problema 4- MT responsável pelo maior número de ocorrências 211

Tal como foi referido na Parte 1 deste trabalho, a mitigação de incêndios rurais começa com a construção e manutenção de uma estrutura elétrica adequada ao local onde a mesma se insere, com a utilização de materiais adequados e criando as condições necessárias à monitorização da mesma ao longo do tempo (Muhs, 2020). A análise resultante do presente trabalho sinaliza a rede de distribuição de energia elétrica de MT como aquela que apresenta a maior frequência de ocorrências 211 (excluindo a categoria “Nenhuma” que não apresenta qualquer tipologia de nível de tensão associada).

Propostas de atuação

- Considera-se pertinente fazer uma avaliação sobre as alternativas economicamente viáveis que impliquem uma alteração estrutural da linha, procurando as melhores soluções de desenho e engenharia para prevenir falhas em sistemas de distribuição. Isto pode envolver a melhoria de materiais e *design* de apoios/postes, de linhas e de outros componentes, para fortalecer mecanicamente as estruturas elétricas e reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas. Tal como já foi referido anteriormente neste trabalho, dois destes exemplos, são o método *Rapid Earth Fault Current Limiters* (REFCLs), utilizado na Austrália após os incêndios de Victoria, e o *aterramento ressonante* de linhas elétricas, que apesar de similar ao anterior, tem previsto uma redução de 90% nas ignições. De acordo com a bibliografia disponível e consultada, o aterramento de estruturas oferece uma boa solução a longo prazo, enfatizando os locais com elevado risco de incêndio, e que pode ser implementado de forma estratégica, mediante a disponibilidade de recursos financeiros e a identificação de locais mais críticos devido à exposição aos incêndios. Ainda de acordo com informações prestadas pelas concessionárias portuguesas o dimensionamento do isolamento da rede para utilização de neutro ressonante é de $2xV_n$, enquanto para a ligação do neutro à terra com uma impedância, seguida pela E-Redes, é de $1,73xV_n$. Uma colocação de neutro ressonante sem a alteração do isolamento de rede coloca a rede muito suscetível a defeitos “*cross-country*” (defeitos que ocorrem na sequência de um defeito inicial) que são muito mais perigosos (libertam mais energia) para o aparecimento de um incêndio que um típico defeito entre uma fase e a terra. Na Austrália ocorreram muitos defeitos “*cross-country*” na sequência da ativação do REFCL (<https://www.abc.net.au/news/2020-01-21/fire-prevention-technology-refcl-link-blackouts-apollo-bay/11883380>). Devido aos problemas exibidos pelos REFCL estes são apenas ligados nos dias de maior risco de incêndio. Na prática estão ativos cerca de ~15 dias por ano, o que dado o custo, se pode considerar que são mais baratas outras soluções (ex.: desligação), pelo que se sugere que qualquer intervenção tenha em consideração os critérios de custo, eficiência e eficácia referidos anteriormente.

- Relativamente à previsão de falhas através de metodologias *deep learning*, a utilização de algoritmos com *Redes Neurais Convolucionais (CNN)* para determinar o tipo de falha e a localização potencial de incêndios em sistemas de distribuição de energia, apresentam uma precisão de 100%. A utilização de classificadores de *CNN* com vetores de características extraídos de medições do sistema de distribuição, resulta na classificação rápida do tipo de falha e na extração das características na localização da falha. Esta abordagem, não tendo sido testada na realidade, mas apenas validada com recurso a simulações, deverá ser alvo de maior investigação por forma a obter resultados mais robustos sobre a sua real eficácia. Até lá, propõe-se que as concessionárias acompanhem a evolução destes sistemas por forma a melhorar os atuais que já têm em uso.

Operações de gestão de combustíveis

Problema 5 - Frequência de intervenções na gestão da vegetação nas FGC e dimensões das mesmas

Para além das relações existentes com variáveis meteorológicas (temperatura, humidade relativa e velocidade do vento), a distribuição geográfica das ignições está fortemente relacionada com a ocupação nos corredores das linhas elétricas e na sua envolvente, particularmente com a agricultura e com a floresta (principalmente eucaliptal e pinhal), com a altura da vegetação, e com a distância às áreas edificadas.

A análise mais detalhada nas áreas de estudo selecionadas permitiu apurar que as faixas de servidão (área de proteção) das linhas elétricas são mais importadoras de área ardida devido a ignições fora destes corredores, do que exportadoras de incêndios cuja ignição se encontre dentro de FGC. Esta conclusão tem obviamente associada a reduzida largura das FGC face à extensa propagação de incêndios que ocorre ao nível da paisagem, sendo assim facilmente atravessadas por estes. Em média, a probabilidade anual de arder numa faixa de servidão da rede elétrica é seis vezes superior por ignições que ocorrem fora das linhas do que no seu interior, independentemente da causa atribuída fora das faixas de proteção. Refira-se que os resultados das simulações indicam que a probabilidade anual de um incêndio cuja ignição se encontra dentro das faixas de proteção é de 1%, sendo a diferença para a probabilidade de importar área ardida maior em Monchique devido ao diferente regime de incêndios que ocorre nesta área de estudo. Zonas mais distantes do edificado urbano potencialmente estão mais expostas de serem atravessadas por grandes incêndios dado o eventual diferenciado efeito do combate, que neste trabalho não foi analisado.

A forma como atualmente se processa a implementação de FGC na rede secundária, no caso das entidades concessionárias responsáveis pelo transporte e distribuição de eletricidade, é na maioria dos casos onerosa financeiramente quer pela falta de priorização de áreas alvo de gestão, quer pela frequência da intervenção. A dinâmica de resposta da vegetação diversificada de acordo com as especificidades territoriais motiva este tipo de estudos regionais/municipais, de modo a permitir um ajustamento da calendarização das medidas preventivas de modo a haver distribuição plurianual de custos por um lado, e por outro a implementar a gestão de combustíveis diferenciada de acordo com a exposição calculada em cada troço da linha em função da taxa de crescimento diferenciado da vegetação. Ainda a este propósito, importa considerar os resultados referentes à dinâmica do combustível e do comportamento potencial do fogo nas faixas de proteção à infraestrutura de distribuição de energia

elétrica, obtidos no âmbito do projeto rePlant¹⁶.

A cartografia da exposição aos incêndios de diferentes troços das linhas elétricas, permite não só identificar áreas prioritárias para intervenção no que diz respeito a corredores e respetivas faixas de servidão, mas também sinalizar áreas onde poderão ser adotadas medidas estratégicas de proteção das linhas. Permite ainda localizar áreas da envolvente que representem um perigo de incêndio maior, onde os proprietários deverão ser sinalizados, monitorizados e sensibilizados para o cumprimento das obrigações em termos de gestão de combustíveis.

Proposta de atuação

- A cartografia de exposição aos incêndios elaborada neste trabalho permite estrategicamente direcionar investimento prioritário no que diz respeito a medidas de proteção das linhas, quer no reforço das ações de gestão de combustíveis. Os resultados obtidos permitirão apoiar a decisão sobre estratégias plurianuais direcionadas para a gestão de combustíveis e proteção das linhas, de acordo com os valores mais elevados de exposição, com a informação a ser usada nos planos regionais e sub-regionais para a adequação das medidas às especificidades territoriais. Nas áreas identificadas como prioritárias para a gestão de combustíveis devido à elevada exposição aos incêndios, para além da redução dos combustíveis de superfície, por exemplo, através da redução da sua continuidade espacial, devem ser adotadas medidas que visem ou o corte das árvores, a alteração da ocupação, e/ou a realização de desbastes de modo que o critério de distanciamento entre copas no âmbito do SGIFR seja cumprido. Das possíveis soluções apresentadas anteriormente (Tabela 1), destacaríamos, pelas características inerentes à possibilidade de aplicação no território português, as seguintes:
 - gestão da vegetação com recurso a fogo controlado e pastoreio dirigido;
 - utilização de ocupações compatíveis nos corredores das LE;
 - alarme em tempo real através de técnicas avançadas de *machine learning*, para deteção da proximidade de arcos voltaicos da vegetação, cuja precisão foi avaliada em cerca de 98%¹⁷.

A monitorização destas operações, nomeadamente da época da respetiva intervenção e da sua frequência, poderão ser úteis, implicando a realização de um estudo que apoie a extração de conclusões sobre a eficácia das normas de gestão da vegetação e a sua execução periódica. De referir que no caso das linhas de MAT, em parte devido ao território onde se localizam e à dimensão dos respetivos corredores correspondentes às faixas de servidão, tem sido prática comum a gestão da vegetação com base em ocupações compatíveis que valorizam o espaço economicamente e ambientalmente, sem pôr em causa a defesa do território em termos de perigo de incêndio.

¹⁶ Disponível em <https://replant.pt/wp-content/uploads/2023/06/Dinamica-do-combustivel-e-do-comportamento-potencial-do-fogo-nas-faixas-de-protecao-a-infraestrutura-de-distribuicao-de-energia-eletrica.pdf>

¹⁷ A abordagem mencionada pelos autores no artigo <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101070> e que é utilizado como referência para esta proposta, é de cariz teórico e aproveita alguns resultados de experiências do efeito da corrente elétrica em vegetação. Contudo, não se baseia em dados reais de uma rede de distribuição e não aborda temas como os erros dos sensores de medida, o efeito da corrente de carga (que mascara a corrente de defeito) e contribuições capacitivas (que mascaram a corrente de defeito) no desempenho do método proposto. Por outro lado, as características dos arcos elétricos dependem do comprimento do arco e da corrente que o atravessa tendo os mesmos a tendência a se autoextinguirem para correntes baixas. De notar que os defeitos com arcos elétricos de elevada energia são detetados e eliminados pelo sistema de proteções da rede elétrica. Por conseguinte, a proposta aqui apresentada deverá ser entendida como potencialmente interessante, mas necessitada de investigação adicional que providencie dados mais robustos, designadamente em cenários reais de distribuição de energia, para sua efetiva aplicação.

Jurídico-legal

Problema 6 - Árvores de crescimento rápido junto das FGC

O Decreto Regulamentar n.º 1/92, de 18 de fevereiro, estabelece o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT), indicando a largura mínima da zona de proteção (faixa de servidão), onde se pode cortar ou decotar as árvores necessárias para garantir a distância mínima de segurança. O n.º 4 do Artigo 28º estabelece que, fora da faixa de servidão/proteção poderão ainda ser abatidas as árvores que, pelo seu porte e condições particulares, constituam em caso de queda um risco inaceitável para a segurança da linha. Neste decreto, define-se ainda a largura das faixas de proteção ou servidão das linhas elétricas, de forma a assegurar que nos espaços florestais e outros, são sempre garantidas as distâncias de segurança às árvores, que variam entre 2,5m e os 5,0m, em função do nível de tensão das linhas (Artigo 28º).

Já o Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro, estabelece o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais no território continental, refere no seu Artigo 47º a finalidade da criação de FGC apontando no n.º. 5 que a remoção total de vegetação nas faixas de gestão de combustível e nas áreas estratégicas de gestão de combustível em mosaicos **pode ser substituída por ocupação compatível** que garanta a gestão do sub-coberto e o cumprimento das funções previstas destas infraestruturas. Na alínea c) do n.º. 4 do Artigo 49º é feita alusão à norma a cumprir em termos de dimensão das faixas, consoante se trate de linhas de muito alta, alta, média e baixa tensão.

Proposta de atuação

- Para além das distâncias de segurança das linhas, é muitas vezes um problema as zonas na vizinhança das mesmas quando ocupadas com espécies florestais como eucalipto ou pinheiro, devido à altura que as mesmas podem alcançar, podendo assim representar um perigo à segurança da linha em caso de queda. Neste sentido, o presente trabalho permite sinalizar troços das linhas que ao apresentarem uma maior exposição aos incêndios deverão ser alvo de vistoria no terreno. Neste caso, ou legalmente se prevê uma alteração da ocupação (por exemplo, espécies de crescimento lento e/ou espécies compatíveis) numa faixa adicional à de proteção das linhas, ou se interage com o proprietários no sentido que as árvores que colocam em risco a segurança da linha sejam cortadas.
- O trabalho desenvolvido pelo CoLAB ForestWISE® para a E-Redes relativo às ocupações compatíveis (<https://ocupacoescompativeis.forestwise.pt/>), assim como, a prática de reconversão do uso do solo para ocupação com as linhas de MAT, já adotada pela REN nas faixas de servidão, permitiu a intervenção com recurso a espécies autóctones compatíveis em 4 094 ha entre 2010 e 2023. Tal poderá ser usado como referência, no sentido de definir um conjunto de possíveis ocupações compatíveis para os corredores das LE e apoiar na regulamentação técnica desta matéria.
- Dada a antiguidade do Decreto-Regulamentar n.º 1/92, de 18 de fevereiro, sugere-se uma revisão do mesmo com intuito de atualizar questões relativas à segurança da exploração das linhas elétricas, em virtude dos normativos que, entretanto foram surgindo, assim como da evolução tecnológica que se registou neste período.

Apresenta-se na Figura 59 a síntese dos pilares, problemas e propostas de atuação anteriormente descritas.

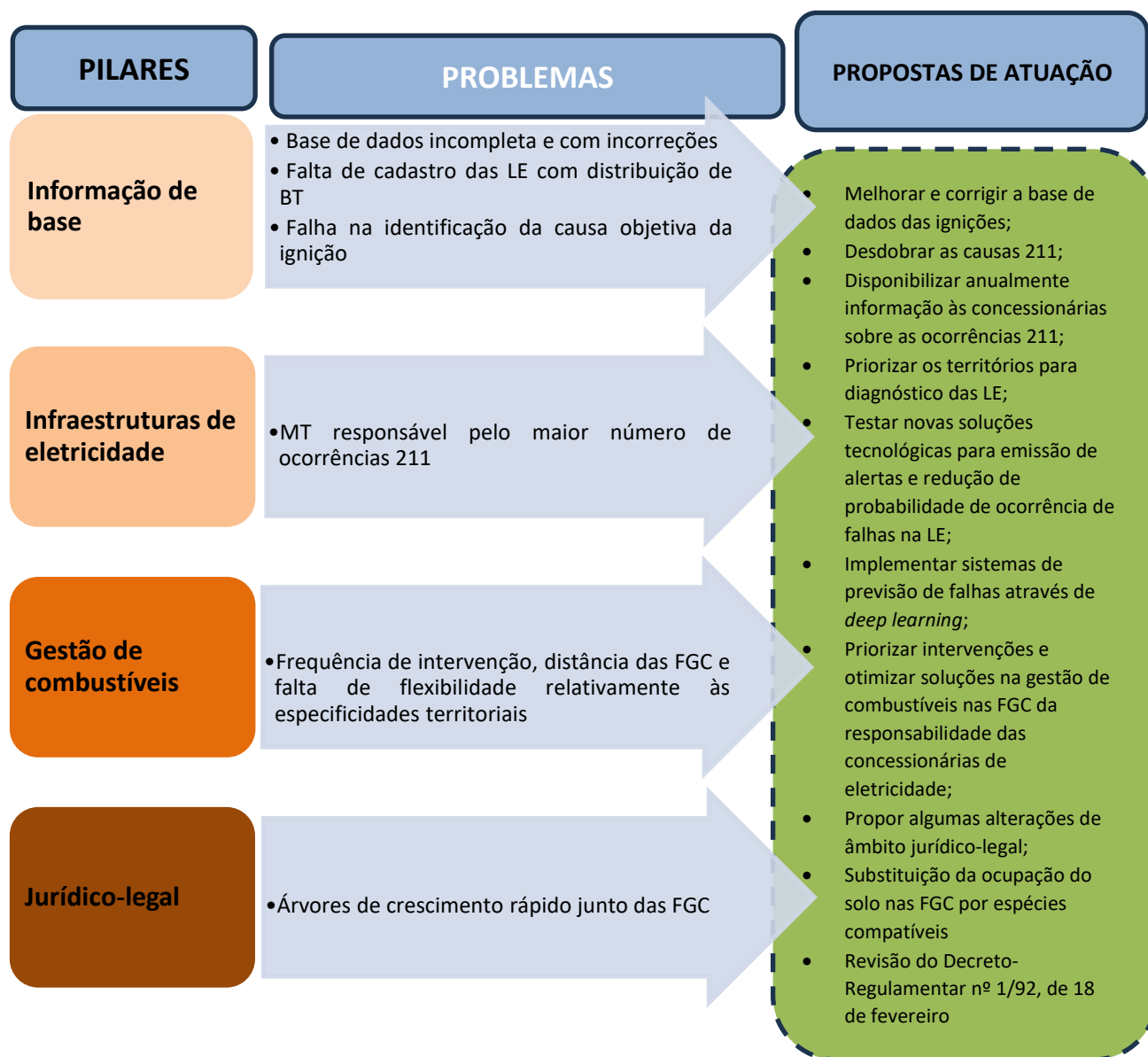


Figura 59: Esquema resumo de propostas e estratégias de mitigação

Finalmente, foi salientado pelas diferentes entidades parceiras do projeto, a necessidade de criar mecanismos de aproximação e partilha de informação, entre entidades fiscalizadoras e concessionárias com o objetivo de agilizar na identificação de casos irregulares, para que em tempo útil seja possível intervir, e se consigam resolver problemas detetados. Reuniões e outro tipo de colaborações conjuntas promovem a discussão, esclarecimento e apoiam na definição de estratégias que ajudem numa resolução mais rápida e estratégica de problemas associados a estas matérias.

Conclusões e considerações finais

Com este trabalho pretendeu-se, em primeiro lugar, perceber os principais fatores relacionados com as ignições cuja causa foi classificada como 211 ou com origem na “rede elétrica”, bem como o seu padrão espacial em Portugal continental. Em segundo lugar, identificar estratégias para mitigar estas ocorrências e o impacto que os incêndios podem causar sobre as infraestruturas elétricas e no território.

Da pesquisa efetuada sobre esta matéria no contexto nacional e internacional, foi possível perceber que existem contextos diferentes que requerem uma análise necessariamente diferenciada dos problemas e soluções implementadas para a sua respetiva mitigação. Por outro lado, existe um conjunto de boas práticas nacionais que, para além de convergirem para o que é feito internacionalmente nesta matéria, também utilizam tecnologia de ponta com o objetivo de reduzir ocorrências com causa 211. Adicionalmente, obtiveram-se resultados que permitiram elencar algumas propostas de atuação e delineamento de estratégias de mitigação, passando as mesmas pela necessidade de eventual alteração do quadro jurídico-legal, designadamente do SGIFR.

Tendo em consideração o trabalho desenvolvido e o conjunto de objetivos estabelecidos inicialmente, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- As bases de dados geográficas de ocorrências disponibilizadas pelo ICNF e a cartografia da rede de distribuição de energia da E-Redes podem ser qualitativamente melhoradas. Relativamente a esta última, entendemos que seria bastante relevante haver uma cartografia das linhas de BT, para que toda a rede de distribuição seja mapeada, permitindo uma melhor compreensão da sua eventual relação com este tipo de ocorrências, com melhor apuramento da sua causalidade. Por outro lado, permitiria perceber melhor o enquadramento da categoria “Nenhuma” e a sua potencial relação com a rede de BT. Quanto à base de dados das ignições, é crucial que as coordenadas dos pontos de ignição sejam corrigidas sempre que alguma das entidades envolvidas o comprovarem, ou se o resultado de uma investigação posterior assim o determinou. Esta interação permite melhorar a qualidade dos dados que são usados em diversas análises. Para além disto, a causa atribuída a algumas ignições deveria ser complementada com informação adicional resultante do desdobramento das causas 211, tal como proposto neste trabalho e considerando a perspetiva, para breve, de proposta de uma nova grelha desenvolvida por Grupo de Trabalho das entidades SGIFR, apoiando de forma complementar a definição de estratégias na mitigação desta classificação de ocorrências. Apenas com um detalhado desdobramento de causas, coordenadas dos pontos de início corrigidas, sempre que necessário, auxiliado por uma cartografia de BT, é possível ter uma visão mais clara e transparente do contributo das linhas elétricas para o problema dos incêndios.
- Não obstante as limitações encontradas nas bases de dados mencionadas, e considerando as análises de incerteza e de erro associadas à distância entre a localização das ocorrências e os corredores de gestão de combustíveis das linhas elétricas (efetuada para os períodos 2001-2014 e 2015-2023), foi construído um mapa de probabilidade de ignição com causa 211 e identificados os principais fatores relacionados com a distribuição geográfica das ignições em causa. A análise estatística realizada com as variáveis consideradas permitiu agrupar as ocorrências em três grandes grupos: 1) em áreas agrícolas, mais distantes do edificado, zonas mais planas, quentes e secas (exemplo, Alentejo e Algarve); 2) abrangendo para além das áreas agrícolas, áreas florestais (principalmente eucaliptais) em zonas mais perto do edificado, mais húmidas e ventosas (exemplo, Litoral e Vale do Tejo); e 3) associadas a incêndios de maior dimensão, áreas florestais (eucaliptais, pinhais e matos), zonas de maior altitude e declive (exemplo, Norte, interior Centro e Algarve).

- Com base nas análises espaciais realizadas, foram selecionadas duas áreas de estudo piloto para avaliar em que medida a análise do perigo e da exposição aos incêndios das LE, pode apoiar na priorização de áreas a intervir com dois objetivos: 1) poder direcionar investimentos técnicos para troços da rede elétrica mais expostos aos incêndios; 2) flexibilizar intervenções previstas para a execução de FGC ou de apoiar a implementação de ocupações compatíveis. Tudo necessariamente ajustado a um quadro jurídico-legal que contemple e permita este tipo de atuação.
- Existem diversas tecnologias inovadoras que poderão ser testadas e usadas no território, no sentido de se encontrarem as melhores soluções que, de forma combinada, possam ajudar a mitigar as ocorrências com causa 211. Todavia, o uso de cada tipo de tecnologia deverá estar sempre adaptado à causa (exógena ou endógena) que se encontre na raiz da ocorrência associada às linhas elétricas, assim como a uma prévia avaliação do investimento financeiro nestas situações.

Em suma, este trabalho permitiu investigar alguns dos fatores que se relacionam com as ocorrências com causa 211, fazer a modelação espacial das mesmas, expor lacunas e limitações de dados e processos, e apresentar propostas de atuação incorporando ideias para trabalhos futuros a dar continuidade no sentido de melhorar a informação de apoio à decisão. Concomitantemente, este trabalho contribui para a construção de procedimentos através de um conjunto de recomendações que visam a redução do número de incêndios com aquela causa, bem como a mitigação dos impactos que eles podem causar nas infraestruturas e no ambiente que as rodeia.

Referências bibliográficas



- Aparício, B.A.; Benali, A.; Pereira, J.M.C.; Sá, A.C.L. (2023) MTTfireCAL Package for R—An Innovative, Comprehensive, and Fast Procedure to Calibrate the MTT Fire Spread Modelling System. *Fire* 6, 219. <https://doi.org/10.3390/fire6060219>
- Arab, A., et al. (2021) Three Lines of Defense for Wildfire Risk Management in Electric Power Grids: A Review, *IEEE*, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3074477>
- Astudillo, A., Cui, B., Zamzam, A. S. (2022) Managing Power Systems-Induced Wildfire Risks Using Optimal Scheduled Shutoffs *IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)* | 978-1-6654-0823-3/22/ DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGM48719.2022.9917206>
- Bandara, S., Rajeev, P., Gad, E. (2023) Power Distribution System Faults and Wildfires: Mechanisms and Prevention, *Forests* 2023, 14, 1146. <https://doi.org/10.3390/f14061146>
- Benali, A., Guiomar, N., Gonçalves, H., Mota, B., Silva, F., Fernandes, P. M., Mota, C., Penha, A., Santos, J., Pereira, J. M. C., and Sá, A. C. L. (2023) The Portuguese Large Wildfire Spread database (PT-FireSprd), *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 3791–3818, <https://doi.org/10.5194/essd-15-3791-2023>.
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., & Stone, C. (1984). *Cart. Classification and regression trees*. Taylor & Francis. 384pp.
- Bruni, C., Bruno Aparício, Beatriz Lourenço, Martinho Marta-Almeida, Akli Benali, Susana Barreiro, Alfredo Rocha, Ana C.L. Sá (2024) Wildfire exposure and risk in pulp paper companies' plantations under extreme weather conditions: A case study in North-Western Portugal, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 100, 104064, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104064>
- Byram, G. M. (1959) Combustion of forest fuels. In 'Forest fire: control and use'.(Ed. KP Davis) pp. 61–89.
- Chelli, S., Maponi, P., Campetella, G., Monteverde, P., Foglia, M., Paris, E., & Panagopoulos, T. (2015) Adaptation of the Canadian fire weather index to Mediterranean forests. *Natural Hazards*, 75, 1795-1810.
- Davoudi, M., et al. (2021) Reclosing of Distribution Systems for Wildfire Prevention, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 36, NO. 4, AUGUST 2021, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3050973>
- Dian, S., et al, (2019) Integrating Wildfires Propagation Prediction Into Early Warning of Electrical Transmission Line Outages, *IEEE*, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2894141>
- Finney, M.A. (2022) Fire growth using minimum travel time methods. *Can. J. For. Res.* 32, 1420–1424.
- Guerreiro, J., Fonseca, C., Salgueiro, A., Fernandes, P., Lopez, E., de Neufville, R., Mateus, F., Castellnou, M., Silva J.S., Moura, J., Rego, F., Caldeira D.N. 2018. Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental - Relatório Final. Coleção Relatórios, Pareceres e Audições das Comissões Parlamentares. Assembleia da República, Lisboa. https://www.parlamento.pt/ArquivoDocumentacao/Documents/Incendios_Outubro_2017_Relatorio.pdf
- ICNF (2023), 8.º RELATÓRIO PROVISÓRIO DE INCÊNDIOS RURAIS – 2023 –, Link: <https://www.icnf.pt/api/file/doc/058d65a2c60898dc>
- Jahn, W., Urban, J.L, Rein, G. (2022) Powerlines and Wildfires: Overview, Perspectives, and Climate Change, *IEEE Power & Energy Magazine*, <https://doi.org/10.1109/MPE.2021.3122755>
- Kandanaarachchi, S., Anantharama, N., Muñoz, A. (2021) Early Detection of Vegetation Ignition Due to Powerline Faults, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 36, NO. 3, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3006553>
- Keeley, J. E., Syphard, A. D. (2018) Historical patterns of wildfire ignition sources in California ecosystems, *International Journal of Wildland Fire* 2018, 27, 781–799 <https://doi.org/10.1071/WF18026>
- Lourenço, L., Fernandes, S., Bento-Gonçalves, A., Castro, A., Nunes, A., Vieira, A. (2012) Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010), *Cadernos de Geografia* nº 30/31 - 2011/12Coimbra, FLUC - pp. 61-80
- Lu, J. et al. (2016) A multi-additive suppressant agent-based low-flow and long-distance firefighting approach for suppressing wildfires near electrical transmission lines, *Journal of Fire Sciences* 2016, Vol. 34(5) 398–415, <https://doi.org/10.1177/0734904116659499>

- Ma, J., C.P. J., Jiang, F., J.L., V., Wang, M., Zhai, C. (2020) Real-time detection of wildfire risk caused by powerline vegetation faults using advanced machine learning techniques, Elsevier – Advanced Engineering Informatics, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101070>
- Merrill, D.F.; Alexander, M.E. (1987) *Glossary of Forest Fire Management Terms*, 4th ed.; Pub. NRCC No. 26516; Canadian Committee on Forest Fire Management, National Research Council of Canada: Ottawa, ON, Canada.
- Mitchell, J. (2023) Analysis of utility wildfire risk assessments and mitigations in California, Elsevier – Fire Safety Journal, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103879>
- Muhs, J., Parvania, M., Nguyen, H., Palmer, J.A. (2021) Characterizing Probability of Wildfire Ignition Caused by Power Distribution Lines, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 36, NO. 6.
- Muhs, J., Parvania, M., Shahidehpour, M. (2020) Wildfire Risk Mitigation: A Paradigm Shift in Power Systems Planning and Operation, <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2020.3030023>
- Palheiro, P., Fernandes, P., Cruz, M. 2006. A fire behaviour-based fire danger classification for maritime pine stands: comparison of two approaches. *Forest Ecology and Management* 234(S1): S54.
- Pereira J.M.C., Silva P.C., Melo I., Oom D., Baldassarre G. e Pereira M.G. (2022) Cartografia de Regimes de Fogo à Escala da Freguesia (1980-2017). *ForestWISE (Coord.) - Projetos AGIF 2021 (P32100231)*, Vila Real, 29 pp.
- Rodriguez, A. & Gil D. (2016) Impactos de tendidos eléctricos de alta tensión: análisis, evaluación y restauración
- Rorabaugh, J. et al. (2021) Impacts of high voltage power lines: analysis, assessment and restoration. *Ingenieria Civil* 182, Pg. 79-94. Resonant Grounded Isolation Transformers to Prevent Ignitions From Powerline Faults, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 36, NO. 4, AUGUST 2021, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3030220>
- Rothermel, R.C. (1972) A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. In *Intermountain Forest & Range Experiment Station; Forest Service, US Department of Agriculture: Ogden, UT, USA.*
- Takhirov, S. M., Israilov, M. (2020) Reduction of wildfire hazard by automated monitoring of vegetation interference with power lines: point cloud analysis combined with cable mechanics, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* (2020) 10:947–956 <https://doi.org/10.1007/s13349-020-00426-z>
- Vasquez, D., Qui, F., Fan, N., Sharp, K. (2022) Wildfire Mitigation Plans in Power Systems: A Literature Review, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 37, NO. 5, SEPTEMBER 2022 <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2022.3142086>
- Viegas, D. X., Ribeiro, L. M., Almeida, M. (2020) *Faixas de Gestão de Combustível*, ADAI, Universidade de Coimbra. 30pp.
- Wang, S., Dehghanian, P. (2020) On the Use of Artificial Intelligence for High Impedance Fault Detection and Electrical Safety, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 56, NO. 6
- Xu, K., Zhang, X., Chen, Z., Wu, W., Li, Tao (2016) Risk assessment for wildfire occurrence in high-voltage power line corridors by using remote sensing techniques: a case study in Hubei Province, China, *International Journal of Remote Sensing*, 37:20, 4818-4837, <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1220032>
- Zhao, M., Barati, M. (2021) A Real-Time Fault Localization in Power Distribution Grid for Wildfire Detection Through Deep Convolutional Neural Networks, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 57, NO. 4, <https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3083645>

Anexos



Anexo 1: Classes do Índice Meteorológico de Incêndio FWI (Fire Weather Index)

Classe de perigo	Intervalo FWI
Perigo Baixo ou Reduzido	[0-8.2
Perigo Moderado	[8.2-17.2[
Perigo Elevado	[17.2-24.6[
Perigo Muito Elevado	[24.6-38.3[
Perigo Máximo	[38.3-50.1[
Perigo Extremo	[50.1-64.0[
Perigo Excepcional	≥ 64.0

Anexo 2: IRs com causa 211 por classe FWI e por ano.

FWI	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total geral Classe FWI	% /Classe FWI
[0-8.5[	2			1		4	13	5	6	17	11	16	10	26	12	11	11	26	17	11	15	214	6,7
[8.5-17.2[	1	3	6	8	3	11	18	8	9	18	21	21	24	20	15	15	16	29	18	21	14	299	9,4
[17.2-24.6[	2	2	2	1	6	21	18	14	16	28	18	31	18	32	19	34	32	43	22	33	25	417	13,1
[24.6-38.3[	5	8	6	10	17	32	64	41	70	112	55	67	102	112	87	78	70	87	75	79	72	1249	39,2
[38.3-50.0[	1	13	3	7	16	21	24	30	58	53	43	62	20	57	73	81	27	42	30	40	48	750	23,5
[50.0-64.0[		3	1		3	8	4	2	21		24	23	9	7	27	24	26	17	12	13	19	244	7,6
64.0+		2										3		1		5		1	1		6	19	0,6
Total geral Ano	11	31	18	27	45	97	141	100	180	228	172	224	183	255	234	250	183	245	175	197	199	3192	

Anexo 3: AArd (ha) derivada de ocorrências com causa 211 por classe FWI e por ano.

FWI	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total geral Classe FWI	% /Classe FWI
[0-8.5[	0,8			0,0		1,5	2,4	0,7	1,1	9,5	8,7	4,8	1,6	2,0	0,3	3,9	4,4	3,4	3,0	67,1	11,0	126,2	0,3
[8.5-17.2[	1,8	12,2	1847,8	187,8	60,4	1,7	5,9	1,4	4,9	7,5	16,4	772,5	35,1	25,9	1,0	8,1	1,0	9,8	2,5	7,3	1,0	3012,0	7,8
[17.2-24.6[	24,0	5,2	0,2	1,5	20,9	99,3	48,5	10,2	10,4	8,4	78,5	25,2	12,9	27,1	5,2	29,4	10,4	14,1	21,0	22,4	27,4	502,2	1,3
[24.6-38.3[	685,1	2098,9	81,8	3120,7	2719,5	79,3	73,9	50,7	100,5	483,9	23,5	365,2	204,1	942,4	589,6	107,8	66,7	348,8	1073,8	92,5	389,7	13698,3	35,4
[38.3-50.0[	1,1	778,2	48,3	776,5	689,9	141,7	26,7	23,9	41,1	100,8	3133,0	266,7	74,2	1062,3	3517,3	4080,5	21,5	659,1	13,2	22,5	61,3	15705,9	40,6
[50.0-64.0[		566,2	88,0		1,1	40,4	4,8	4,7	695,4		95,1	92,2	31,5	712,6	39,4	56,7	772,0	20,5	27,5	6,2	275,6	3778,2	9,8%
64.0+		1567,7										0,8		0,5		252,0		0,0	0,3		26,5	1847,8	4,8%
Total geral Ano	712,8	5028,3	2066,0	4086,5	3491,9	364,0	162,2	91,5	853,4	610,1	3355,2	1527,5	359,4	2772,8	4152,8	4538,3	876,1	1055,7	1141,3	217,9	792,6	38670,4	

Anexo 4: IRs com causa 211 por classe FWI e por distrito.

Distrito	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	Castelo Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	Viana do Castelo	Vila Real	Viseu	Total geral Classe FWI	% /Classe FWI
FWI																				
[0-8.5[	13	9	5	8	15	20	11	14	10	20	5	8	1	29	10	12	4	20	214	6,71
[8.5-17.2[	18	12	14	2	11	22	18	35	7	45	11	19	4	23	8	9	5	36	299	9,37
[17.2-24.6[	13	15	12	7	19	42	25	52	16	42	24	17	3	62	20	5	9	34	417	13,07
[24.6-38.3[	25	120	8	23	90	69	145	141	37	92	27	112	2	240	54	3	10	51	1249	39,2
[38.3-50.0[	6	71	2	9	55	15	133	90	22	24	12	84	1	165	38			22	750	23,5
[50.0-64.0[	2	23		2	17	3	45	31	8	9	8	33		57	3			2	244	7,6
64.0+	1	2			1		2	7			1	2		3					19	0,6
Total geral distrito	78	252	41	51	208	171	380	370	100	232	88	276	11	580	133	29	28	165	3192	100

Anexo 5: Aard (ha) derivada de ocorrências com causa 211 por classe FWI e por distrito.

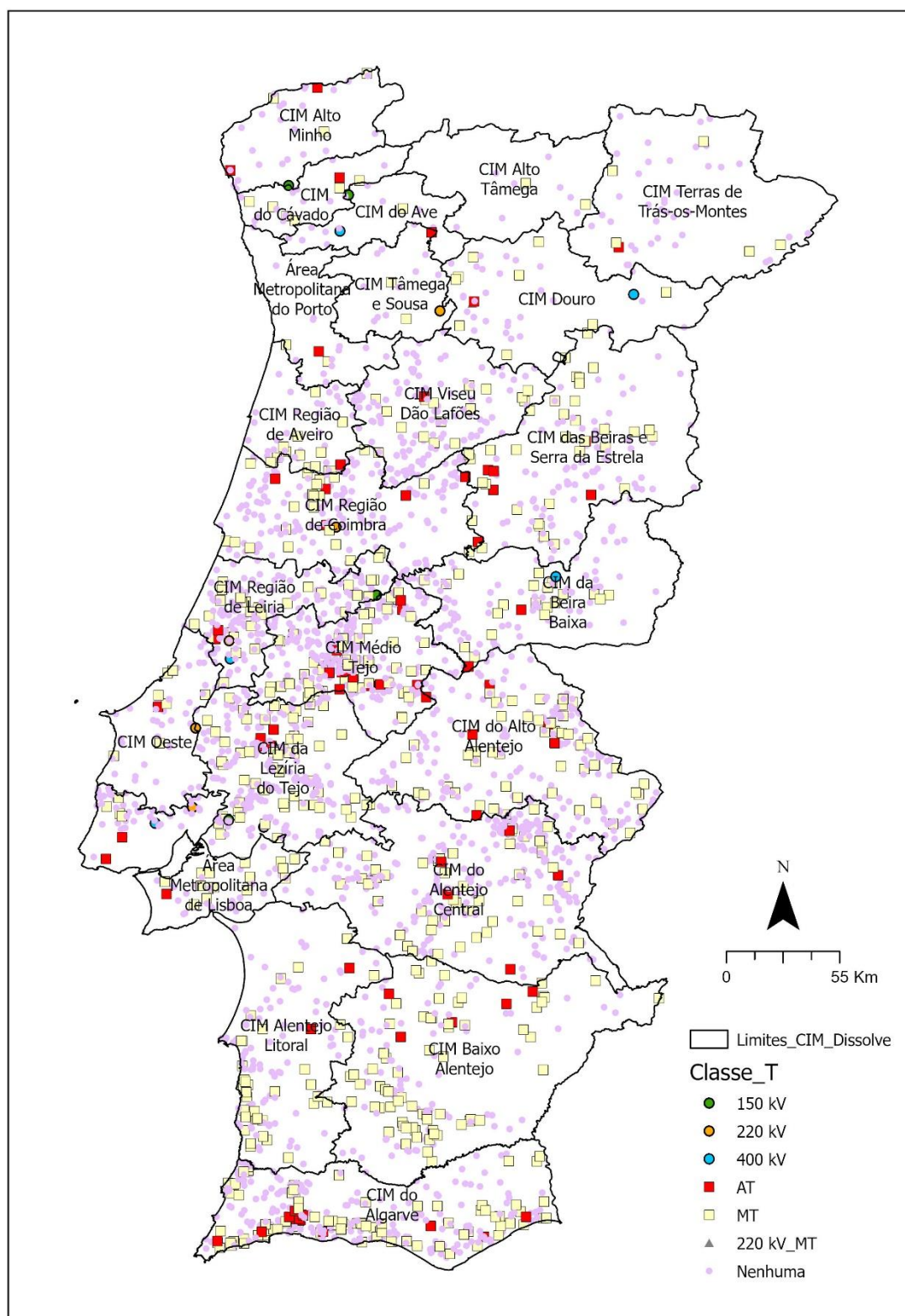
FWI	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	Castelo Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	Viana do Castelo	Vila Real	Viseu	Total geral Classe FWI
[0-8.5[	2,2	58,2	1,5	13,5	0,8	2,3	6,1	4,7	1,6	2,4	7,6	8,3	0,0	4,7	2,9	4,6	2,6	2,1	126,2
[8.5-17.2[	1716,8	1,7	3,0	0,2	1,9	19,8	33,1	14,2	179,1	17,7	6,8	15,5	0,5	189,4	18,0	9,7	0,8	783,9	3012,0
[17.2-24.6[	2,2	31,9	19,3	2,3	5,1	37,5	39,9	177,1	24,5	29,8	17,1	26,8	0,0	14,6	57,5	2,7	6,2	7,5	502,2
[24.6-38.3[	29,8	2095,3	7,8	409,0	1199,8	3751,8	610,2	88,1	41,3	2399,7	26,8	293,3	55,2	823,8	761,4	1,1	1022,4	81,5	13698,3
[38.3-50.0[	3441,4	1758,0	93,0	38,3	4095,6	862,4	694,2	24,6	6,0	28,4	16,3	578,1	0,1	748,3	48,0			3107,2	15540,0
[50.0-64.0[	0,2	40,6		0,8	61,1	18,1	456,9	110,2	1341,7	568,2	7,6	166,1		757,3	1,0			0,0	3529,9
64.0+	144,7	0,6			0,0		1567,7	2,2			1,7	127,7		3,1					1847,8
Total geral distrito	5337,4	3986,4	124,7	464,1	5364,3	4692,0	3522,8	421,2	1594,2	3046,2	83,7	1349,4	55,8	2707,2	888,8	18,1	1031,9	3982,2	38670,4
% [0-8.5[	0,0	1,5	1,2	2,9	0,0	0,0	0,2	1,1	0,1	0,1	9,1	0,7	0,0	0,2	0,3	25,1	0,2	0,1	0,3
% [8.5-17.2[	32,2	0,0	2,4	0,0	0,0	0,4	1,0	3,4	11,2	0,6	8,1	1,3	0,8	7,5	2,0	53,6	0,1	19,7	7,9
% [17.2-24.6[	0,0	0,8	15,5	0,5	0,1	0,8	1,2	42,1	1,5	1,0	20,4	2,2	0,1	0,6	6,5	15,2	0,6	0,2	1,3
% [24.6-38.3[	0,6	52,6	6,3	88,1	22,4	80,0	17,9	20,9	2,6	78,8	32,0	24,1	99,0	32,4	85,7	6,1	99,1	2,0	35,8
% [38.3-50.0[	64,5	44,1	74,6	8,2	76,3	18,4	20,4	5,8	0,4	0,9	19,4	47,5	0,1	29,4	5,4	0,0	0,0	78,0	40,6
% [50.0-64.0[	0,0	1,0	0,0	0,2	1,1	0,4	13,4	26,2	84,2	18,7	9,0	13,7	0,0	29,8	0,1	0,0	0,0	0,0	9,2
% 64.0+	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	0,5	0,0	0,0	2,0	10,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8

Anexo 6: IRs com causa 211 por classe FWI e por CIM.

CIM	FWI							Total Geral	% de IRs/CIM
	[0- 8.5[	[8,5- 17,2[	[17.2- 24.6[	[24.6- 38.3[	[38.3- 50.0[	[50.0- 64.0[	[64.0 +[		
Alentejo Central	11	18	25	145	133	45	2	380	11,9%
Alentejo Litoral	8	11	10	73	43	8	1	154	4,8%
Algarve	14	35	52	141	90	31	7	370	11,6%
Alto Alentejo	8	19	17	112	84	33	2	276	8,6%
Alto Minho	12	9	5	3				29	0,9%
Alto Tâmega	1	2	3	5				11	0,3%
Área Metropolitana de Lisboa	8	12	34	28	20	5		107	3,4%
Área Metropolitana do Porto	3	6	1	5	2			17	0,5%
Ave	1	3	4	5	1			14	0,4%
Baixo Alentejo	6	7	12	89	54	17	1	186	5,8%
Beira Baixa	9	4	9	53	34	12	1	122	3,8%
Beiras e Serra da Estrela	12	10	18	51	33	9		133	4,2%
Cávado	4	11	8	1				24	0,8%
Dão Lafões	18	24	29	44	18	2		135	4,2%
Douro	5	9	10	11	5	1		41	1,3%
Lezíria do Tejo	13	14	32	126	86	37	3	312	9,8%
Médio Tejo	20	14	35	137	92	25	1	324	10,2%
Oeste	3	8	10	15	9	5		50	1,6%
Região de Aveiro	9	9	11	15	4	1		49	1,5%
Região de Coimbra	22	31	44	81	17	4	1	200	6,3%
Região de Leiria	18	37	35	84	16	7		197	6,2%
Tâmega e Sousa	1	4	6	3	2			16	0,5%
Terras de Trás-os-Montes	8	2	7	22	6	1		46	1,4%
Total Geral	214	299	417	1249	750	244	19	3192	

Anexo 7: AArd com causa 211 por classe FWI e por CIM.

CIM	FWI							Total Geral	% de AArd/CIM
	[0- 8.5[	[8,5- 17,2[	[17.2- 24.6[	[24.6- 38.3[	[38.3- 50.0[	[50.0- 64.0[	[64.0 +[		
Alentejo Central	6,1	33,1	39,9	610,2	694,2	456,9	1567,7	3522,8	8,91
Alentejo Litoral	1,4	18,4	49,3	791,5	737,8	5,6	0,1	1604,1	4,19
Algarve	4,7	14,2	177,1	88,1	24,6	110,2	2,2	421,2	1,10
Alto Alentejo	8,3	15,5	26,8	293,3	578,1	166,1	127,7	1349,4	3,18
Alto Minho	4,6	9,7	2,7	1,1				18,1	0,05
Alto Tâmega	0,4	0,0	4,8	4,2				9,5	0,02
Área Metropolitana de Lisboa	3,2	6,0	23,0	24,0	25,2	6,7		88,0	0,23
Área Metropolitana do Porto	1,5	3,2	0,0	56,2	0,2			61,2	0,16
Ave	0,1	0,1	0,5	4,7	38,0			43,3	0,11
Baixo Alentejo	57,7	1,3	31,0	2057,2	1057,4	35,9	0,5	3240,9	8,47
Beira Baixa	0,7	1,7	1,5	1193,5	175,3	60,8	0,0	1433,4	3,75
Beiras e Serra da Estrela	1,3	179,2	25,6	40,6	17,0	1341,8		1605,4	4,20
Cávado	1,5	2,9	18,9	0,2				23,4	0,06
Dão Lafões	2,0	638,4	5,6	81,2	3106,5	0,0		3833,8	10,02
Douro	2,6	1,0	3,3	1019,4	5,1	0,8		1032,2	2,70
Lezíria do Tejo	3,6	179,4	5,7	660,2	55,4	650,5	4,6	1725,2	4,08
Médio Tejo	1,2	11,0	10,1	169,1	4603,2	107,1	0,3	4902,0	12,81
Oeste	6,6	2,3	6,8	48,3	5,0	1,2		70,2	0,18
Região de Aveiro	0,6	1711,2	2,2	1,9	3441,2	0,0		5157,1	13,48
Região de Coimbra	2,4	167,6	37,6	3781,2	862,6	18,3	144,7	5014,4	13,11
Região de Leiria	2,3	15,4	26,2	2360,8	24,4	567,9		2996,9	7,83
Tâmega e Sousa	0,0	0,2	1,2	3,4	55,1			59,9	0,16
Terras de Trás-os-Montes	13,5	0,2	2,3	408,1	33,8	0,0		457,9	1,20
Total Geral	126,2	3012,0	502,2	13698,3	15705,9	3778,2	1847,8	38670,4	100

Anexo 8: Distribuição espacial dos IRs diferenciados por níveis de tensão das LE e por CIM.

Anexo 9: Distribuição dos IRs por classe de coberto arbóreo e altura das árvores.

Contagem de TCD ▼						
Tipologia R ▼	<10	10-20	20-40	40-60	>60	Total Geral
E-REDES_AT	78,6%	0,0%	7,1%	11,9%	2,4%	100,0%
E-REDES_MT	76,9%	1,4%	7,1%	7,8%	6,8%	100,0%
Nenhuma	79,4%	1,1%	6,2%	6,8%	6,6%	100,0%
REN_MAT	73,7%	0,0%	5,3%	5,3%	15,8%	100,0%
Total Geral	79,1%	1,1%	6,3%	6,9%	6,6%	100,0%

Contagem de heigh_clas Rótulos de Coluna ▼							
Rótulos de Linha ▼	0m	<2	2-5	5-10	10-20	>20	Total Geral
E-REDES_Abandonado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
E-REDES_AT	38,1%	4,8%	16,7%	9,5%	31,0%	0,0%	100,0%
E-REDES_MT	43,1%	7,8%	7,1%	11,4%	29,9%	0,7%	100,0%
REN_MAT	31,6%	5,3%	5,3%	0,0%	57,9%	0,0%	100,0%
Nenhuma	40,8%	5,8%	8,7%	10,7%	32,2%	1,8%	100,0%
Total Geral	40,9%	6,0%	8,7%	10,7%	32,2%	1,6%	100,0%

TCD	Altura Copa							
Rótulos de Linha	0m	<2	2-5	5-10	10-20	>20	Total Geral	
☒ E-REDES_AT	38,1%	4,8%	16,7%	9,5%	31,0%	0,0%	100,0%	
<10	42,4%	6,1%	21,2%	6,1%	24,2%	0,0%	100,0%	
20-40	33,3%	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	0,0%	100,0%	
40-60	20,0%	0,0%	0,0%	20,0%	60,0%	0,0%	100,0%	
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
☒ E-REDES_MT	43,1%	7,8%	7,1%	11,4%	29,9%	0,7%	100,0%	
<10	52,8%	7,9%	6,9%	10,6%	21,8%	0,0%	100,0%	
10-20	25,0%	50,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	100,0%	
20-40	20,0%	15,0%	10,0%	20,0%	35,0%	0,0%	100,0%	
40-60	9,1%	0,0%	9,1%	9,1%	72,7%	0,0%	100,0%	
>60	0,0%	0,0%	5,3%	15,8%	68,4%	10,5%	100,0%	
☒ REN_MAT	31,6%	5,3%	5,3%	0,0%	57,9%	0,0%	100,0%	
<10	42,9%	7,1%	7,1%	0,0%	42,9%	0,0%	100,0%	
20-40	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
40-60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
☒ Nenhuma	40,8%	5,8%	8,7%	10,7%	32,2%	1,8%	100,0%	
<10	49,5%	6,4%	9,6%	10,6%	23,6%	0,2%	100,0%	
10-20	36,7%	20,0%	10,0%	10,0%	23,3%	0,0%	100,0%	
20-40	14,7%	6,8%	8,5%	18,1%	52,0%	0,0%	100,0%	
40-60	2,1%	1,0%	6,2%	9,8%	77,2%	3,6%	100,0%	
>60	0,5%	0,0%	0,5%	5,3%	72,9%	20,7%	100,0%	
Total Geral	40,89%	5,98%	8,67%	10,68%	32,15%	1,63%	100,00%	

ANEXO 10: Mapas das variáveis usadas na construção da base de dados que foi utilizada para a análise exploratória dos dados, modelação e definição das áreas de estudo piloto onde o estudo do perigo de incêndio e exposição das linhas elétricas foi desenvolvido.

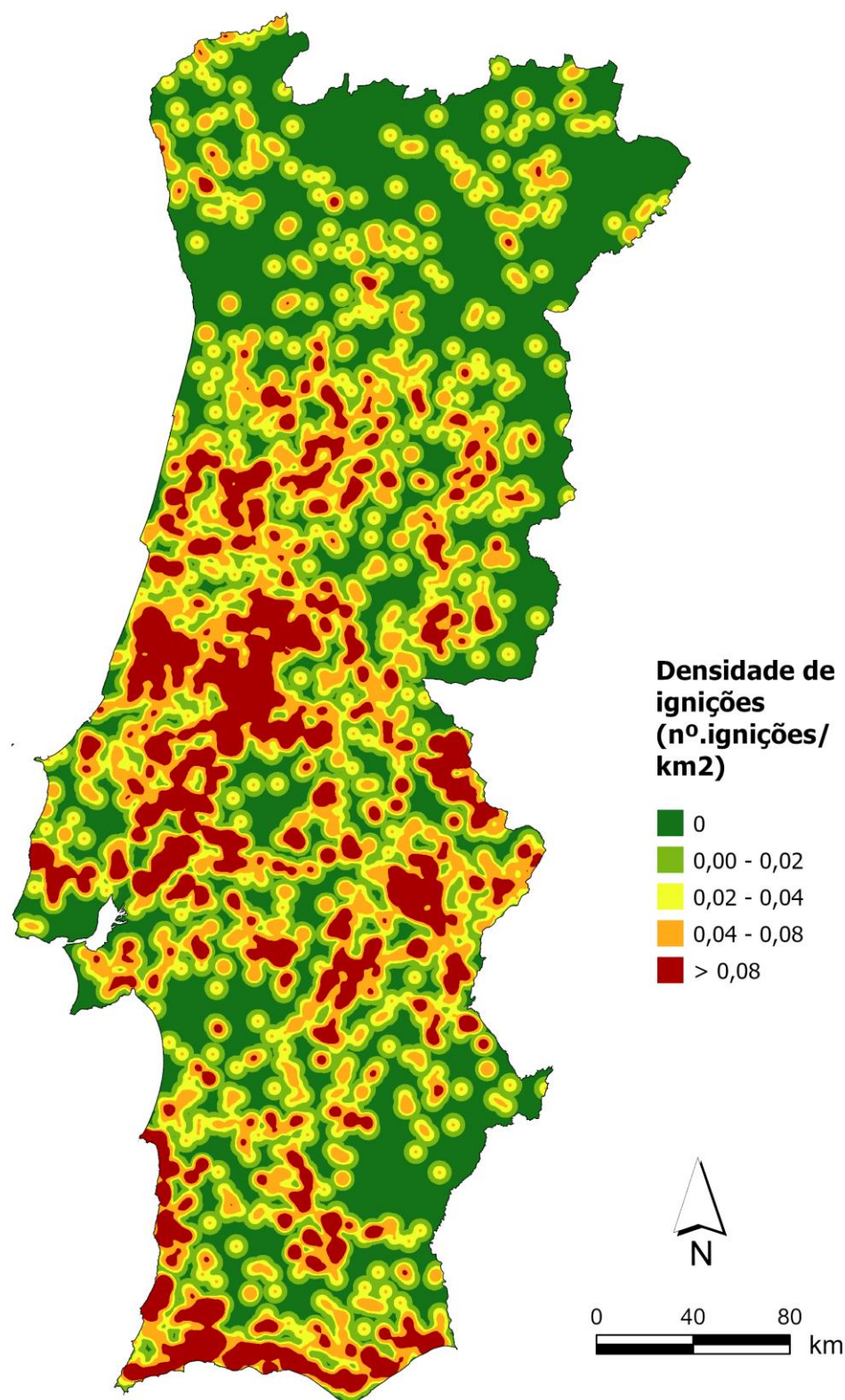


Figura A10.1. Mapa interpolado da densidade de ignições com causa associada às linhas elétricas (causa 211).

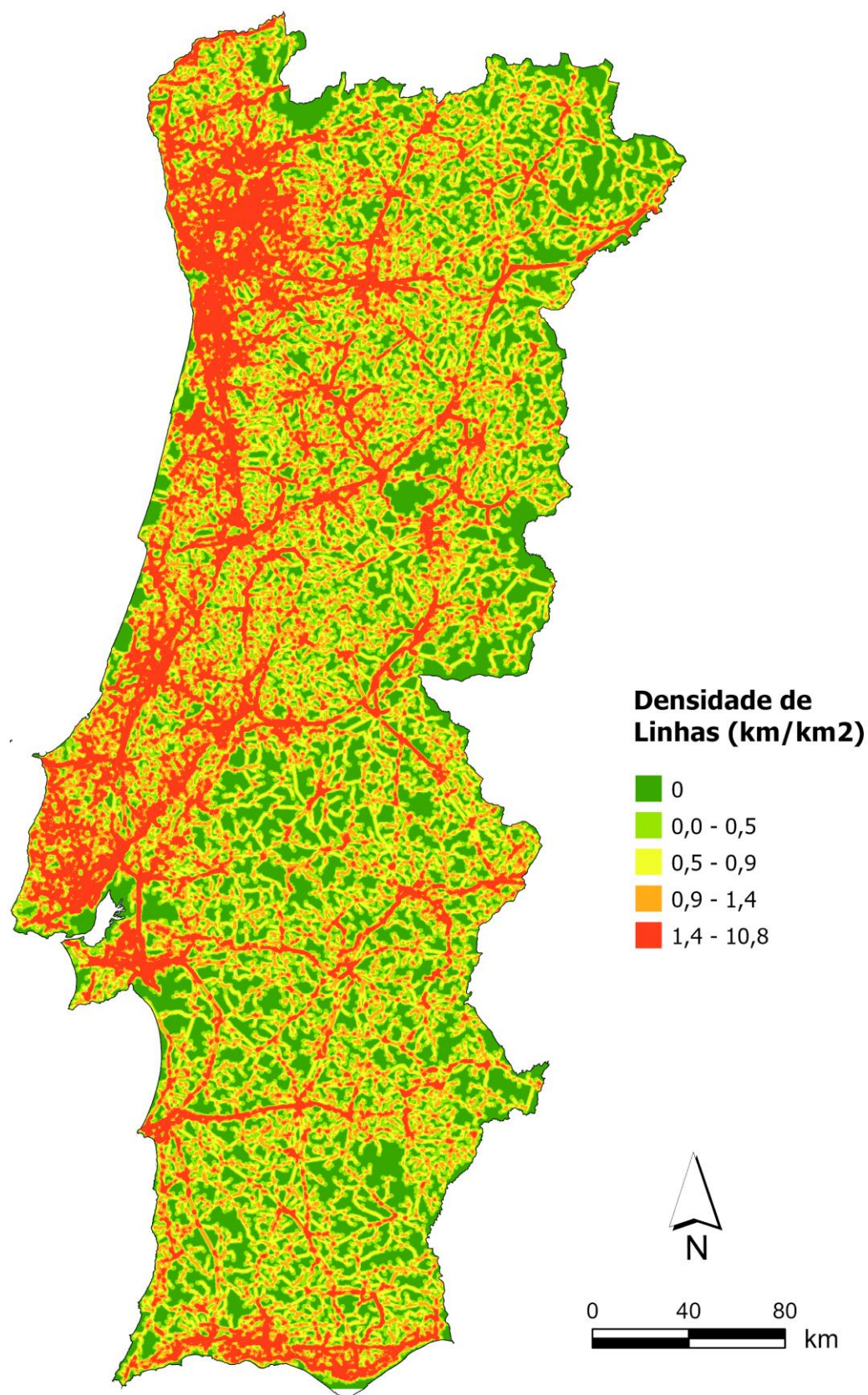


Figura A10.2. Mapa interpolado da densidade de linhas elétricas, considerando todas as tipologias existentes da REN e E-REDES.

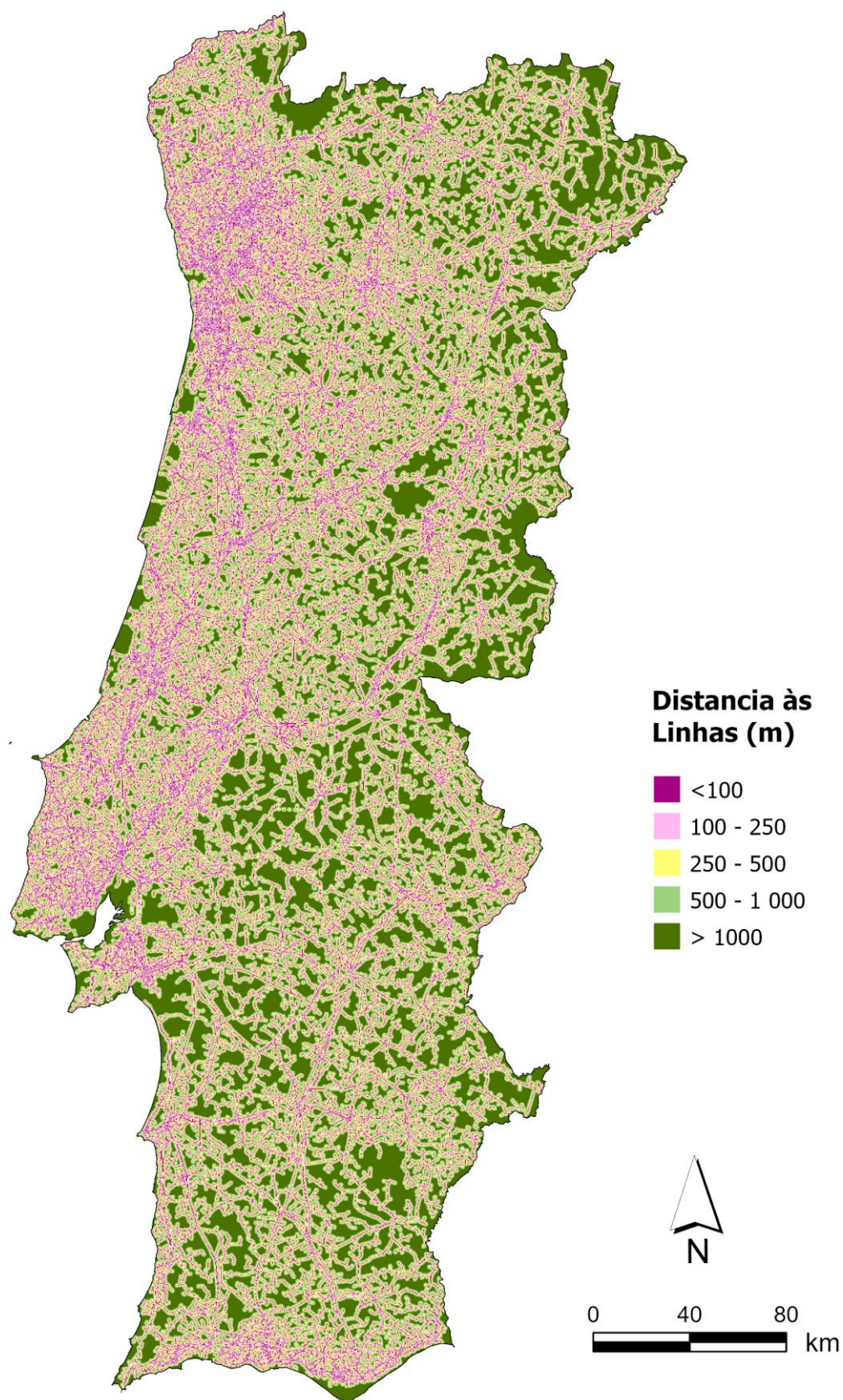


Figura A10.3. Mapa da distância às linhas elétricas, considerando o limite destas o estabelecido por lei para a gestão das faixas de gestão na rede secundária, relativo às estruturas lineares.

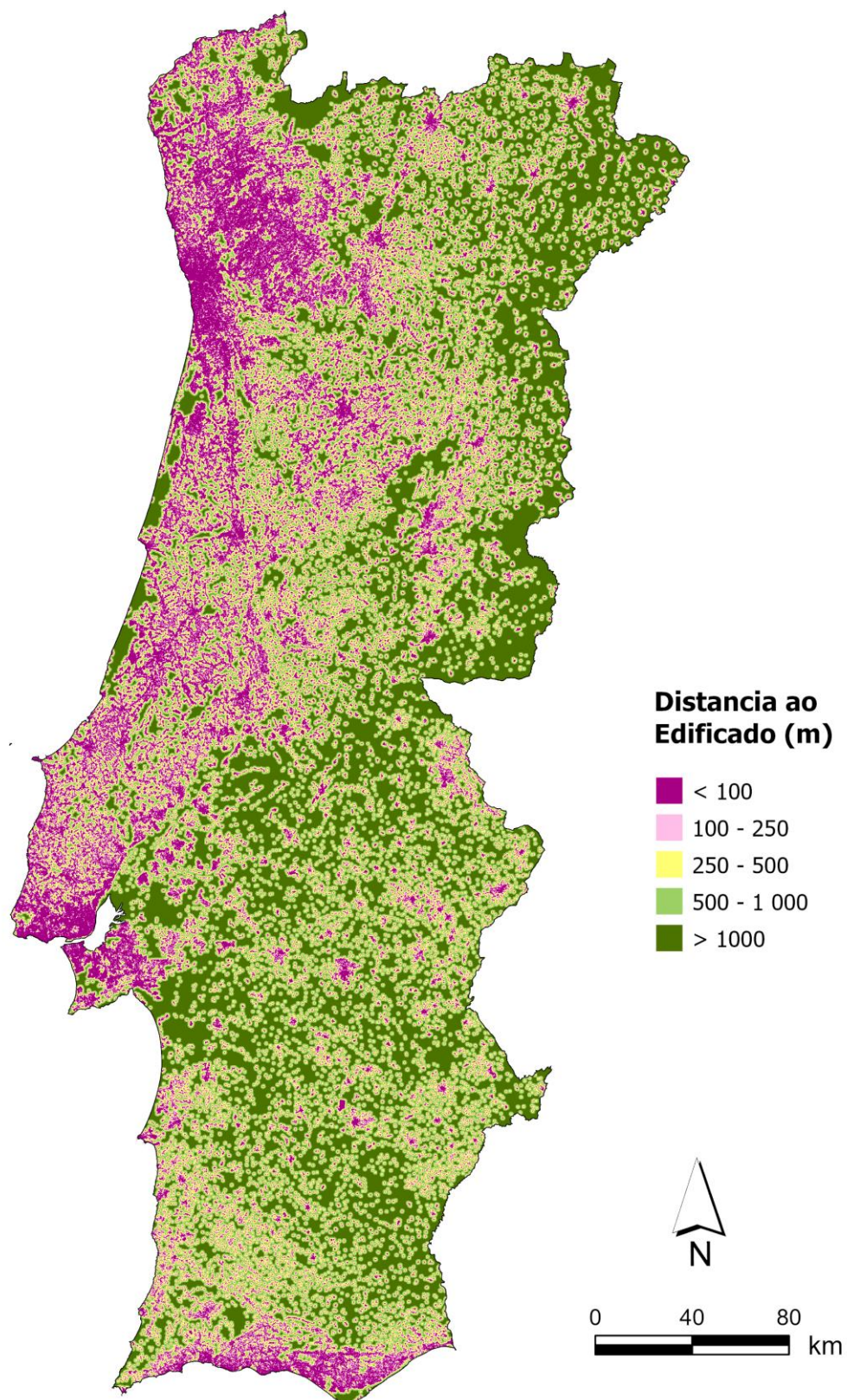


Figura A10.4. Mapa da distância à interface do edificado (Carta de áreas edificadas de 21028, DGT)¹⁸

¹⁸ [Interface de Áreas Edificadas | DGT \(dgterritorio.gov.pt\)](https://dgterritorio.gov.pt/)

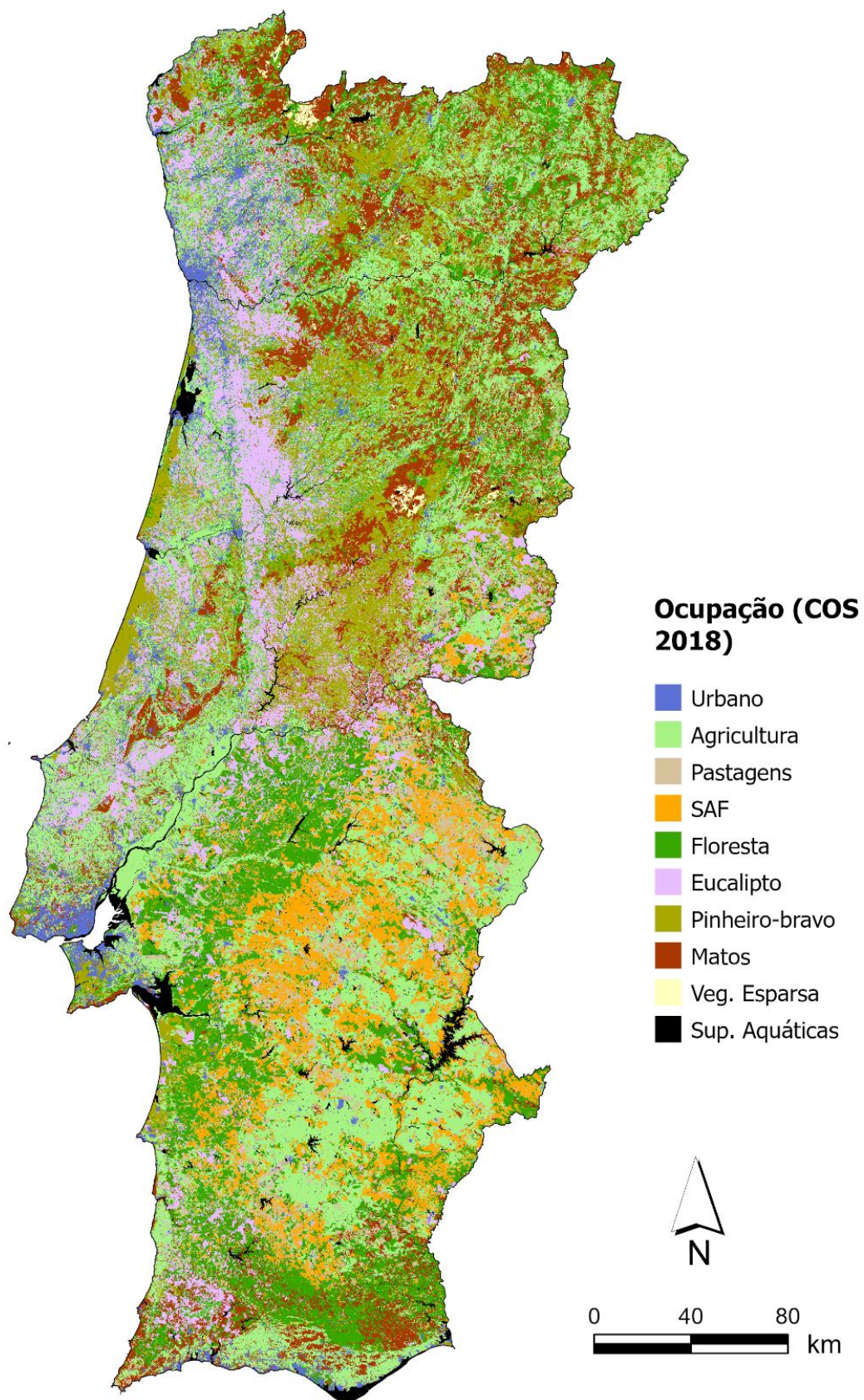


Figura A10.5. Mapa de classes de ocupação (COS 2018), representando a ocupação mais representativa num raio de 1 km.

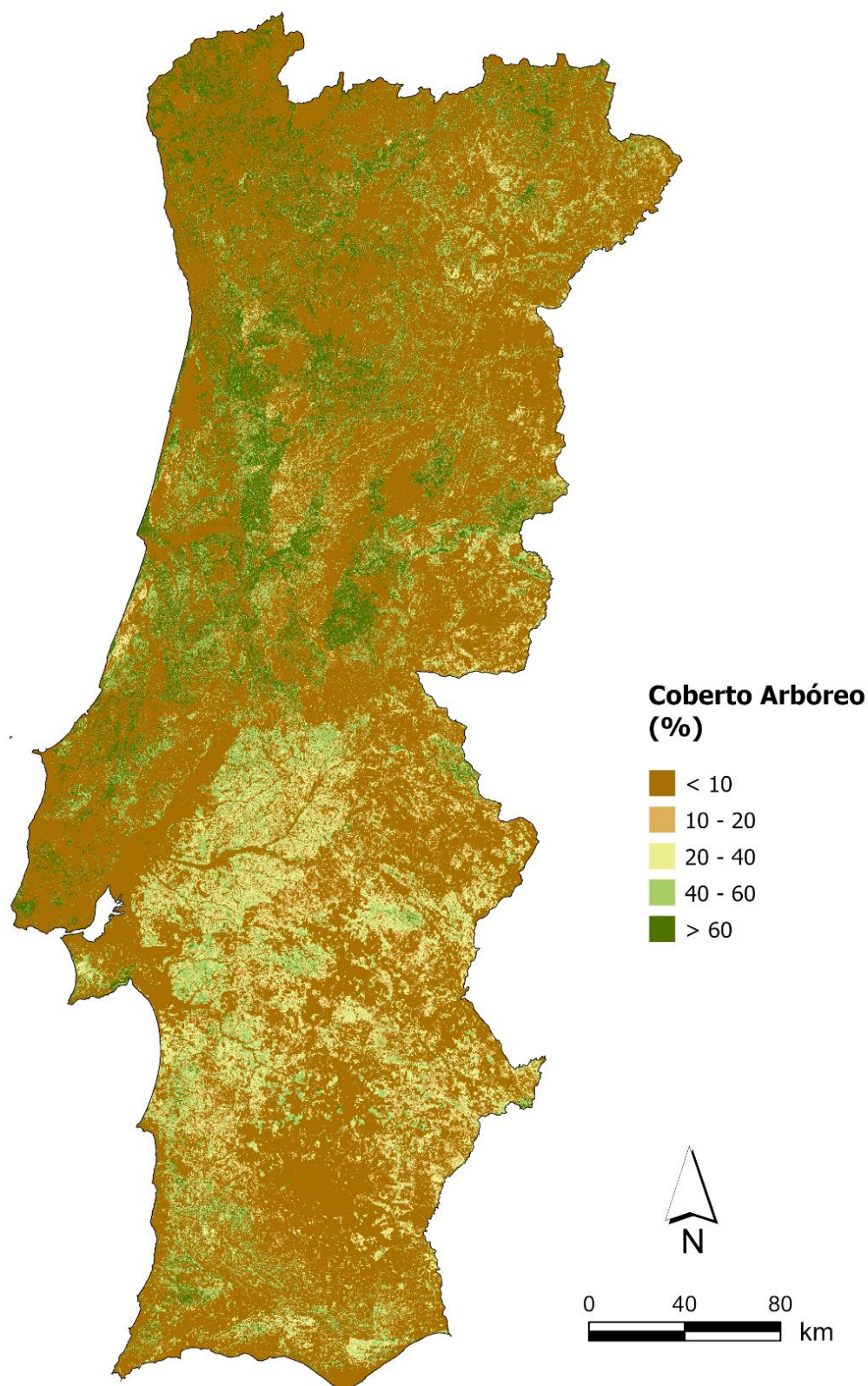


Figura A10.6. Mapa densidade de coberto arbóreo obtido a partir do produto *Tree Cover Density* de 2018, do serviço *Copernicus High Resolution Layers*¹⁹

¹⁹ [High Resolution Layer Tree Cover Density — Copernicus Land Monitoring Service](#)

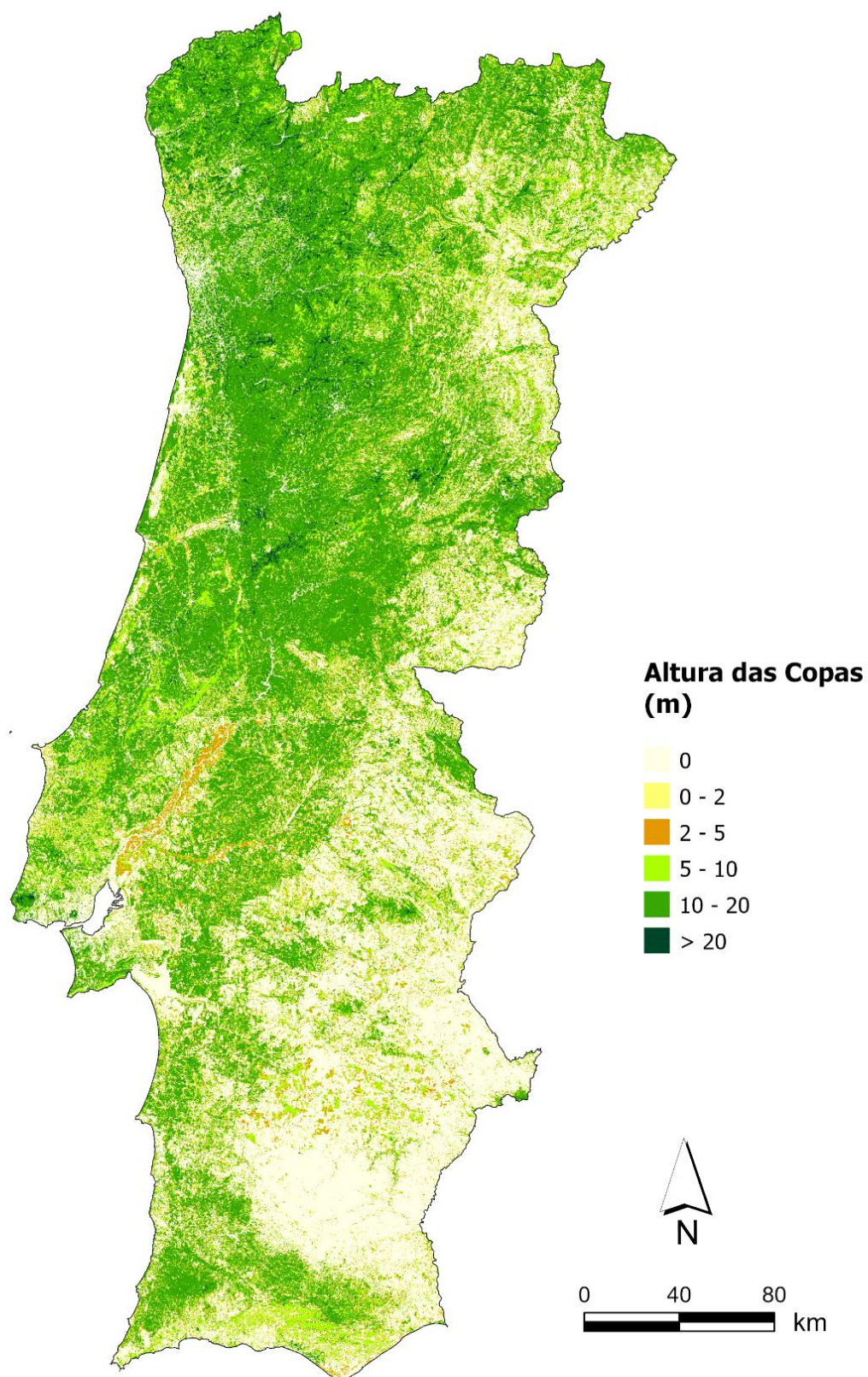


Figura A10.7. Mapa de altura média da vegetação, obtido a partir do produto global de mapeamento de alta resolução para o ano de 2020²⁰

²⁰ [Global Canopy Height 2020 \(earthengine.app\)](https://earthengine.app/)

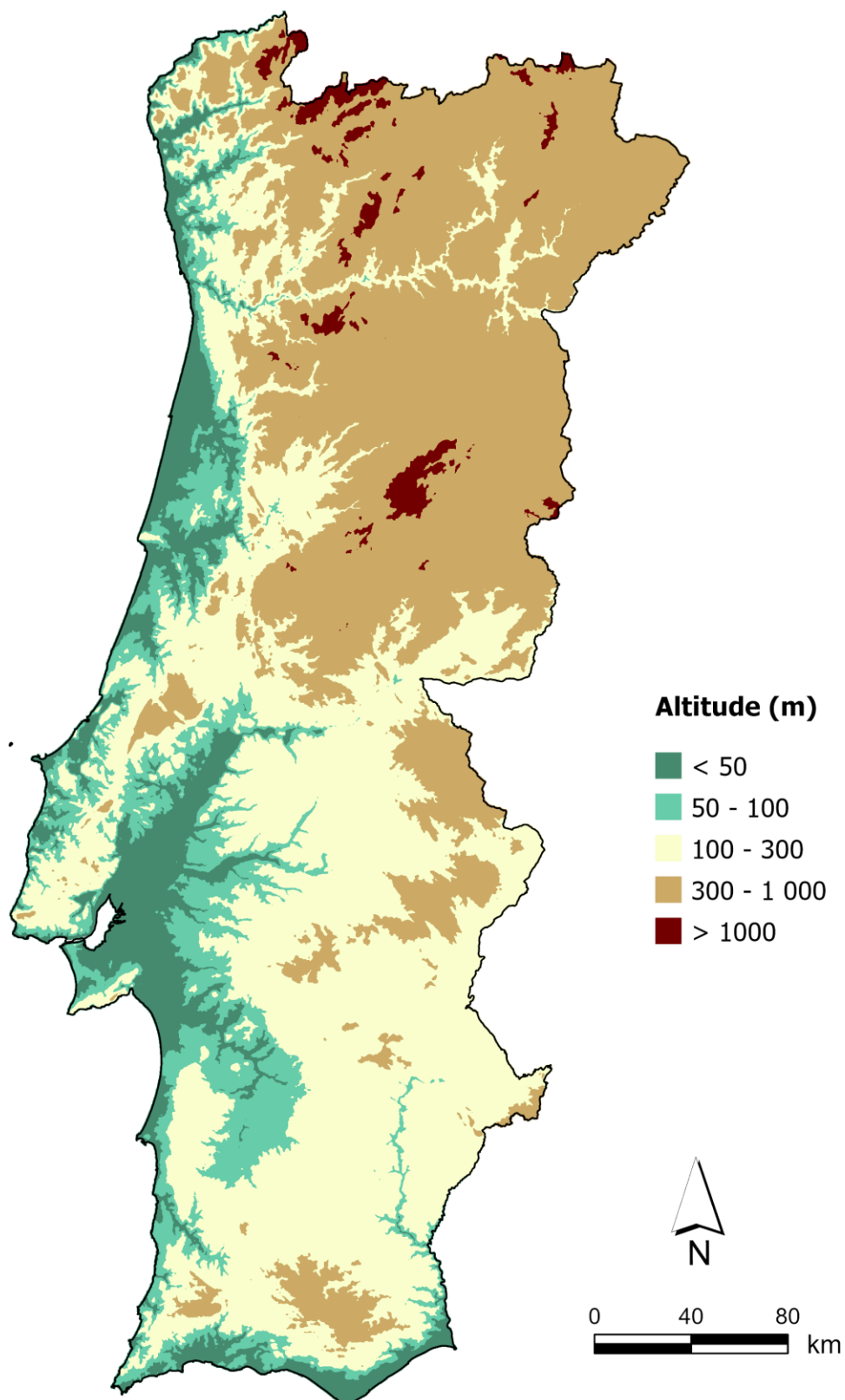


Figura A10.8. Mapa de altitude obtido a partir do produto global de altimetria realizado com imagens de satélite Aster a 30 m de resolução espacial²¹

²¹ [ASTER Global Digital Elevation Map \(nasa.gov\)](https://asterglobal.eos.nasa.gov/)

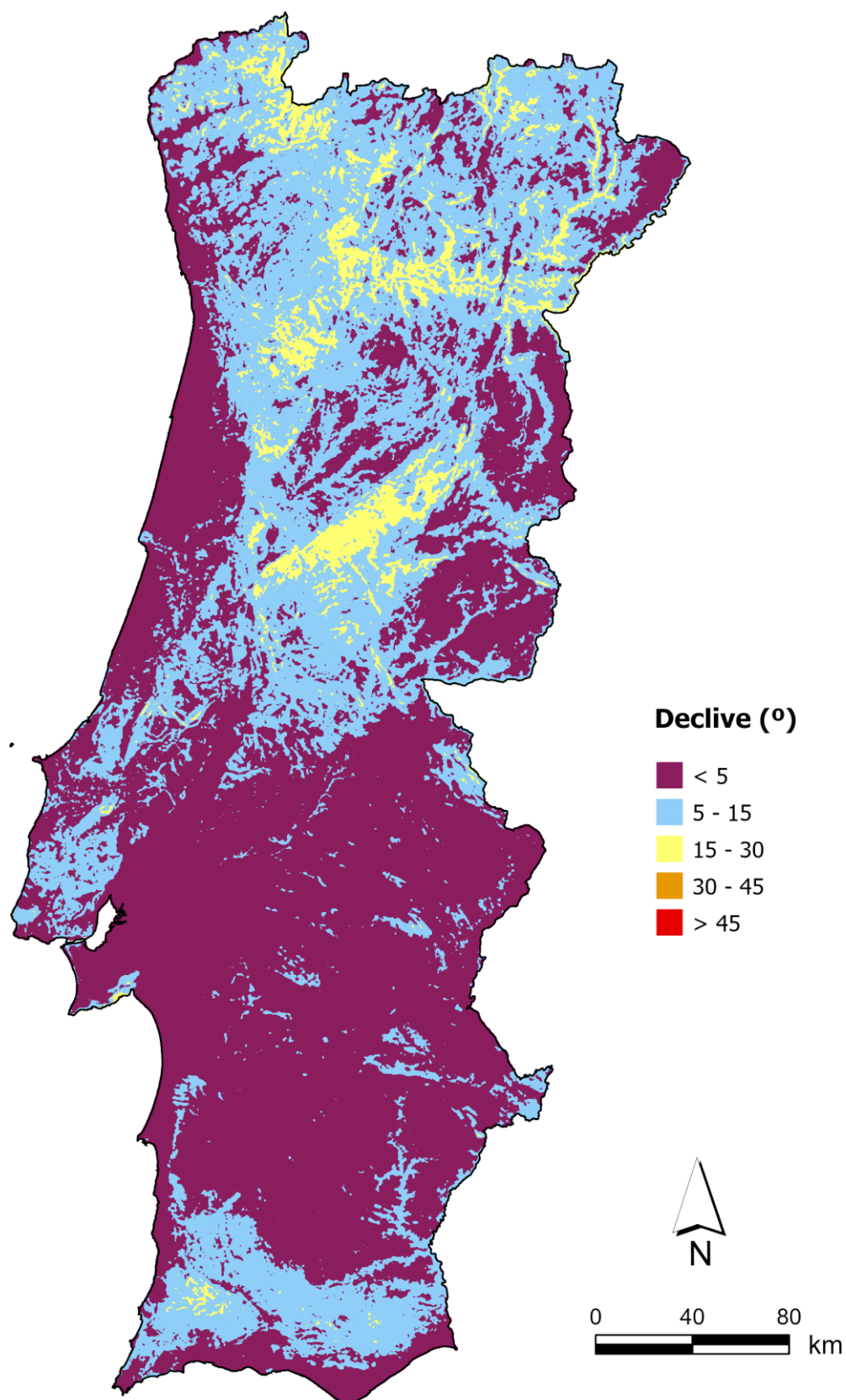


Figura A10.9. Mapa de declive obtido a partir do mapa de altitude.

ANEXO 11: Quadros que analisam a distribuição das ignições com causa 211 pelas diferentes classes definidas para cada uma das variáveis, de acordo com a tipologia de linha elétrica. As tipologias definidas foram: Muito Alta Tensão na REN (REN_MAT); Alta Tensão e Média Tensão na E-REDES (E-REDES_AT e E-REDES-MT); e “Nenhuma” correspondendo a todas as ignições que se localizam fora dos corredores de cada uma das linhas elétricas, apesar de terem associada a causa 211.

Quadro A11.1. Distribuição de frequência de ignições por classe de altitude.

Altitude (m)						
	<50	50-100	100-300	300-1000	>1000	Total Geral
E-REDES_AT	33,3%	16,7%	35,7%	14,3%	0,0%	100,0%
E-REDES_MT	24,2%	17,1%	37,4%	21,4%	0,0%	100,0%
Nenhuma	21,0%	14,5%	38,7%	25,7%	0,1%	100,0%
REN_MAT	21,1%	15,8%	47,4%	15,8%	0,0%	100,0%
Total Geral	21,4%	14,7%	38,6%	25,1%	0,1%	100,0%

Quadro A11.2. Distribuição de frequência de ignições por classe de declive.

Declive (º)						
	< 5	15	30	45	> 45	Total Geral
E-REDES_AT	0,0%	28,6%	35,7%	31,0%	4,8%	100,0%
E-REDES_MT	0,0%	38,4%	41,3%	18,1%	2,1%	100,0%
Nenhuma	0,2%	35,0%	41,4%	19,4%	4,0%	100,0%
REN_MAT	0,0%	26,3%	31,6%	31,6%	10,5%	100,0%
Total Geral	0,2%	35,2%	41,2%	19,5%	3,9%	100,0%

Quadro A11.3. Distribuição de frequência de ignições por classe de distância aos corredores das linhas elétricas.

Distância às linhas (m)						
	<100	250	500	1000	>1000	Total Geral
E-REDES_AT	1,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
E-REDES_MT	4,5%	4,1%	0,1%	0,1%	0,0%	8,8%
Nenhuma	12,8%	47,9%	17,4%	9,4%	1,8%	89,3%
REN_MAT	0,4%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%
Total Geral	18,7%	52,5%	17,5%	9,5%	1,8%	100,0%

Quadro A11.4. Distribuição de frequência de ignições por classe de distância das linhas elétricas ao edificado.

Distância ao edificado (m)	Distancia às linhas (m)					Total Geral
	< 100	250	500	1000	>1000	
E-REDES_Abandonado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
E-REDES_AT	0,3%	0,6%	0,2%	0,2%	0,1%	1,3%
E-REDES_MT	1,1%	4,6%	1,5%	1,2%	0,4%	8,8%
Nenhuma	26,1%	38,5%	11,9%	9,5%	3,3%	89,3%
REN_MAT	0,1%	0,3%	0,1%	0,2%	0,0%	0,6%
Total Geral	27,5%	44,0%	13,6%	11,0%	3,8%	100,0%

Quadro A11.5. Distribuição de contagens de ignições por classe de distância aos corredores das linhas elétricas e classes de distância ao edificado.

Contagem	Distancia às linhas (m)					Total Geral
	< 100	250	500	1000	> 1000	
100	105	546	156	58	11	876
250	290	744	253	111	8	1406
500	91	189	81	66	6	433
1000	85	151	48	53	14	351
>1000	23	48	19	15	18	123
Total Geral	594	1678	557	303	57	3189

Quadro A11.6. Distribuição de frequência de ignições por classe de ocupação do solo

Ocupação	Distancia às linhas (m)								Total Geral
	urb	agr	past	SAF	flo	euc	Pnb	Matos	
E-REDES_AT	14,3%	21,4%	4,8%	0,0%	14,3%	16,7%	7,1%	21,4%	100,0%
E-REDES_MT	3,2%	57,5%	3,9%	2,5%	7,5%	6,8%	12,5%	6,1%	100,0%
Nenhuma	6,1%	52,2%	4,3%	4,5%	7,1%	10,6%	10,3%	4,8%	100,0%
REN_MAT	5,3%	47,4%	5,3%	0,0%	0,0%	26,3%	5,3%	10,5%	100,0%
Total Geral	5,9%	52,3%	4,3%	4,3%	7,2%	10,4%	10,5%	5,2%	100,0%

Quadro A11.7. Distribuição de frequência de ignições por classe de altura do copado arbóreo.

Altura da Vegetação (m)							
	< 1	1-3	3-5	5-10	10-20	> 20	Total Geral
E-REDES_AT	38,1%	16,7%	4,8%	9,5%	0,0%	31,0%	100,0%
E-REDES_MT	43,1%	7,1%	7,8%	11,4%	0,7%	29,9%	100,0%
Nenhuma	40,8%	8,7%	5,8%	10,7%	1,8%	32,2%	100,0%
REN_MAT	31,6%	5,3%	5,3%	0,0%	0,0%	57,9%	100,0%
Total Geral	40,9%	8,7%	6,0%	10,7%	1,6%	32,2%	100,0%

Quadro A11.8. Distribuição de frequência de ignições por classe de densidade de coberto arbóreo e altura das copas.

Coberto arbóreo (%) / Altura de Copas (m)							
	0	2	2-5	5-10	10-20	> 20	Total Geral
E-REDES_AT	0,5%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%	0,0%	1,3%
<10	0,4%	0,1%	0,2%	0,1%	0,3%	0,0%	1,0%
20-40	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
40-60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
E-REDES_MT	3,8%	0,7%	0,6%	1,0%	2,6%	0,1%	8,8%
<10	3,6%	0,5%	0,5%	0,7%	1,5%	0,0%	6,8%
10-20	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
20-40	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,6%
40-60	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,5%	0,0%	0,7%
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,4%	0,1%	0,6%
REN_MAT	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,6%
<10	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%
20-40	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40-60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%
Nenhuma	36,4%	5,2%	7,8%	9,5%	28,8%	1,6%	89,3%
<10	35,1%	4,6%	6,8%	7,5%	16,7%	0,1%	70,9%
10-20	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,9%
20-40	0,8%	0,4%	0,5%	1,0%	2,9%	0,0%	5,5%
40-60	0,1%	0,1%	0,4%	0,6%	4,7%	0,2%	6,0%
>60	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	4,3%	1,2%	5,9%
Total Geral	40,9%	6,0%	8,7%	10,7%	32,2%	1,6%	100,0%

Quadro A11.9. Distribuição de frequência de ignições por classe de ocupação e de densidade de coberto arbóreo.

Altura de copas (m) / Ocupação									
	urb	agric	past	SAF	flo	euc	pnb	mat	Total Geral
E-REDES_AT	0,2%	0,3%	0,1%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,3%	1,3%
0	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,2%	0,5%
<2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
2-5	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
5-10	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
10-20	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,4%
E-REDES_MT	0,3%	5,1%	0,3%	0,2%	0,7%	0,6%	1,1%	0,5%	8,8%
0	0,2%	2,6%	0,2%	0,2%	0,3%	0,1%	0,1%	0,2%	3,8%
<2	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,7%
2-5	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,6%
5-10	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	1,0%
10-20	0,1%	0,9%	0,1%	0,0%	0,2%	0,3%	0,8%	0,3%	2,6%
>20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
REN_MAT	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,6%
0	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
<2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2-5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10-20	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,3%
Nenhuma	5,4%	46,6%	3,9%	4,0%	6,3%	9,4%	9,2%	4,3%	89,3%
0	3,4%	22,3%	3,0%	2,1%	1,5%	1,3%	1,4%	1,3%	36,3%
<2	0,3%	3,0%	0,2%	0,3%	0,4%	0,2%	0,3%	0,6%	5,2%
2-5	0,3%	4,8%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,5%	0,3%	7,8%
5-10	0,3%	6,2%	0,2%	0,3%	0,7%	0,5%	0,9%	0,6%	9,6%
10-20	1,2%	10,1%	0,2%	1,0%	2,9%	6,1%	5,8%	1,5%	28,8%
>20	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,7%	0,4%	0,0%	1,6%
Total Geral	5,9%	52,3%	4,3%	4,3%	7,2%	10,4%	10,5%	5,2%	100,0%

ANEXO 12: Quadro descritivo das características das principais variáveis geográficas e meteorológicas usadas na classificação em clusters das ignições com causa associada às linhas elétricas (causa 211).

Cluster	Área queimada (ha)						Total Geral
	< 1	50	100	500	1000	> 1000	
1	0,2%	1,9%	1,0%	2,9%	2,0%	2,7%	10,7%
2	0,1%	0,4%	0,4%	0,6%	1,4%	6,8%	9,8%
3	0,1%	0,5%	0,2%	1,2%	3,0%	74,6%	79,5%
Total Geral	0,3%	2,9%	1,5%	4,7%	6,5%	84,1%	100,0%

Cluster	Ocupação							
	Urbanos	Agricultura	Pastagens	SAF	Floresta	Eucalipto	Pinheiro-bravo	Matos
1	5,8%	59,9%	6,9%	7,5%	7,8%	4,8%	4,1%	3,2%
2	7,6%	52,0%	2,3%	1,5%	5,0%	13,9%	11,1%	6,6%
3	3,2%	31,3%	0,7%	0,0%	9,3%	19,9%	27,2%	8,4%
Total Geral	5,9%	52,3%	4,3%	4,3%	7,2%	10,4%	10,5%	5,2%

Cluster	Altura das copas (m)					
	< 1	2	5	10	20	> 20
1	59,4%	8,1%	11,3%	9,4%	11,9%	0,0%
2	27,3%	4,7%	7,6%	13,0%	45,2%	2,2%
3	12,8%	2,3%	3,3%	10,2%	66,1%	5,3%
Total Geral	40,9%	6,0%	8,7%	10,7%	32,2%	1,6%

Cluster	Distancia ao edificado (m)				
	< 100	250	500	1000	> 1000
1	24,7%	39,9%	13,2%	15,5%	6,6%
2	30,7%	51,7%	12,4%	5,0%	0,2%
3	29,8%	41,9%	16,8%	8,8%	2,6%
Total Geral	27,5%	44,0%	13,6%	11,0%	3,8%

Cluster	Altitude (m)				
	< 50	100	300	1000	> 1000
1	22,1%	13,2%	49,6%	15,1%	0,0%
2	31,8%	24,5%	32,8%	10,9%	0,0%
3	1,2%	1,6%	17,9%	78,8%	0,5%
Total Geral	21,4%	14,7%	38,6%	25,1%	0,1%

Cluster	Declive (°)				
	< 5	15	30	45	> 45
1	48,1%	41,3%	10,3%	0,3%	0,0%
2	32,1%	46,9%	18,4%	2,7%	0,0%
3	4,4%	30,9%	47,7%	16,0%	1,1%
Total Geral	35,2%	41,2%	19,6%	3,8%	0,2%

Cluster	Temperatura (°C)			
	< 10	20	30	> 30
1	0,4%	6,2%	54,9%	38,6%
2	2,6%	44,3%	52,3%	0,8%
3	1,8%	17,5%	53,9%	26,8%
Total Geral	1,3%	20,3%	53,9%	24,5%

Cluster	Humidade relativa (%)				
	< 10	20	30	60	> 60
1	0,7%	9,1%	24,9%	56,0%	9,1%
2	0,0%	0,0%	0,6%	45,3%	54,1%
3	0,4%	5,1%	20,2%	60,9%	13,5%
Total Geral	0,4%	5,5%	16,3%	53,5%	24,2%

Cluster	Vento (km/h)			
	< 10	20	30	> 30
1	41,5%	52,9%	5,5%	0,1%
2	11,0%	42,2%	38,7%	8,1%
3	46,8%	50,4%	2,6%	0,2%
Total Geral	32,7%	49,0%	15,6%	2,7%

Visto e validado.
18 de setembro de 2024



Carlos Fonseca
CTO do CoLAB ForestWISE



Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada
da Floresta e do Fogo

Quinta de Prados, Campus da UTAD
5000-801 Vila Real
Portugal

Telefone: +351 259 350 253/4
E-mail: geral@forestwise.pt