Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Análise das variáveis que influenciam os reacendimentos em Portugal e os incêndios rurais que estiveram na sua génese

Ricardo Filipe Gomes Ferreira

Dissertação realizada no âmbito do

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Major Automação

Orientador: Abílio Pereira Pacheco

Co-orientador: João Alberto Vieira Campos Pereira Claro

15 de Outubro de 2020

© Ricardo Ferreira, 2020

Resumo

As florestas são sinónimo de árvores, vida animal, frescura, silêncio, purificação do ar. São recursos globais que trazem benefícios económicos, sociais e ambientais. Em Portugal verifica-se um elevado número de fogos florestais que vão destruindo a floresta ao longo dos anos.

Neste trabalho é realizada uma análise dos dados relativos a incêndios rurais e reacendimentos em Portugal continental entre 2001 e 2019. Recorre-se a ferramentas de análise estatística para analisar, no tempo e espaço, as ocorrências de incêndios e reacendimentos em Portugal verificando-se que existe um período compreendido entre 16 de junho e 15 outubro onde existem o maior número de ocorrências e que os reacendimentos se concentram mais na zona norte do país.

A análise das regressões multilineares permitiu verificar que o ano é uma variável que influencia os reacendimentos e a origem dos reacendimentos, podendo indicar variação de outras fontes de explicação (variáveis não consideradas), tal como por exemplo, variações ao longo do tempo na dimensão do dispositivo de supressão e do tipo de meios utilizados.

A densidade da rede viária é uma variável que tem um efeito negativo nas regressões multilineares apresentadas, ou seja, quanto maior for o número de estradas menor é a possibilidade de ocorrer um reacendimento.

A área ardida e o número de incêndios simultâneos dentro do distrito são variáveis que tem influência na origem de reacendimentos. Quanto maior for a área ardida e quanto maior for o número de ocorrências no distrito maior é a possibilidade de um incêndio originar um reacendimento. O índice de humidade da manta morta (DMC) influencia os reacendimentos e quanto maior for esse valor, maior é a possibilidade de ser um reacendimento.

Página em branco

Abstract

Forests are synonymous with trees, animal life, freshness, silence, air purification. These are global resources that bring economic, social, and environmental benefits. In Portugal there is a high number of forest fires that have been destroying the forest over the years.

In this work, an analysis of the data related to rural fires and rekindles in mainland Portugal between 2001 and 2019 is carried out. Statistical analysis tools are used to analyze, in time and space, the occurrences of fires and rekindles in Portugal, verifying that there is a period between the 16th of June and the 15th of October when there are the highest number of occurrences and where the rekindles are more concentrated in the northern part of the country.

The analysis of multilinear regressions allowed to verify that the year is a variable that influences the rekindles and the origin of the rekindles, being able to indicate variation of other sources of explanation (variables not considered), such as for example, variations over time in the dimension of the suppression device and the type of media used.

The density of the road network is a variable that has a negative effect on the multilinear regressions presented, that is, the greater number of roads, the lower chance of rekindling.

The burnt area and the number of simultaneous fires within the district are variables that have an influence on the origin of rekindles. The larger burnt area and the greater number of occurrences in the district, the greater chance of a fire causing a rekindle. The duff moisture code (DMC) influences the rekindles and the higher this value, the greater the possibility of being a rekindle.

Página em branco

Agradecimentos

O primeiro agradecimento é para os professores Abílio Pereira Pacheco e João Claro por todo o apoio, motivação e orientação que foram muito importantes na elaboração deste trabalho.

Um agradecimento ao Engenheiro Rui Almeida do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) pela disponibilização de dados sobre os reacendimentos e ao engenheiro Nuno Guiomar pela disponibilização dos dados sobre a ocupação e uso de solo.

Agradecer também ao INESC TEC e ao ForestWISE por todas as condições que me disponibilizaram.

Um agradecimento especial á minha família por toda a paciência, apoio e suporte dado ao longo deste percurso e a todos os meus amigos que me apoiaram e ajudaram nesta caminhada.

Página em branco

Índice

Resumo ..... **iii**

Abstract ..... **v**

Agradecimentos ..... **vii**

Índice ..... **ix**

Lista de figuras ..... **xi**

Lista de tabelas ..... **xii**

Abreviaturas e Símbolos ..... **xiv**

Capítulo 1 ..... **15**

Introdução 15

1.1 - Contexto 15

1.2 - Motivação 16

1.3 - Objetivos 16

1.4 - Estrutura da dissertação 16

Capítulo 2 ..... **18**

Revisão da Literatura 18

2.1 - Gestão de incêndios florestais 18

2.2 - Gestão de operacionais 20

2.3 - Causas dos incêndios florestais 21

2.4 - A dinâmica dos reacendimentos 22

2.5 - Incêndios em Portugal entre 2010 e 2019 23

2.6 - Interpretação sistema FWI 23

Capítulo 3 ..... **27**

Dados e Métodos 27

3.1 - Caso de estudo 27

3.2 - Dados e Software utilizado 27

Capítulo 4 ..... **29**

Resultados e discussão 29

4.1 - Tratamento dos dados referentes aos reacendimentos 29

4.1.1- Grupo A 32

4.1.2- Grupo B 32

4.2 - Análise estatística 34

4.2.1. Dados anuais 34
4.2.2. Dados em relação ao mês, dia da semana e horas das ocorrências 36
4.2.3. Dados em relação aos distritos 38
4.2.4. Análise cruzada 40
4.3 - Análise de Regressão 43
4.3.1. Grupos de variáveis e análise de correlação 44
4.3.2. Regressão multilinear (reacendimentos) 47
4.3.3. Regressão multilinear (incêndios rurais que originaram reacendimentos) 50

Capítulo 5 54

Conclusão 54
5.1 - Limitações 54
5.2 - Trabalho futuro 55
Referências 56

Lista de figuras

Figura 1: Percentagem de fogos rurais e de reacendimentos nos últimos 10 anos.....23

Figura 2: Sistema FWI e suas variáveis 24

Figura 3: Número de fogos rurais (FR) e de reacendimentos (RCD) no eixo da esquerda e total da área ardida no eixo da direita ao longo dos anos 35

Figura 4: Número de reacendimentos (RCD) e número de incêndios que originaram reacendimentos ao longo dos anos (oRCD) 35

Figura 5: Número de Fogos Rurais no eixo da direita e total área ardida (ha) no eixo da esquerda nos distritos de Portugal 39

Figura 6: Número de reacendimentos e de incêndios que originaram reacendimentos nos distritos de Portugal 40

Figura 7: Gráfico que descreve a percentagem de incêndios que originaram um determinado número de reacendimentos.....43

Lista de tabelas

Tabela 1: Classes de perigo de incêndio florestal e sua interpretação 24

Tabela 2: Correspondência entre o DC e necessidade e dificuldade de rescaldo 25

Tabela 3: Procedimentos efetuados no tratamento de dados e sua descrição 29

Tabela 4: Número de correspondências entre os reacendimentos e os incêndios rurais que o originaram obtidas através dos diferentes procedimentos 31

Tabela 5: Número de casos com origem incógnita (OI) e as possibilidades para a origem dos reacendimentos (poRCD) resultantes dos procedimentos do grupo B 33

Tabela 6: Área ardida, número de fogos rurais (FR), número de reacendimentos (RCD) e número de incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) ao longo dos anos 34

Tabela 7: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) ao longo dos meses 36

Tabela 8: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) relativos aos dias da semana 36

Tabela 9: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) em relação às horas em que ocorreram 37

Tabela 10: Total de área ardida (ha), fogos rurais e reacendimentos nos distritos 38

Tabela 11: Lista de incêndios que deram origem (oRCD) a 20 ou mais reacendimentos entre 2001 e 2019, e o ano e o distrito em que ocorreram 40

Tabela 12: Quantidade e percentagem de incêndios (oRCD) que originaram um número de reacendimentos entre 2001 e 2019 41

Tabela 13: Quantidade e percentagem de incêndios (oRCD) que originaram um número de reacendimentos entre 2001 e 2019 agrupada 42

Tabela 14: Classificação das variáveis utilizadas na regressão multilinear em tipos (segundo o SPSS) e associadas em grupos para análise de correlação 44

Tabela 15: Coeficientes de correlações no grupo Áreas 45

Tabela 16: Coeficientes de correlações no grupo uso do solo e distância ao impermeabilizado 45

Tabela 17: Coeficientes de correlações no grupo simultaneidade 46

Tabela 18: Coeficientes de correlações no grupo meteorologia do fogo 46

Tabela 19: Coeficientes de correlações no grupo meteorologia 47

Tabela 20: Tabela com o resumo do modelo e a tabela ANOVA da regressão multilinear para a variável dependente reacendimento 48

Tabela 21: Coeficientes de regressão das variáveis independentes com a variável dependente reacendimento 49

Tabela 22: Estatísticas de resíduos da regressão multilinear com a variável dependente reacendimentos 50

Tabela 23: Tabela com o resumo do modelo e a tabela ANOVA da regressão multilinear para a variável dependente origem dos reacendimentos.....51

Tabela 24: Coeficientes de regressão das variáveis independentes com a variável dependente origem do reacendimento 52

Tabela 25: Estatísticas de resíduos da regressão multilinear com a variável dependente origem dos reacendimentos 53

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AFOCELCA	Agrupamento complementar de empresas, constituído pelo Grupo Portocel Soporcel, Celbi e Celulose do Caima para a prevenção e combate de incêndios florestais
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
BUI	Índice de combustível disponível
DC	Índice de seca
DMC	Índice de humidade da manta morta
DSR	Taxa Diária de Severidade (Daily Severety Rating)
FFMC	Índice de humidade do combustível fino
FR	Fogos Rurais
FWI	Índice de Risco de Incêndio
GFR	Gestão de Fogos Rurais
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
INE	Código da localidade
ISI	Índice de propagação inicial do fogo
OI	Origem incógnita
oRCD	Fogos rurais que originaram reacendimentos
PCIR	Proteção Contra Incêndios Rurais
PNDFCI	Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PNGIFR	Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais
RCD	Reacendimentos
SGIF	Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais
THC	Índice de teor de humidade do combustível

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Contexto

As múltiplas utilidades da madeira, para construção, para uso doméstico ou para as indústrias fez com que ao longo dos anos em Portugal tenha havido um crescimento do espaço florestal.

Nos últimos 25/30 anos os incêndios constituem uma séria e crescente ameaça à floresta portuguesa, podendo por vezes ocorrer catástrofes como a sucedida em 2017 em Pedrogão Grande. Nesta tragédia, a maior relacionada com fatalidades desde que há registo dos incêndios em Portugal, vitimou 64 pessoas, feriu 198 e destruiu cerca de 490 habitações (C.-C.T. Independente 2018).

O pico dos fogos rurais em Portugal corresponde a uma área ardida de cerca de 80 % ao longo de um ano concentrada num curto período de tempo, 10/15 dias, o que torna o problema ainda maior, pois quem tem de lidar com a supressão a incêndios tem de estar preparado para responder a este pico de incêndios num curto espaço de tempo. Enquanto que as ações de supressão, e os investimentos nas equipas de supressão não podem ser diferidos nem planeados ao longo do tempo, as ações de prevenção (limpezas das matas, os fogos controlados, torres de vigia em condições, pontos de água operacionais) podem ser feitas ao longo do ano, dando melhorias e garantias desse investimento, sem nunca baixar a guarda, pois as forças de supressão têm de estar prontas a atuar caso seja necessário.

A região do país onde há mais fogos é a região noroeste, entre o Porto e Viana do Castelo, ou seja, onde há maior densidade populacional. Cerca de 20% dos fogos ocorrem nos conselhos das áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, mas pequenos porque são zonas que não tem grandes manchas florestais e os meios também são rápidos a intervir, pois como são áreas com muita população rapidamente se avisam os bombeiros que se situam mais perto do local.

Em contrapartida existem as zonas de pinhal da região centro do País, onde há mais baixa densidade populacional, menos corporações de bombeiros, grandes manchas de floresta e de

mato, terrenos mais acidentados, mais afastado do litoral o que torna os verões mais quentes e secos, gerando maiores áreas ardidas.

O combate ao fogo visa essencialmente proteger as pessoas e as casas e tem uma menor preocupação em reduzir a área queimada, logo os meios de supressão tendem a concentrar-se mais nas proximidades das povoações, das indústrias e das infraestruturas que se pretende proteger. É nestes locais que o investimento na prevenção tem de ser mais elevado, com uma maior limpeza das matas para reduzir o risco de incêndio. Quando a prevenção é bem feita o trabalho de supressão torna-se mais fácil e mais eficaz.

1.2 - Motivação

Um reacendimento ocorre quando uma área sobre a qual ocorreu um incêndio volta a arder, devido a calor latente, faíscas ou brasas que entram em contacto com combustível inflamável. Os reacendimentos constituem uma taxa elevada de ocorrências em Portugal, resultante de operações de rescaldo ineficazes, falta de vigilância ou áreas inacessíveis.

No verão de 2010 em Portugal houve 14.551 incêndios rurais primários, dos quais 17,2% reacenderam em 2.497 incêndios, fazendo um total de 17.048 ocorrências. Estes incêndios representavam 94,7% da área anual ardida (Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira 2012).

Nos 18 distritos em Portugal, os reacendimentos variam entre 0 e 85%, sendo que metade dos distritos estão acima de 9,3%.

A grande motivação deste trabalho prende-se na exploração dos dados numa perspetiva de perceber quais os distritos mais afetados e na interpretação dos fatores que possam ter maior influência nos reacendimentos e nos incêndios que estiveram na sua origem.

1.3 - Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo perceber se existem fatores que influenciam os reacendimentos. O número de eventos ativos contribui para um trabalho de rescaldo menos eficaz originando um maior número de reacendimentos? Perceber se o material do solo tem influência na quantidade de reacendimentos, ou se a meteorologia é um fator que permite haver mais ou menos reacendimentos.

1.4 - Estrutura da dissertação

O documento está divido em 5 capítulos. Introdução, revisão da literatura, métodos, resultados/discussão e conclusão. Na introdução é apresentado o contexto, motivação e os objetivos. Na revisão da literatura é apresentado a gestão de incêndios florestais e dos operacionais, as causas dos incêndios florestais, a dinâmica dos reacendimentos, uma

estatística referente aos incêndios florestais em Portugal entre 2010 e 2019 e uma interpretação do sistema FWI referente ao risco de incêndios. No capítulo 3 é apresentado o caso de estudo, os dados e software utilizados para a análise estatística dos incêndios e reacendimentos e para a regressão multilinear. No capítulo 4 são apresentados os resultados das diversas análises feitas durante a dissertação, bem como os passos realizados para o tratamento dos dados e o capítulo 5 apresenta as conclusões finais, com as limitações e sugestões de trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

2.1 - Gestão de incêndios florestais

Na gestão de incêndios é importante realizar: um trabalho de prevenção para reduzir o número de incêndios, possuir sistemas de deteção para encontrar incêndios em fases prematuras, possuir equipas prontas para o ataque inicial, utilizar medidas de modificação de combustível para mitigar os incêndios e por vezes deixar os incêndios queimarem livremente uma área menos importante para focar a defesa em locais importantes (proteger casas, fábricas e infraestruturas) (Martell 2001).

Segundo Martell (2001) para atingir os objetivos na supressão a incêndios é necessário um conhecimento dos processos do incêndio, do ecossistema e uma boa organização nos trabalhos de supressão, ter em atenção os aspetos sociais e os impactos económicos do fogo, tecnologia e recursos que tem à disposição, habilidades e experiência das pessoas envolvidas na supressão, e ter atenção os desafios colocados pela natureza.

O aumento da resiliência do território aos incêndios florestais, a redução da incidência dos incêndios, a melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios, a recuperação e reabilitação dos ecossistemas e a adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz são os cinco eixos estratégicos de atuação (Luciano Lourenço 2005).

Para reduzir as perdas dos incêndios florestais M Beighley and Quesinberry (2004) definiu estas quatro oportunidades estratégicas:

- Prevenir incêndios através da educação pública, patrulhas de áreas de alto risco e aplicação da lei;
- Criar paisagens resistente ao fogo através da aplicação estratégica de redução de combustível e tratamentos de silvicultura;
- Manter um forte programa de deteção de incêndios e primeira intervenção para extinguir incêndios antes de se tornarem destrutivos;
- Grande combate a incêndios.

Contudo, Mark Beighley and Hyde (2009) anos mais tarde, afirma que a capacidade de ataque inicial das brigadas de incêndio individuais, os primeiros esforços de intervenção dos Sapadores Florestais e os ativos de primeira resposta da empresa privada (ALFOCELCA) eram bastantes bons, no entanto o que faltava era uma estrutura de comando única e unificadora e um recurso

de comunicação comum que proporcionasse um ataque integrado e coordenado para garantir a máxima eficácia de todos os ativos do combate a incêndios.

Os mesmos Mark Beighley and Hyde (2009) detetam dois problemas em Portugal que merecem reflexão que são: o elevado número de ignições causadas por seres humanos e o aumento de áreas grandes e contínuas de vegetação inflamável. As soluções sugeridas para resolver estes problemas são:

- Compreender as razões de natureza mais cultural, social, psicológica e demográfica que levam à origem de incêndios;
- Dividir a floresta em mosaicos com diferentes faixas etárias, uma espécie de tabuleiro de xadrez com blocos menores de floresta mais antiga e inflamável cercada de blocos de floresta mais jovem e resistente ao fogo.

O abandono de terras cultivadas que antes proporcionavam um efeito usado na supressão a incêndios, a criação de grandes extensões de florestas de monocultura com a mesma idade e o estabelecimento de Áreas Naturais com vegetação não geridas aumenta potencialmente o risco de incêndio. A gestão de combustíveis e a afetação do solo com espécies melhor adaptadas às nossas condições biogeográficas contribuirão certamente para reduzir o número de incêndios que todos os anos devastam milhares de hectares de floresta (Guiomar et al. 2006).

A temática dos incêndios florestais está diretamente ligada a eventos com um elevado nível de incerteza. Thompson and Calkin (2011) abordam fontes de incerteza, como as mudanças climáticas, a imprevisibilidade do comportamento dos incêndios, a imprecisão ou falta de dados importantes e a falta de documentos científicos que abordem a resposta ecológica aos fogos.

O clima tem um efeito marcante nos incêndios. A duração dos períodos de seca aumenta a quantidade de combustível disponível para o fogo, potenciando maior frequência de situações meteorológicas conducentes a incêndios de grande severidade quando conjugada com dias quentes e ventosos. O fogo é também favorecido por humidades relativas baixas, que permitem que o combustível seque mais rapidamente, e por temperaturas do ar elevadas, que facultam um aquecimento mais expedito, o que faz com que a temperatura de ignição se alcance com menor gasto de energia e maior rapidez (P. Fernandes 2007).

Em Portugal encontrava-se em vigor desde 2006 o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI) que define uma estratégia com objetivo de gestão ativa da floresta, criando condições para a redução gradual dos incêndios florestais.

Este plano acentua a necessidade de uma ação concreta e persistente na política de sensibilização, no aperfeiçoamento dos instrumentos de gestão do risco, bem como no desenvolvimento de sistemas de gestão e de ligação às estruturas de prevenção, deteção e supressão, reforçando a capacidade operacional. O reforço do número de unidades da capacidade operacional dos sapadores florestais, o papel da GNR e a melhoria da capacidade

de intervenção dos Bombeiros visará garantir a redução gradual do tempo de resposta da 1ª intervenção.

Proteger Portugal de incêndios rurais graves é a visão integrada do Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (PNGIFR), publicado em Diário da República em 2020 e que implicará uma forte mobilização de todas as entidades públicas e privadas para que o país consiga reduzir para metade, nos próximos dez anos, a área anualmente ardida em incêndios rurais (C.T. Independente 2020).

O PNGIFR abrange o período 2020-2030 e é composto por dois documentos: a Estratégia 20-30 e a sua Cadeia de Processos e o Programa de Ação. O documento que foi publicado é o primeiro destes, a Estratégia 2030 e Cadeia de Processos, que identifica os dois eixos considerados fundamentais para a redução do impacto dos incêndios rurais: a Gestão de Fogos Rurais (GFR) e a Proteção Contra Incêndios Rurais (PCIR). Tem por base Programas de Ação Regionais, onde se estabelecem prioridades e os projetos a desenvolver. Com orçamentos definidos, pretende-se valorizar o território, cuidar dos espaços rurais, modificar comportamentos e gerir eficientemente o risco, sendo estas as quatros grandes orientações estratégicas do Plano.

2.2 - Gestão de operacionais

O orçamento para incêndios florestais em Portugal é limitado devendo ser feita uma melhor gestão e um maior equilíbrio orçamental entre a prevenção, supressão e restauro (Abílio Pereira Pacheco and Claro 2018). Como referido por Mark Beighley and Hyde (2009) fazia falta uma estrutura de comando única e unificadora com um recurso de comunicação comum. Essa estrutura existe atualmente muito embora por vezes não gerida da melhor maneira pois, as brigadas que fazem o ataque inicial, e eventual ataque estendido são as mesmas que também estão responsáveis pelo rescaldo. Em dias com mais ignições esse trabalho não é bem executado, pois são chamadas a combater novos fogos, abandonando o teatro de operações prematuramente (Abilio Pereira Pacheco 2011). Por vezes essas chamadas são falsos alarmes e como os departamentos não podem presumir isso devem responder da mesma maneira que responderiam a um incêndio sendo que são chamadas equipas para o ataque inicial que estão responsáveis por tarefas de rescaldo, ficando assim indisponíveis para incêndios reais, ou sem tempo para descansar e recuperar, ou são reimplantadas à pressa noutros incidentes, abandonando prematuramente os esforços de limpeza e criando condições para que os incêndios reacendam (Abílio P. Pacheco, Claro, and Oliveira 2013). Quanto maior for o tempo até o ataque inicial, maior será o tamanho do fogo, e a demora nesse ataque inicial pode originar que o incêndio expanda e escape tornando o fogo descontrolado (P.M. Fernandes et al. 2016). Além disso os recursos usados para o ataque inicial permanecerão lá por um longo período, fazendo que uma possível nova ocorrência tenha de esperar ainda mais por uma

resposta inicial. Isto faz com que o sistema tenha mais dificuldade em combater as incidências durante vários dias.

Um exemplo dado por Abílio P. Pacheco, Claro, and Oliveira (2013) permitiu verificar que um quarto das ocorrências no distrito do Porto, em 2010, durante o período crítico, foram reacendimentos e falsos alarmes. Estas chamadas fazem com que os recursos de supressão sejam usados desnecessariamente ou ineficientemente, levando a uma degradação adicional do desempenho do sistema. Um tempo de resposta maior é considerado intrinsecamente ligado a uma menor probabilidade de contenção de novos incêndios e uma maior área ardida (Félix and Lourenço 2017).

2.3 - Causas dos incêndios florestais

Numa sociedade em que os incêndios florestais constituem uma das principais manifestações de risco, o conhecimento das causas é necessário para a delineação correta de estratégias preventivas e mitigadoras, e para a formação de cidadãos mais conscientes (S. Fernandes, Meira Castro, and Lourenço 2017).

A imprensa avança com a ideia de "mãos criminosas" em grande parte dos incêndios florestais em Portugal, mas a falta de ordenamento de território, queimas de sobrantes e de resíduos florestais e agrícolas e reacendimentos são na verdade causas de má interpretação por parte dos media (Luciano Lourenço and Rainha 2006).

Em Portugal Continental temos assistido a uma aposta crescente na determinação das fontes de ignição responsáveis pelos incêndios florestais que, desde 2006, é da competência da Guarda Nacional Republicana (GNR), que tem por base o método das evidências físicas (S. Fernandes, Meira Castro, and Lourenço 2017).

O crescimento urbano foi surgindo ao longo de rede de caminhos, que penetram ou atravessam espaços florestais, onde a construção de parques industriais, de infraestruturas de lazer (parque de campismo) e de outros tipos de edificações, tais como oficinas e estaleiros, ocorre nas periferias e no interior de áreas florestais. Frequentemente, no meio das edificações existem terrenos com elevadas cargas de combustível vegetal e outros materiais inflamáveis que aumentam o perigo de incêndio. Raramente se observaram medidas ou ações para diminuir o risco a que as edificações estão expostas em caso de incêndio florestal. Estas medidas consistem na execução e na posterior manutenção de faixas de proteção exteriores aos aglomerados, ás casas isoladas e a outras edificações e infraestruturas, como na redução do combustível, através da limpeza dos terrenos que surgem no interior dos aglomerados, ou na implantação de redes de hidratantes (bocas de incêndio), que nem sempre se mantém operacionais e que por este motivo não poderão ser utilizadas quando seria necessário (Luciano Lourenço and Rainha 2006).

Os incêndios são um dos principais fatores de degradação da terra, causando várias modificações no solo, água e vegetação. Portanto, os incêndios florestais geram grandes impactos ambientais na paisagem por onde se desenvolvem e alastram (Bonazountas et al. 2007). Enquanto ocorre a queima, a cobertura vegetal e a camada orgânica são esgotadas, e o solo mineral é aquecido, resultando em mudanças nas características físicas, químicas, mineralógicas, e propriedades biológicas do solo. Estas mudanças nas características do solo com o passar do tempo tendem a evoluir para solos com maior probabilidade de arderem e criar um incêndio (Pereira 2018).

Uma das outras causas de incêndios florestais referidas na comunicação social como "mão criminosa" poderá ser atribuída às queimas de sobrantes e de resíduos resultantes da limpeza de áreas florestais e agrícola que, apesar de proibidas, foram efetuadas, em períodos noturnos com intuito de ocultar a coluna de fumo resultante da combustão lenhosa, mas sem intenção deliberada de incendiar a floresta (Luciano Lourenço and Rainha 2006). Além do desrespeito pela lei, este tipo de procedimento foi responsável por vários incêndios que tiveram a sua origem na projeção de partículas incandescentes resultantes da queima de resíduos agrícolas, efetuadas em áreas adjacentes ou interiores às florestas.

2.4 - A dinâmica dos reacendimentos

Os reacendimentos são uma realidade comprometedora e existem em maior número do que se imagina por parte da sociedade, pois os órgãos de comunicação social atribuem "mão criminosa" a alguns incêndios por desconhecimento da verdadeira causa, reacendimento. Apesar do domínio inicial dos incêndios ser geralmente efetuado com eficácia, os procedimentos ao nível do rescaldo e da vigilância pós-rescaldo foram, muitas vezes, ineficazes. É essencial que as equipas promovam a queima de faixas verdes e/ou combustíveis mortos ou contíguos aos caminhos e trilhos florestais de modo a reduzir a probabilidade do seu reacendimento (Luciano Lourenço and Rainha 2006).

Havendo água disponível, evita-se a construção de linhas de corta-fogo, o que é um péssimo hábito especialmente na floresta (Mark Beighley and Hyde 2009), onde a ação do próprio incêndio cria uma camada de impermeabilização que permite a continuada combustão das raízes no subsolo, fonte de reacendimentos posteriores (Abilio Pereira Pacheco 2011).

Quando se trata de decidir quantos e que género de meios se deve enviar é um problema porque a informação recebida é escassa (Ignall et al. 1975). Pode tratar-se de um falso alarme ou de um incêndio, mas o operador de gestão reage da mesma forma fazendo movimentar os meios disponíveis. A escassez de meios contribui para que por vezes sejam chamadas equipas que estavam no trabalho de rescaldo, levando a que esta não seja feita de forma adequada, aumentando o número de reacendimentos. É de esperar que em dias com mais ocorrências haja mais reacendimentos.

2.5 - Incêndios em Portugal entre 2010 e 2019

O Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) disponibiliza os dados de todas as ocorrências referentes a incêndios em Portugal. Na figura que se segue podemos verificar que nos últimos 10 anos a percentagem de reacendimentos de fogos rurais (incêndios florestais e incêndios agrícolas) é de 9% e estes reacendimentos ocorrem mais a Norte e perto da costa (Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira 2012). Esta percentagem é alta, muito acima da meta de 1% definida na Proposta Técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (C.-C.T. Independente 2018).

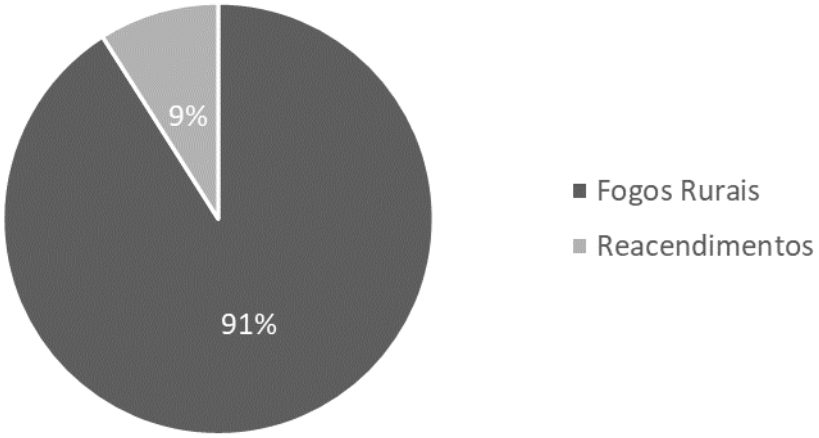


Figura 1: Percentagem de fogos rurais e de reacendimentos nos últimos 10 anos

2.6 - Interpretação sistema FWI

O índice de risco de incêndio (FWI) é um indicador relativo da intensidade do fogo, determinado pelas condições meteorológicas e pelo estado de secura da vegetação (P. Fernandes and Palheiro 2007).

Este sistema é constituído por seis variáveis: índice de humidade do combustível fino (FFMC), índice de humidade da manta morta (DMC), índice de seca (DC), índice de propagação inicial do fogo (ISI), índice de combustível disponível (BUI), e pelo índice de risco de incêndio (FWI).

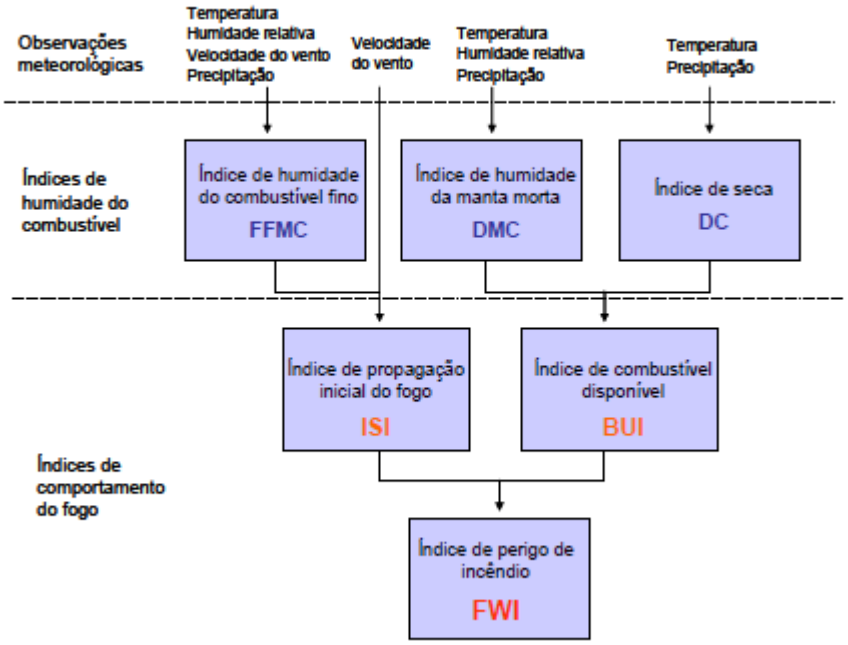


Figura 2: Sistema FWI e suas variáveis

A classificação de perigo de incêndio baseada no sistema FWI reflete o grau de dificuldade das operações de combate direto caso o fogo ocorra. Existem cinco classes de perigo, descritas na tabela que se segue.

Tabela 1: Classes de perigo de incêndio florestal e sua interpretação

Classe	Intervalo de FWI	Intensidade (kW/m) Comprimento da chama (m)	Descrição e dificuldade de controlo por ataque direto
I. Reduzido	0 - 9,4	0 - 499 0 - 1,3	Fogo de superfície, controlável com material de sapador em toda a extensão do seu perímetro.
II. Moderado	9,5 - 18,2	500 - 1999 1,4 - 2,5	Fogo vigoroso de superfície. Os meios terrestres são efetivos em toda a extensão do perímetro do incêndio.
III. Elevado	18,3 - 25,2	2000 - 3999 2,6 - 3,5	Fogo de superfície de elevada intensidade, com períodos de fogo de copas. O sucesso do ataque à cabeça do fogo exigirá provavelmente meios aéreos.

Classe	Intervalo de FWI	Intensidade (kW/m) Comprimento da chama (m)	Descrição e dificuldade de controlo por ataque direto
IV. Muito Elevado	25,3 – 38,9	4000 – 9999 ≥3,6	Fogo passivo de copas. O ataque à cabeça do fogo é possível apenas com meios aéreos pesados, mas o seu Sucesso não é garantido. Considerações de segurança e efetividade aconselham que os esforços de controlo com meios terrestres incidam apenas nos flancos e retaguarda do fogo.
V. Extremo	≥ 39	≥ 10 000	São expectáveis fogos de copas ativos. A velocidade de propagação, o potencial de focos secundários, e a probabilidade do fogo transpor obstáculos são extremos. O ataque à cabeça do fogo não é possível. A ação dos meios terrestres deve-se limitar à retaguarda e flancos do fogo. O ataque indireto usando o fogo pode ser efetivo.

O índice de seca (DC) traduz o conteúdo de humidade do húmus e materiais lenhosos de tamanho médio que se encontram abaixo da superfície de solo até cerca de 8 centímetros. A correspondência entre o DC e necessidade e dificuldade de rescaldo é descrita na tabela seguinte.

Tabela 2: Correspondência entre o DC e necessidade e dificuldade de rescaldo

DC	Descrição ou implicações
< 300	O potencial de fogo sub-superficial ou subterrâneo é mínimo. A necessidade de rescaldo limita-se a pontos quentes ocasionais nos limites do incêndio.
300 – 500	A dificuldade e necessidade de rescaldo generalizado nos limites do incêndio aumentam progressivamente.

DC	Descrição ou implicações
>500	A combustão sem chama é persistente. O rescaldo e a extinção são cada vez mais trabalhosos e difíceis. É fundamental rescaldar e vigiar todas as orlas do incêndio.

Os trabalhos de rescaldo são um fator que influencia os reacendimentos, como visto anteriormente, quando este trabalho não é bem realizado ou fica incompleto a possibilidade de ocorrer um reacendimento é mais elevada. Nos últimos 10 anos em Portugal a taxa de reacendimentos é 9% como visto anteriormente, valor este que é superior à meta de 1% estabelecida no Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios.

Capítulo 3

Dados e Métodos

3.1 - Caso de estudo

Portugal é um pequeno país localizado no sudoeste do continente europeu, e é composto pelo seu território continental e as duas regiões autónomas da Madeira e dos Açores. Apenas faz fronteira terreste com a Espanha a norte e a este e é banhado pelo Oceano Atlântico a oeste e pelo Mar Mediterrâneo a sul. O seu território continental é de aproximadamente 89 000 km^2, dividido administrativamente em 18 distritos e a sua população é de cerca de 10 milhões de habitantes. A floresta ocupa cerca de 35% do território nacional continental e as espécies florestais mais abundantes são o Eucalipto, Pinheiro-bravo e o Sobreiro.

A percentagem de reacendimentos em Portugal é elevada e estes ocorrem mais na zona norte do país, onde a paisagem é mais montanhosa e com altitudes médias mais elevadas.

Através dos dados disponíveis referentes a incêndios no território continental pretende-se verificar quais são as variáveis que possam ter influência na ocorrência de reacendimentos.

3.2 - Dados e Software utilizado

Os dados utilizados nesta dissertação foram cedidos pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) completados pelo professor Abílio Pacheco e pelo Engenheiro Nuno Guiomar e dizem respeito a todas as incidências referentes a fogos rurais (incêndios florestais e incêndios agrícolas), tendo sido excluídos as ocorrências referentes a falsos alarmes, queimas, queimadas e fogachos para as diversas análises, ocorridos em Portugal continental entre 2001 e 2019. Nestes dados estão contidas informações sobre os códigos de identificação dos incêndios (código SGIF e código ANPC), o ano em que ocorreram e o tipo de incêndio, o local onde ocorreram os incêndios (distrito, concelho, freguesia, código de localização (INE)), a data e hora de alerta e extinção dos mesmos. Também contêm informação sobre a área ardida, variáveis de simultaneidade (num raio de 5km, dentro do Distrito e dentro do Concelho), variáveis da meteorologia do fogo (FWI, FFMC, DMC, DC, ISI, BUI, DSR, THC), variáveis meteorológicas (temperatura, humidade relativa, precipitação e intensidade do vento), variáveis sobre o uso de solo e a distância ao impermeabilizado (Dist01 e Dist02).

Neste trabalho foram apenas considerados incêndios rurais (incêndios florestais e incêndios agrícolas), tendo sido excluídos as ocorrências referentes a falsos alarmes, fogachos, queimas e queimadas.

Os dados utilizados nas análises de regressões multilineares foram selecionados após uma análise temporal e espacial dos dados disponíveis (descrita no capítulo 4.2) onde foi possível reduzir os dados aos distritos mais a Norte e num período crítico compreendido entre 16 de junho e 15 de outubro. Os dados são formatados em tabelas e/ou gráficos que permitem uma observação mais direta facilitando o entendimento dos mesmos.

A ferramenta utilizada na análise dos dados foi o Microsoft Office Excel 365. Mais especificamente para análise foram utilizadas "*pivot tables*" e gráficos e no tratamento de dados foram utilizadas funções especificas de localização como o "procx" e "procv".

Para a análise das regressões multilineares foi utilizado o software IBM SPSS Statistics 26.

Capítulo 4

Resultados e discussão

4.1 - Tratamento dos dados referentes aos reacendimentos

A lista dos dados referentes aos reacendimentos contém 26 615 observações dispostas em três parâmetros importantes (colunas). Em relação ao reacendimento temos o código SGIF e o código ANPC, o outro parâmetro é referente ao incêndio que originou o reacendimento, e que por vezes está incompleto ou incorreto.

De forma a obter o máximo de correspondências entre a origem dos reacendimentos e os reacendimentos foram feitos vários procedimentos. Os procedimentos efetuados e a sua descrição estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3: Procedimentos efetuados no tratamento de dados e sua descrição

Procedimentos	Nome	Descrição
1	Direto	Pesquisa direta na base de dados dos incêndios rurais que originaram os reacendimentos e dos reacendimentos
2	Grupo A	Grupo no qual os valores da coluna reacendimento (código referente ao incêndio que originou o reacendimento) tem o valor do código SGIF que por vezes está incompleto (ex. AG101103)
2.1	Espaços e Maiúsculas	Retirar espaços e colocar letras maiúsculas
2.2	Reacendimento “101”	Introduzir 101 no lugar do primeiro 1 para completar o código
2.3	Reacendimento “901”	Introduzir 901 no lugar do primeiro 9 para completar o código
2.4	Reacendimento “201”	Introduzir 201 no lugar do primeiro 2
2.5	Reacendimento ”401”	Introduzir 401 no lugar do primeiro 4
2.6	correção erros	Correção manual de erros detetados nas fases anteriores
3	Grupo B	Grupo no qual os valores na coluna reacendimento (código referente ao incêndio que originou o reacendimento) tem números idênticos ao código ANPC, ou expressões, ou valor SIM, ou valor NULL

Procedimentos	Nome	Descrição
3.1	Grupo B	pesquisa INE, data alerta, hora do filho e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção anterior ao filho
3.2	Grupo B1	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção no dia anterior
3.3	Grupo B2	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 2 dias anteriores
3.4	Grupo B3	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 3 dias anteriores
3.5	Grupo B4	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 4 dias anteriores
3.6	Grupo B5	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 5 dias anteriores
3.7	Grupo B6	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 6 dias anteriores
3.8	Grupo B7	pesquisa INE, data alerta e compara com outros incêndios no mesmo INE, com data de extinção nos 7 dias anteriores
3.9	Grupo B8	quando no grupo reacendimentos existe mais de 1 possibilidade para o incêndio que o originou, assumir o que terminou à menos tempo

O procedimento 1 consiste numa pesquisa direta á base de dados, através das funções do Excel (*procx*) de todos os códigos SGIF dos reacendimentos e dos incêndios rurais que o originaram. Esta pesquisa permitiu identificar todos os códigos dos reacendimentos, mas não foi possível encontrar todos os códigos dos incêndios que originavam os reacendimentos.

Os casos que não eram identificados foram separados em dois grupos para tentar identificar os códigos SGIF dos incêndios que originaram o reacendimento.

Grupo A, no qual os valores da coluna reacendimento (código referente ao incêndio que originou o reacendimento) tem o valor do código SGIF que por vezes está incompleto (exemplo de um código SGIF: AG101103) e Grupo B, no qual os valores do parâmetro da origem do reacendimento contém números, expressões, valor SIM ou valor NULL.

Os procedimentos do 2.1 até ao 2.6 são referentes ao grupo A e os procedimentos do 3.1 até ao 3.9 são referentes ao grupo B e foram estratégias utilizadas na tentativa de obter resultados para o código SGIF dos incêndios rurais que originaram o reacendimento.

Antes de explicar mais detalhadamente o que foi feito em cada grupo são apresentados os resultados obtidos através de cada procedimento na tabela 4. Esta tabela mostra o número de casos iniciais em cada procedimento e quantos foram identificados e ficaram por identificar.

Tabela 4: Número de correspondências entre os reacendimentos e os incêndios rurais que o originaram obtidas através dos diferentes procedimentos

Procedimentos	iniciais	Identificados	Por identificar	Erros
1	**26 615**	**22 544**	**4 071**	
2	**888**	**786**	**102**	
2.1	888	13	875	
2.2	875	494	381	9
2.3	381	157	224	4
2.4	224	106	118	
2.5	118	11	107	
2.6	13	5	8	
3	**3 183**	**2 812**	**371**	
3.1	3 183	860	2 323	
3.2	2 077	711	1 366	
3.3	1 073	219	854	
3.4	771	133	638	
3.5	607	87	520	
3-6	509	62	447	
3.7	437	27	410	
3.8	399	26	373	
3.9	687	687	0	
Total	**26 615**	**26 142**	**473**	

O primeiro passou permitiu identificar **22 544** incêndios rurais que originaram reacendimentos ficando **4 071** por identificar divididos em dois grupos.

O grupo A permitiu identificar **786** incêndios rurais que originaram reacendimentos dos **888** casos iniciais presentes neste grupo e o grupo B permitiu identificar **2 812** incêndios rurais que originaram reacendimentos dos **3 183** casos presentes neste grupo.

No total e depois de ser aplicados todos os procedimentos foi possível identificar **26 142 d**as **26 615** observações iniciais, ficando **473** reacendimentos sem saberem qual é o incêndio que o originou.

No entanto, entre 2001 e 2019, os dados do ICNF identificam **26 909** reacendimentos. A base de dados facultada referente aos reacendimentos e os incêndios que o originaram não está completa, ficando assim, **767** reacendimentos no total sem ser conhecido o incêndio que o originou.

4.1.1- *Grupo A*

O primeiro passo efetuado neste grupo foi eliminar espaços e hífens extras presentes no parâmetro referente á origem dos reacendimentos e colocar todas as letras maiúsculas (procedimento 2.1).

O passo seguinte foi encontrar um padrão que permitisse completar o código SGIF do parâmetro dos incêndios que originaram o reacendimento, comparando com os códigos SGIF dos reacendimentos.

Foi possível verificar que por vezes os códigos dos incêndios que originaram reacendimentos estavam incompletos faltando "01" depois do código da região (composto por 2 letras e 1 número. Exemplo de código da região AG1, DM4).

Um exemplo de um código que estava incompleto e que permitiu observar este padrão foi o código SGIF do reacendimento (AG101170), tinha como correspondência o código SGIF do incêndio que o originou (AG1169), verificando-se que está incompleto e deveria ser (AG101169).

Depois de feita esta observação os procedimentos 2.2; 2.3; 2.4 e 2.5 foram estratégias usadas para completar os códigos SGIF dos incêndios que originaram os reacendimentos.

Foram detetados 13 erros nos procedimentos efetuados, sendo que foi possível corrigir 5 desses erros (procedimento 2.6) ficando os reacendimentos não identificados com origem incógnita.

No total este grupo permitiu identificar **786** observações das **888** observações iniciais ficando as restantes com o valor incógnito para o incêndio que originou o reacendimento.

4.1.2- *Grupo B*

O primeiro passo na tentativa de descobrir os incêndios que originaram os reacendimentos das **3 183** observações presentes neste grupo, foi retirar o ano, o código da localidade, designado por INE e a data de alerta em que ocorreu o reacendimento.

Com esta informação, sabemos que o incêndio que originou o reacendimento terá de ocorrer na mesma região, no mesmo ano e com uma data e hora de extinção anterior á data de alerta do reacendimento.

O procedimento 3.1 consiste na pesquisa de todos os incêndios ocorridos naquele local com a data de extinção no mesmo dia da data de alerta do reacendimento. Em todas as possibilidades obtidas é necessário fazer uma verificação da hora, sendo que a hora de extinção desses incêndios tem de ser anterior á hora de alerta do reacendimento.

Os procedimentos do 3.2 até ao 3.8 consiste na pesquisa de todos os incêndios ocorridos no mesmo local, mas com a data de extinção no dia anterior (3.2) até sete dias anteriores (3.8).

As ocorrências iniciais do procedimento 3.2 são as que não devolveram nenhuma possibilidade de origem do reacendimento do procedimento 3.1, ou seja, o valor da coluna dos casos com origem incógnita (OI) do procedimento anterior que estão presentes na tabela 5.

Todas as pesquisas que devolveram mais de um possível incêndio como origem do reacendimento integram o procedimento 3.9 em que é considerado como o incêndio que originou o reacendimento o que terminou mais tarde, ou seja, aquele em que a hora de extinção é a mais tarde.

A tabela 5 mostra o número dos casos não identificados e todas as possibilidades para origem dos reacendimentos dos procedimentos do grupo B.

Tabela 5: Número de casos com origem incógnita (OI) e as possibilidades para a origem dos reacendimentos (poRCD) resultantes dos procedimentos do grupo B

Procedimento	OI	2p oRCD	3p oRCD	4p oRCD	5p oRCD	6p oRCD	7p oRCD	8p oRCD
3.1	2 077	190	35	17	4	0	0	0
3.2	1 073	215	57	13	5	2	0	1
3.3	771	63	17	1	2	0	0	0
3.4	607	25	6	0	0	0	0	0
3.5	509	9	2	0	0	0	0	0
3.6	437	9	1	0	0	0	0	0
3.7	399	11	0	0	0	0	0	0
3.8	371	1	1	0	0	0	0	0

As observações com origem incógnita (OI) dos procedimentos são os valores iniciais do procedimento seguinte e as restantes observações é considerado o incêndio extinto mais tarde como o incêndio que originou o reacendimento.

Podemos verificar que a maioria dos resultados tinha como possibilidade 2 possíveis incêndios que originavam o reacendimento, embora existissem casos em que existiam mais possibilidades.

Por exemplo, no procedimento 3.4 não foi possível identificar nenhum incêndio como origem para 607 reacendimentos, 25 reacendimentos tinham 2 possíveis incêndios como origem e 6 reacendimentos tinham 3 possíveis incêndios como origem. Nestes 31 casos que tinham mais de uma possibilidade foi assumido o incêndio extinto mais tarde como o incêndio que originou o reacendimento.

4.2 - Análise estatística

4.2.1. *Dados anuais*

Para esta análise foram apenas considerados os incêndios rurais (incêndios florestais e agrícolas), tendo sido excluídos as ocorrências referentes a falsos alarmes, queimas, queimadas e fogachos.

Tabela 6: Área ardida, número de fogos rurais (FR), número de reacendimentos (RCD) e número de incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) ao longo dos anos

Ano	Área Ardida (ha)	FR	RCD	oRCD	RCD (%)	oRCD (%)
2001	117 485	27 756	1 159	553	4,2%	2,0%
2002	130 849	27 368	1 625	883	5,9%	3,2%
2003	471 750	26 989	1 098	696	4,1%	2,6%
2004	151 370	26 774	1 055	675	3,9%	2,5%
2005	346 718	39 692	1 997	922	5,0%	2,3%
2006	83 706	23 939	304	230	1,3%	1,0%
2007	36 412	24 567	565	468	2,3%	1,9%
2008	19 897	18 639	319	276	1,7%	1,5%
2009	92 126	28 511	1 272	1 075	4,5%	3,8%
2010	140 953	23 391	2 722	1 268	11,6%	5,4%
2011	77 104	26 046	3 736	1 642	14,3%	6,3%
2012	117 985	23 060	2 292	1 013	9,9%	4,4%
2013	160 388	20 713	2 416	1 090	11,7%	5,3%
2014	22 820	9 069	319	236	3,5%	2,6%
2015	67 200	18 108	1 535	889	8,5%	4,9%
2016	167 807	14 720	1 384	751	9,4%	5,1%
2017	539 921	19 248	1 758	1 045	9,1%	5,4%
2018	44 509	11 530	723	435	6,3%	3,8%
2019	41 937	10 305	590	384	5,7%	3,7%
Total	**2 830 936**	**420 425**	**26 869**	**14 531**	**6,4%**	**3,5%**

Em termos do número de incêndios em Portugal o ano com mais ocorrências registou-se em 2005, como assinalado por Luciano Lourenço (2007) e os anos em que se registam menos incêndios rurais são os anos de 2014, 2018 e 2019. Os anos de 2018 e 2019 podem estar justificados pelo facto de ter ocorrido um grande incêndio em 2017, o que fez alertar o governo a tomar medidas no sentido de limpeza e proteção das matas e consciencializar a sociedade para os perigos de grandes incêndios.

O número de reacendimentos foi maior nos anos de 2010 e 2011 fato esse que pode estar relacionado com os trabalhos de rescaldo menos bem sucedidos, como descrito por Abílio P. Pacheco, Claro, and Oliveira (2013).

No que diz respeito á área total ardida os anos com maior registo foram em 2003, 2005 e 2017. O ano de 2003 e 2005 foram anos atípicos em que o estado de abandono das matas e florestas, a falta de formação dos intervenientes, a falta de coordenação e a seleção incorreta de equipamentos são algumas das causas assinaladas por Luciano Lourenço (2007). O ano de 2017 é o ano da catástrofe de Pedrogão Grande, onde ardeu uma área superior a 30 mil hectares a juntar á algumas dezenas de perdas de vidas humanas (C.-C.T. Independente 2018). A título de curiosidade e comparação, o ano de 2008 teve um total de área ardida inferior a 20 mil hectares que é inferior ao incêndio de Pedrogão Grande.

As figuras 3 e 4 são representações gráficas dos dados acima relatados.

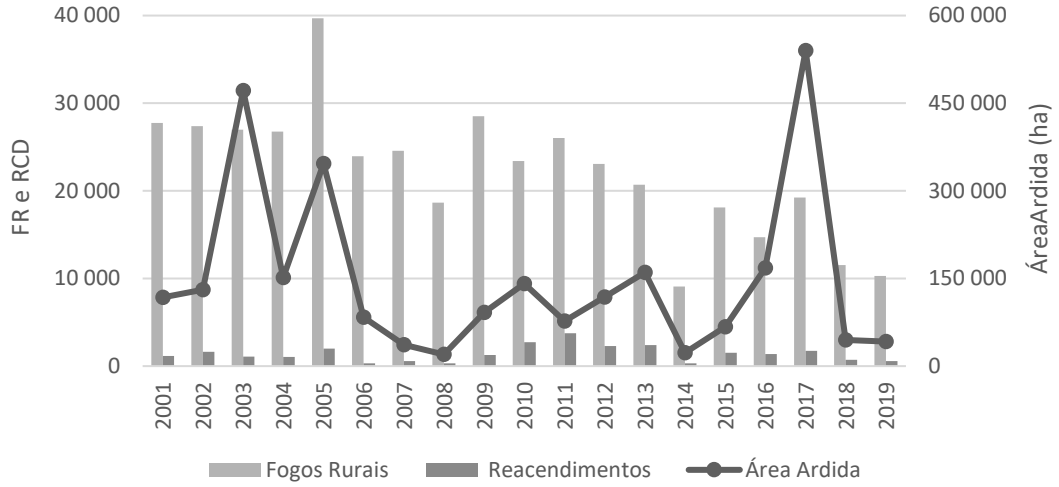


Figura 3: Número de fogos rurais (FR) e de reacendimentos (RCD) no eixo da esquerda e total da área ardida no eixo da direita ao longo dos anos

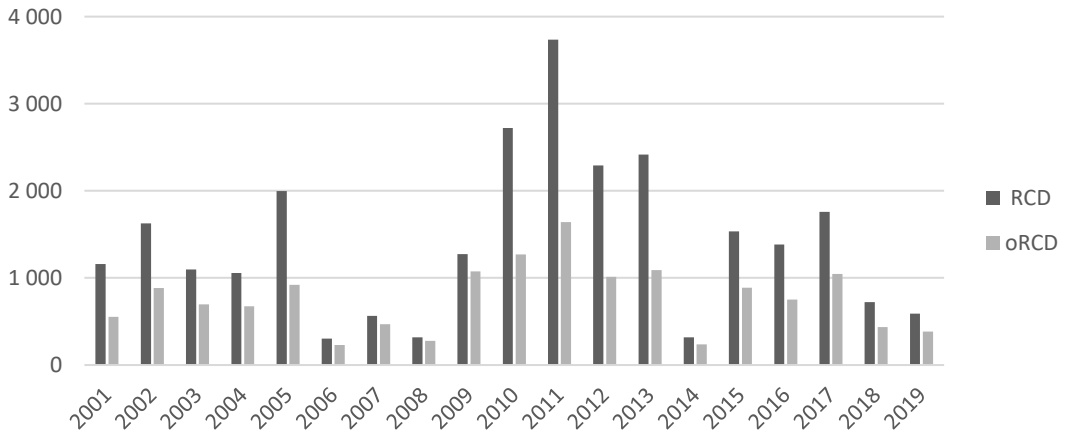


Figura 4: Número de reacendimentos (RCD) e número de incêndios que originaram reacendimentos ao longo dos anos (oRCD)

Podemos identificar na figura 4, três momentos distintos, o período entre 2009 e 2013, onde número de ocorrências de reacendimentos foi mais elevado em relação ao período anterior, de 2001 a 2008, e ao período posterior, entre 2014 e 2019.

4.2.2. *Dados em relação ao mês, dia da semana e horas das ocorrências*

Uma outra abordagem referente aos dados dos incêndios rurais em Portugal é perceber quais são os meses, dias da semana e horas em que o número de ocorrências de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram os reacendimentos é mais elevado.

Tabela 7: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) ao longo dos meses

Meses	Fogos Rurais	Reacendimentos	oRCD	Reacendimentos (%)	oRCD (%)
Janeiro	4 422	62	84	1,4%	1,9%
Fevereiro	15 445	332	263	2,1%	1,7%
Março	24 770	1 220	746	4,9%	3,0%
Abril	18 280	1 054	550	5,8%	3,0%
Maio	21 962	943	642	4,3%	2,9%
Junho	42 117	2 261	1 272	5,4%	3,0%
Julho	74 986	5 298	2 930	7,1%	3,9%
Agosto	98 403	8 578	4 339	8,7%	4,4%
Setembro	68 931	4 613	2 423	6,7%	3,5%
Outubro	34 088	2 124	1 009	6,2%	3,0%
Novembro	11 619	312	227	2,7%	2,0%
Dezembro	5 402	72	46	1,3%	0,9%
Total	**420 425**	**26 869**	**14 531**	**6,4%**	**3,5%**

Observando a tabela podemos verificar que os meses de julho, agosto e setembro têm o número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos maiores, sendo que junho e outubro apresentam valores um pouco inferiores, mas superiores aos restantes meses. Estes meses por terem um maior número de ocorrências sugere maior pressão das equipas no combate aos fogos, levando a trabalhos de rescaldo por vezes menos eficientes, resultando também num número mais elevado de reacendimentos (Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira 2012). Os meses de janeiro e dezembro são os meses onde ocorrem menos incêndios, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos.

Cerca de 70% dos incêndios em Portugal ocorre entre junho e outubro podendo ser definido um período crítico compreendido entre 16 de junho e 15 de outubro, como sendo o período onde ocorrem a maioria dos incêndios rurais em Portugal.

Tabela 8: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) relativos aos dias da semana

Dias da semana	Fogos Rurais	Reacendimentos	oRCD	Reacendimentos (%)	oRCD (%)
Domingo	66 746	4 201	2 422	6,3%	3,7%
Segunda-feira	57 044	3 895	1 998	6,8%	3,5%

Dias da semana	Fogos Rurais	Reacendimentos	oRCD	Reacendimentos (%)	oRCD (%)
Terça-feira	57 192	3 881	2 071	6,8%	3,6%
Quarta-feira	56 667	3 701	1 911	6,5%	3,4%
Quinta-feira	58 385	3 732	1 959	6,4%	3,4%
Sexta-feira	59 421	3 660	1 897	6,2%	3,2%
Sábado	64 970	3 799	2 253	5,8%	3,5%
Total	**420 425**	**26 869**	**14 531**	**6,4%**	**3,5%**

Embora os valores sejam todos próximos podemos verificar que os dias da semana em que ocorrem mais fogos rurais e incêndios que originaram reacendimentos são o sábado e domingo, ou seja durante o fim-de-semana. Quanto aos reacendimentos estes ocorrem em maior número aos domingos, segundas-feiras e terças-feiras, o que mostra que os reacendimentos ocorrem nos dias seguintes mais próximos aos incêndios.

Tabela 9: Número de fogos rurais, reacendimentos e incêndios que originaram reacendimentos (oRCD) em relação às horas em que ocorreram

Horas	Fogos Rurais	Reacendimentos	oRCD	Reacendimentos (%)	oRCD(%)
00	14 051	591	593	4,2%	4,2%
01	10 534	552	477	5,2%	4,5%
02	7 803	500	388	6,4%	5,0%
03	5 915	478	286	8,1%	4,8%
04	4 673	387	272	8,3%	5,8%
05	4 209	485	249	11,5%	5,9%
06	4 668	526	244	11,3%	5,2%
07	4 457	641	230	14,4%	5,2%
08	5 542	776	273	14,0%	4,9%
09	7 372	904	362	12,3%	4,9%
10	11 718	1 073	424	9,2%	3,6%
11	16 937	1 446	584	8,5%	3,4%
12	21 228	1 669	752	7,9%	3,5%
13	28 607	2 317	1 050	8,1%	3,7%
14	38 004	2 716	1 395	7,1%	3,7%
15	39 794	2 331	1 364	5,9%	3,4%
16	36 812	2 091	1 128	5,7%	3,1%
17	31 858	1 615	825	5,1%	2,6%
18	27 491	1 321	737	4,8%	2,7%
19	22 431	1 038	541	4,6%	2,4%
20	20 769	935	560	4,5%	2,7%
21	21 331	979	644	4,6%	3,0%
22	18 710	800	621	4,3%	3,3%
23	15 511	698	532	4,5%	3,4%
Total	**420 425**	**26 869**	**14 531**	**6,4%**	**3,5%**

Em relação aos fogos rurais podemos verificar que ocorrem em maior número entre as 12 horas e as 22horas, período correspondente ao dia e onde as temperaturas normalmente são mais elevadas em Portugal. Os reacendimentos ocorrem num período um pouco mais curto entre as 11horas e as 18 horas, mas igualmente durante o dia. Os incêndios que originaram reacendimentos têm maior foco entre as 12 e as 18 horas.

O período do dia em que existem menos ocorrências, quer de fogos rurais, quer de reacendimentos e dos incêndios que originaram reacendimentos situa-se entre as 2 horas e as 9 horas, período este onde o sol está ausente, o que faz com que o calor seja menos intenso e as temperaturas ligeiramente mais baixas.

4.2.3. *Dados em relação aos distritos*

Outra análise importante a fazer é ao nível dos distritos de forma a perceber quais os distritos onde ocorrem mais incidências e onde as áreas ardidas são mais elevadas.

Tabela 10: Total de área ardida (ha), fogos rurais e reacendimentos nos distritos

Distrito	Área Ardida (ha)	Fogos Rurais	Reacendimentos	Reacendimentos (%)
Porto	129 101	90 068	4 397	4,9%
Braga	147 033	48 949	3 100	6,3%
Lisboa	32 531	37 612	260	0,7%
Aveiro	114 396	33 485	3 946	11,8%
Viseu	243 440	32 036	4 006	12,5%
Vila Real	220 906	26 423	2 568	9,7%
Viana do Castelo	168 523	23 353	4 262	18,3%
Santarém	161 113	18 759	573	3,1%
Setúbal	28 216	17 174	88	0,5%
Guarda	347 785	15 663	711	4,5%
Leiria	138 653	14 902	996	6,7%
Bragança	181 074	14 174	711	5,0%
Coimbra	229 215	12 809	812	6,3%
Castelo Branco	296 885	11 098	229	2,1%
Faro	172 912	7 910	62	0,8%
Beja	64 920	5 741	41	0,7%
Portalegre	110 947	5 198	39	0,8%
Évora	43 287	5 071	68	1,3%
Total	**2 830 936**	**420 425**	**26 869**	**6,4%**

Em relação ao número de fogos rurais os distritos do Porto, Braga e Lisboa são os que têm maior número, isto por serem distritos com maior número de habitantes em Portugal e onde existe maiores aglomerados populacionais. Podemos afirmar que existem mais incêndios onde existem mais pessoas.

Apesar de ter um número elevado de fogos rurais o distrito de Lisboa tem poucos reacendimentos, pois é o distrito onde existem mais corporações de bombeiros, fazendo com que exista maior resposta às ocorrências - 57 no ano de 2014 (Ginja 2014), ao contrário do Porto e Braga que continuam a ter bastantes reacendimentos. Podemos verificar que a tendência dos reacendimentos situa-se mais na zona Norte e perto da costa como referido por Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira (2012), sendo os distritos do Porto, Braga, Aveiro, Viseu, Vila Real e Viana do Castelo os distritos que têm mais reacendimentos.

A probabilidade de ocorrer um reacendimento em Portugal é de 6,4%, sendo Viana do Castelo o distrito onde a taxa de reacendimentos é mais elevada. Este distrito é conhecido por possuir uma área montanhosa muito grande, o que dificulta os trabalhos dos bombeiros, e além disso é um distrito com menos capacidade de mobilizar esforços voluntários de combate aos incêndios, o que deixa as atividades de rescaldo com falta de pessoal (Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira 2012). No lado oposto da tabela temos Setúbal como sendo o distrito onde a percentagem de reacendimentos é a mais baixa. Podemos verificar que os distritos de Faro, Beja, Évora, Setúbal, Lisboa, Portalegre, Santarém e Castelo Branco também apresentam números mais baixos de reacendimentos.

Em termos de área ardida os distritos mais afetados são os distritos mais na zona interior do país. Isto pode ser justificado pelo facto de a população ser muitas vezes o fator de alerta das autoridades quanto à ocorrência de incêndios, e nestas zonas existe menos população, o que faz com que os incêndios nem sempre sejam detetados em fases prematuras crescendo mais rapidamente e levando a áreas ardidas maiores.

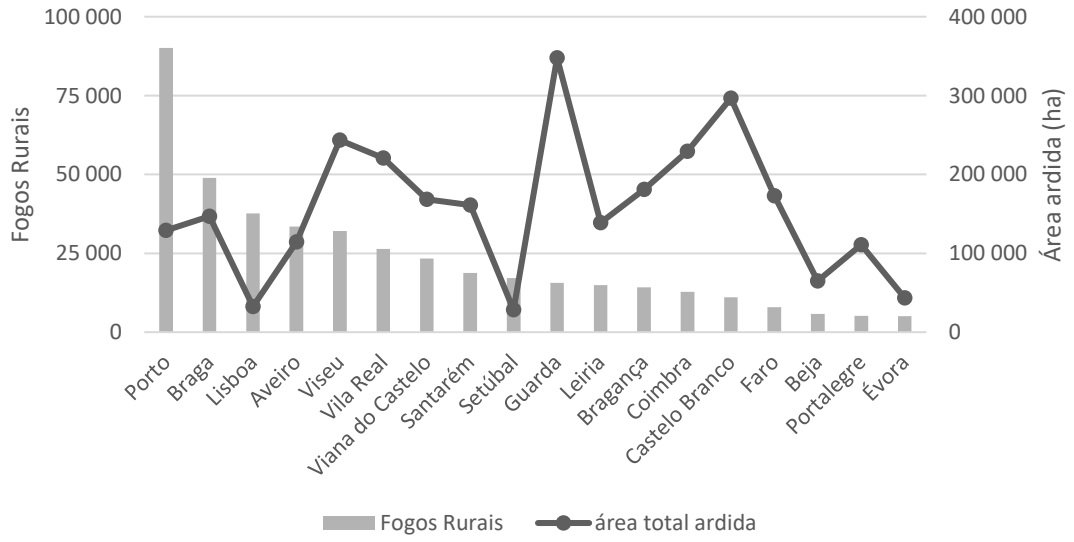


Figura 5: Número de Fogos Rurais no eixo da direita e total área ardida (ha) no eixo da esquerda nos distritos de Portugal

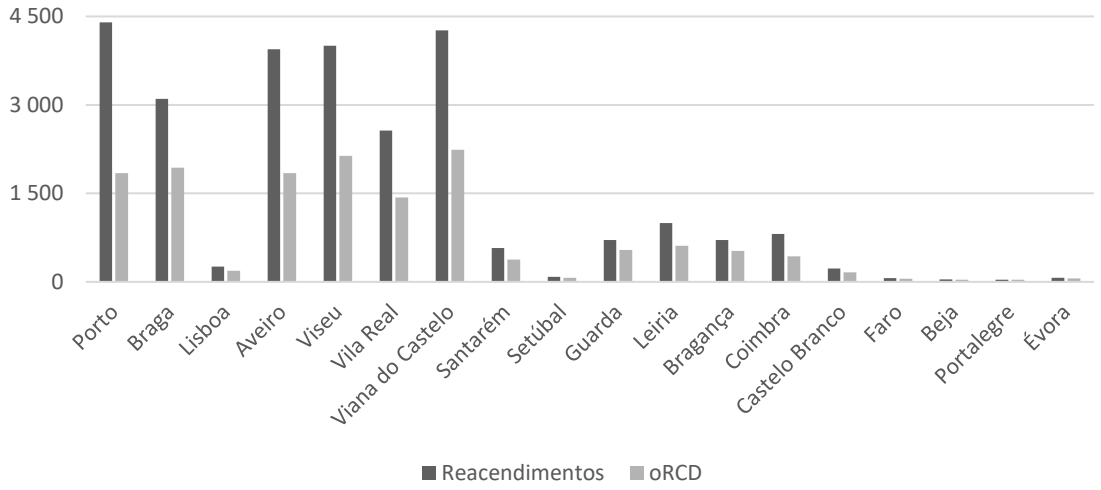


Figura 6: Número de reacendimentos e de incêndios que originaram reacendimentos nos distritos de Portugal

As figuras 5 e 6 são representações gráficas dos dados acima analisados onde fica evidente que o Porto é o distrito com mais fogos rurais, Guarda o que tem maior área ardida e os distritos do Norte têm mais reacendimentos.

4.2.4. *Análise cruzada*

É importante fazer uma análise para perceber qual o número de reacendimentos que normalmente um fogo rural origina. As tabelas abaixo mostram os incêndios que originaram 20 ou mais reacendimentos (tabela 11) e a quantidade de incêndios (oRCD) que originaram um determinado número de reacendimentos (tabela 12 e 13).

Tabela 11: Lista de incêndios que deram origem (oRCD) a 20 ou mais reacendimentos entre 2001 e 2019, e o ano e o distrito em que ocorreram

Código SGIF (oRCD)	Nº de RCD	Área Ardida	Ano	Distrito
DM2133494	81	60	2013	Porto
BL3052004	38	18	2005	Aveiro
DM3051957	37	2 922	2005	Viana do Castelo
BL3113271	37	2	2011	Aveiro
BL116195	33	985	2016	Viseu
bl205508	31	910	2005	Coimbra
BL3111571	28	2	2011	Aveiro
BL110524	28	29	2010	Viseu
DM2134414	27	10	2013	Porto
BL1101033	24	5 070	2010	Viseu
DM4071955	22	7	2007	Braga
DM2172233	22	6	2017	Porto

Código SGIF (oRCD)	Nº de RCD	Área Ardida	Ano	Distrito
DM2122549	22	6	2012	Porto
DM2114964	22	11	2011	Porto
BL3051770	22	1 451	2005	Aveiro
BL1131143	22	4 076	2013	Viseu
BL110635	22	86	2010	Viseu
DM412846	21	49	2012	Braga
DM311888	21	136	2011	Viana do Castelo
DM2162330	21	874	2016	Porto
BL3112060	21	2	2011	Aveiro
bl205292	21	777	2005	Coimbra
TM101544	20	713	2001	Vila Real
TM1021654	20	789	2002	Vila Real
DM3051548	20	950	2005	Viana do Castelo

Podemos verificar que o número de reacendimentos não está diretamente ligado com a área ardida, ou seja o fato de ocorrerem mais reacendimentos não origina uma área ardida maior. Os distritos presentes nesta lista são os distritos que na generalidade também têm um maior número de reacendimentos, o que mostra que para além de possuírem um elevado número de reacendimentos por vezes esses reacendimentos ocorrem 20 ou mais vezes, que revela que as corporações responsáveis pelo trabalho de rescaldo não realizam trabalhos de rescaldo eficientes, originando vários reacendimentos.

O incêndio que teve o maior número de reacendimentos ocorreu em 2013 no distrito do Porto e teve 81 reacendimentos. Este é um caso isolado pois o segundo incêndio que originou mais reacendimentos teve 38 reacendimentos, valor muito inferior a 81. Além disso a maioria dos incêndios presentes nesta lista situam-se nas duas dezenas de reacendimentos.

Tabela 12: Quantidade e percentagem de incêndios (oRCD) que originaram um número de reacendimentos entre 2001 e 2019

Nº de Reacendimentos	oRCD	oRCD (%)
1	10 478	72,11%
2	1 917	13,19%
3	818	5,63%
4	428	2,95%
5	273	1,88%
6	170	1,17%
7	91	0,63%
8	87	0,60%
9	74	0,51%

Nº de Reacendimentos	oRCD	oRCD (%)
10	54	0,37%
11	29	0,20%
12	23	0,16%
13	16	0,11%
14	10	0,07%
15	7	0,05%
16	15	0,10%
17	6	0,04%
18	7	0,05%
19	3	0,02%
20	3	0,02%
21	5	0,03%
22	7	0,05%
24	1	0,01%
27	1	0,01%
28	2	0,01%
31	1	0,01%
33	1	0,01%
37	2	0,01%
38	1	0,01%
81	1	0,01%
Total	**14 531**	**100,00%**

Em termos de área ardida não existe uma tendência clara para poder afirmar se foi maior no incêndio que originou o reacendimento (oRCD) ou no próprio reacendimento, pois nalguns destes casos o total de área ardida aparece associado a apenas 1 desses incêndios, ou ao incêndio que deu origem aos reacendimentos (oRCD) ou a um dos vários reacendimentos. A tendência é de um incêndio não originar muitos reacendimentos e estes dados foram compactados e estão expostos na tabela 13 para ser mais fácil verificar a quantidade a que mais frequentemente um incêndio origina reacendimentos.

Tabela 13: Quantidade e percentagem de incêndios (oRCD) que originaram um número de reacendimentos entre 2001 e 2019 agrupada

Nº de Reacendimentos	oRCD	oRCD (%)
1	10 478	72,1%
2	1 917	13,2%
3	818	5,6%
4	428	2,9%

Nº de Reacendimentos	oRCD	oRCD (%)
5	273	1,9%
6	261	1,8%
>7	356	2,4%

Podemos verificar que 72% dos casos que originaram reacendimentos (oRCD) deram origem a apenas 1 reacendimento e 91% dos fogos que originaram reacendimentos (oRCD) não ultrapassaram os 3 reacendimentos. Podemos verificar que apenas 2,4% destes fogos (oRCD) dão origem a 7 ou mais reacendimentos. A figura 7 mostra estes dados de uma forma mais visual.

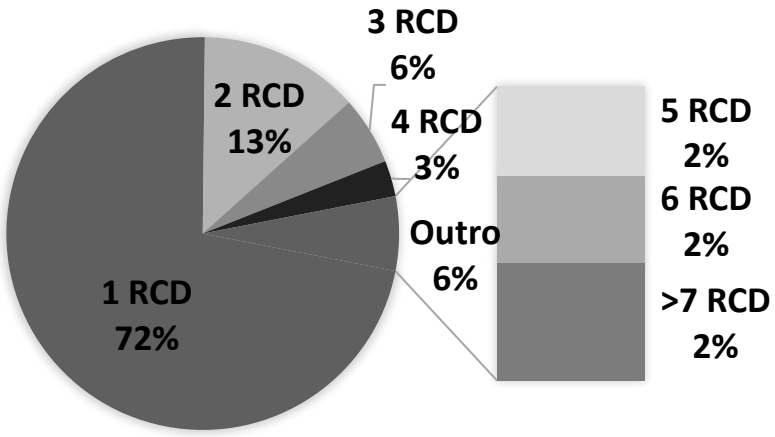


Figura 7: Gráfico que descreve a percentagem de incêndios que originaram um determinado número de reacendimentos.

Podemos verificar pela análise do gráfico que apenas 6% dos incêndios originaram mais de 4 reacendimentos (RCD) e que 72% dos incêndios que originaram reacendimentos deram origem a apenas 1 reacendimento.

4.3 - Análise de Regressão

A análise de regressão permite estabelecer um modelo para a relação entre duas ou mais variáveis. Uma regressão é uma função que permite fazer previsões sobre uma variável, chamada de variável dependente, com base nas informações obtidas de outras variáveis, chamadas de variáveis explicativas ou previsoras, variáveis independentes.

Para ajustar um modelo de regressão multilinear a um conjunto de dados, é preciso pressupor que exista uma relação linear entre a variável dependente e cada uma das variáveis explicativas e que estas variáveis explicativas sejam independentes umas das outras, e os resíduos tenham uma distribuição normal de média zero e variância constante.

Os dados para fazer a regressão multilinear foram selecionados através das análises estatísticas feitas até então, considerando todos os incêndios rurais e os reacendimentos de 2001 a 2019 apenas nos distritos de Aveiro, Braga, Bragança, Coimbra, Guarda, Leiria, Porto, Viana do

Castelo, Vila Real e Viseu e dentro do período crítico considerado entre 16 junho e 15 julho. O período considerado e os distritos selecionados são onde ocorre um número significativo de reacendimentos, reduzindo assim a base de dados a 234 072 observações das 568 907 contidas na base de dados originais.

4.3.1. *Grupos de variáveis e análise de correlação*

As variáveis utilizadas na regressão multilinear estão dispostas na tabela seguinte, classificadas por tipo e pertencentes a grupos.

Tabela 14: Classificação das variáveis utilizadas na regressão multilinear em tipos (segundo o SPSS) e associadas em grupos para análise de correlação

Variáveis	Tipo	Grupo
Ano	Ordinal	todos
Reacendimento	Nominal	Variável dependente
oRCD	Nominal	Variável dependente
Distrito	Nominal	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
ÁreaEspFlorestais	Escala	Áreas
ÁreaTotal	Escala	Áreas
AltitudeMedia	Escala	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
DecliveMedio	Escala	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
DensidadeRV	Escala	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
NIncSimul5000	Escala	simultaneidade
NIncSimulDistrito	Escala	simultaneidade
NIncSimulconcelho	Escala	simultaneidade
FWI	Escala	Meteorologia do fogo
FFMC	Escala	Meteorologia do fogo
DMC	Escala	Meteorologia do fogo
DC	Escala	Meteorologia do fogo
ISI	Escala	Meteorologia do fogo
BUI	Escala	Meteorologia do fogo
THC	Escala	Meteorologia do fogo
DSR	Escala	Meteorologia do fogo
Temperatura	Escala	meteorologia
HumidadeRelativa	Escala	meteorologia
Precipitação	Escala	meteorologia
VentoIntensidade	Escala	meteorologia
os_gen2	Nominal	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
Megaclasse	Nominal	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
Dist01	Escala	Uso do solo e distância ao impermeabilizado
Dist02	Escala	Uso do solo e distância ao impermeabilizado

É feita uma análise de correlação entre as variáveis explicativas pertencentes ao mesmo grupo para considerar apenas variáveis explicativas independentes entre si.

O coeficiente de correlação de Pearson é o índice que permite obter a relação linear entre as variáveis e varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o valor de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o valor da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Na prática os valores extremos (-1, 0 ou 1) dificilmente são encontrados e é importante discutir como os pesquisadores podem interpretar a magnitude dos coeficientes. DANCEY and REIDY (2009) classificam como correlação fraca valores absolutos entre 0,1 e 0,3; correlação moderada valores absolutos entre 0,4 e 0,6 e correlação forte valores absolutos superiores a 0,7. Quando os valores dos coeficientes de correlação de Pearson abaixo analisados for superior, em módulo, a 0,7 deverá considerar-se apenas uma dessas variáveis relacionadas para a análise de regressão multilinear.

Tabela 15: Coeficientes de correlações no grupo Áreas

Coeficiente de correlação de Pearson			
Variáveis	**1**	2	3
1. Ano	1.000		
2. AreaEspFlorestais	0,014	1.000	
3. AreaTotal	0,014	**0,998**	1.000

Neste grupo podemos verificar que a variável referente á área espaços florestais e a área total têm um coeficiente de correlação de 0,998 o que indica que existe correlação forte entre as variáveis devendo considerar-se apenas uma para a análise de regressão multilinear. A variável a utilizar na regressão multilinear será a área total.

Tabela 16: Coeficientes de correlações no grupo uso do solo e distância ao impermeabilizado

Coeficiente de correlação de Pearson									
Variáveis	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Ano	1,000								
2. Distrito	0,033	1,000							
3.AltMed	-0,023	0,268	1,000						
4.DeclMed	0,008	0,134	0,352	1,000					
5.DensRV	0,000	-0,125	-0,521	-0,317	1,000				
6.Dist01	0,051	0,059	0,159	0,164	-0,175	1,000			
7.Dist02	0,126	0,033	0,273	0,221	-0,216	0,334	1,000		

Coeficiente de correlação de Pearson									
Variáveis	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9
8.os_gen2	0,086	-0,039	-0,053	0,111	0,051	0,070	0,124	1,000	
9.megacl	-0,012	-0,084	-0,114	-0,101	0,211	-0,073	-0,070	0,440	1,000

Neste grupo verificamos que existem variáveis com alguma correlação entre elas, mas nenhuma apresenta uma correlação forte, podendo ser todas utilizadas na análise de regressão multilinear.

Tabela 17: Coeficientes de correlações no grupo simultaneidade

Coeficiente de correlação de Pearson				
Variáveis	**1**	2	3	4
1. Ano	1,000			
2. NIncSimul5000	-0,093	1,000		
3. NIncSimulDistrito	-0,077	**0,650**	1,000	
4. NIncSimulconcelho	-0,090	**0,736**	**0,765**	1,000

Neste grupo podemos verificar que a variável referente á NIncSimConcelho têm um coeficiente de correlação de 0,736 com a variável NIncSim5000 e um coeficiente de correlação de 0,765 com a variável NIncSimDistrito o que indica que existe correlação forte entre esta variável e as outras duas variáveis não devendo ser considerada para a análise de regressão multilinear. A variável NIncSim5000 também apresenta uma correlação de 0,650 com a variável NIncSimDistrito que é próxima de ser considerada uma correlação forte, mas não serão descartadas nenhuma destas duas variáveis.

Tabela 18: Coeficientes de correlações no grupo meteorologia do fogo

Coeficiente de correlação de Pearson									
Variáveis	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Ano	1,000								
2. FWI	0,097	1,000							
3. FFMC	0,078	**0,676**	1,000						
4. DMC	0,218	0,473	0,303	1,000					
5. DC	0,177	0,349	0,187	0,565	1,000				
6. ISI	0,019	**0,889**	0,574	0,207	0,123	1,000			
7. BUI	0,224	0,502	0,318	**0,976**	**0,709**	0,209	1,000		
8. DSR	0,088	**0,971**	0,569	0,425	0,309	**0,912**	0,446	1,000	
9. THC	**-0,844**	-0,124	-0,215	-0,243	-0,152	-0,044	-0,240	-0,094	1,000

Neste grupo podemos verificar que existe várias variáveis com um coeficiente de correlação forte, superior a 0,7. O ano tem uma correlação negativa forte com o THC, devendo ser retirado o fator THC na análise da regressão multilinear, pois o ano é um fator importante.

A variável BUI tem uma forte correlação com as variáveis DC e DMC, podendo ser assim retirada também da análise da regressão multilinear, mantendo as variáveis DC e DMC.

Também se verifica uma forte correlação da variável FWI com as variáveis DSR e ISI, e entre a variável ISI e a variável DSR. A melhor opção para resolver esta situação será retirar as variáveis ISI e DSR ficando a variável FWI para análise da regressão multilinear.

Assim sendo as variáveis a considerar deste grupo são o Ano, FWI, FFMC, DMC, DC, sendo retiradas as variáveis ISI, BUI, DSR, THC por apresentarem um coeficiente de correlação forte com as outras.

Tabela 19: Coeficientes de correlações no grupo meteorologia

Coeficiente de correlação de Pearson					
Variáveis	**1**	2	3	4	5
1. Ano	1,000				
2.Temperatura	0,024	1,000			
3. HumidadeRelativa	-0,113	**-0,694**	1,000		
4. Precipitação	-0,031	0,009	-0,008	1,000	
5. VentoIntensidade	-0,120	-0,277	0,198	0,063	1.000

Neste grupo verificamos que existem variáveis com alguma correlação entre elas, sendo que a temperatura e a humidade relativa apresentam uma correlação muito próxima de 0,7. Assim devemos retirar uma delas da análise da regressão multilinear, que será a humidade relativa.

4.3.2. *Regressão multilinear (reacendimentos)*

Para a análise da regressão multilinear dos reacendimentos serão consideradas as seguintes variáveis que não possuem correlação forte entre si: Ano, Distrito, ÁreaTotal, AltitudeMedia, DecliveMedio, DensidadeRV, NIncSim5000, NIncSimDistrito, FWI, FFMC, DMC, DC, Temperatura, Precipitação, VentoIntensidade, os_gen2, Megaclasse, Dist01 e Dist02.

Tabela 20: Tabela com o resumo do modelo e a tabela ANOVA da regressão multilinear para a variável dependente reacendimento

Resumo do modelo[b]

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,152[a]	,023	,023	,283

a. Preditores: (Constante), megaclasse_code, NIncSimulDistrito, Precipitacao, FFMC, Ano, AreaTotal, Distrito com codigo numérico, VentoIntensidade, DC, DecliveMedio, DendidadeRV, Temperatura, uso solo, AltitudeMedia, DMC, NIncSimul5000, FWI

b. Variável Dependente: Reacendimento

ANOVA[a]

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	406,407	17	23,906	299,460	,000[b]
	Resíduo	17156,383	214908	,080		
	Total	17562,790	214925			

a. Variável Dependente: Reacendimento

b. Preditores: (Constante), megaclasse_code, NIncSimulDistrito, Precipitacao, FFMC, Ano, AreaTotal, Distrito com codigo numérico, VentoIntensidade, DC, DecliveMedio, DendidadeRV, Temperatura, uso solo, AltitudeMedia, DMC, NIncSimul5000, FWI

O valor R é o coeficiente de correlação múltipla. É uma medida da qualidade da previsão da variável dependente. O valor de 0,152 indica um nível de previsão baixo.

O valor R^2 ajustado é o coeficiente de determinação. É a proporção de variação na variável dependente explicada pelas variáveis independentes. O valor de 0,023 mostra que as variáveis independentes explicam 2,3% da variação da variável dependente.

O teste F (Z na tabela de ANOVA) testa o ajuste do modelo de regressão. A tabela da ANOVA mostra que as variáveis independentes preveem a variável dependente de forma significativa porque *p* (Sig. na tabela ANOVA) é menor que 0,05. Por outra palavras, o modelo de regressão ajusta-se bem aos dados.

Outra tabela de interesse é a que apresenta os coeficientes de regressão.

Tabela 21: Coeficientes de regressão das variáveis independentes com a variável dependente reacendimento

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.
		B	Erro Erro	Beta		
1	(Constante)	-10,065	,264		-38,144	,000
	Ano	,005	,000	,086	38,483	,000
	Distrito com codigo numérico	,004	,000	,036	16,131	,000
	AreaTotal	-2,326E-6	,000	-,002	-,824	,410
	AltitudeMedia	-4,999E-5	,000	-,043	-15,756	,000
	DecliveMedio	-7,233E-5	,000	-,002	-,982	,326
	DendidadeRV	-7,985E-5	,000	-,069	-26,384	,000
	NIncSimul5000	-,007	,001	-,022	-7,882	,000
	NIncSimulDistrito	,000	,000	,012	4,364	,000
	FWI	,001	,000	,031	8,291	,000
	FFMC	-9,728E-5	,000	-,004	-1,553	,120
	DMC	,000	,000	,065	22,718	,000
	DC	-2,874E-5	,000	-,020	-7,379	,000
	Temperatura	,000	,000	,006	1,895	,058
	Precipitacao	-4,341E-5	,000	-,003	-1,424	,155
	VentoIntensidade	,000	,000	,007	2,332	,020
	uso solo	,003	,000	,026	10,793	,000
	megaclasse_code	-,002	,000	-,014	-5,900	,000

a. Variável Dependente: Reacendimento

Os coeficientes não padronizados indicam quanto a variável dependente varia com uma variável independente, quando as outras variáveis independentes são mantidas constantes.

Os coeficientes padronizados são os coeficientes que obteríamos se padronizássemos todas as variáveis na regressão, incluindo a dependente e todas as variáveis independentes, e executássemos a regressão. Ao padronizar as variáveis antes de executar a regressão, ou seja, colocar todas as variáveis na mesma escala, pode-se comparar a magnitude dos coeficientes para ver qual tem mais efeito. Os betas maiores estão associados aos valores t maiores que servem para calcular o nível de significância (Sig) das variáveis no modelo. Quando o valor de significância é superior a 0,05 esta variável não tem significância para prever o modelo.

As variáveis da área total, declive médio, FFMC, temperatura e precipitação não possuem significância para o modelo, e das variáveis que têm significância para o modelo as que apresentam um valor de beta padronizado superior a 0,05 são o ano, a densidade da rede viária e o DMC.

Quando o beta representa um valor positivo significa que a proporção é direta, ou seja, quanto maior é a variável maior é a possibilidade de ser um reacendimento. Quando o beta apresenta

um valor negativo, significa que quanto maior é a variável menor é a possibilidade de ser um reacendimento.

Neste caso quanto maior for a densidade da rede viária menor é a possibilidade de ser um reacendimento o que pode ser interpretado como uma menor facilidade dos trabalhos de rescaldo em zonas mais inacessíveis.

Quanto maior for o índice DMC maior é a possibilidade de o incêndio ser um reacendimento tal como seria de esperar. Seria de esperar que o mesmo sucedesse com o índice DC (índice de seca), no entanto tal não se verifica.

Em relação ao ano, por existirem anos com mais reacendimentos do que outros, esta variável foi usada como proxy para exprimir outros fatores explicativos não considerados na regressão (por exemplo, oscilação na dimensão do dispositivo de supressão), acabando por ter uma influência na previsão (anos com mais reacendimentos tem um peso maior do que os restantes).

Para garantir todos os pressupostos de uma regressão multilinear é necessário verificar se os resíduos se aproximam de uma distribuição normal com média zero e variância constante.

Tabela 22: Estatísticas de resíduos da regressão multilinear com a variável dependente reacendimentos

Estatísticas de resíduos[a]

	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	N
Valor previsto	-,35	,29	,09	,043	214926
Resíduo	-,295	1,220	,000	,283	214926
Erro Valor previsto	-10,003	4,718	,000	1,000	214926
Erro Resíduo	-1,044	4,317	,000	1,000	214926

a. Variável Dependente: Reacendimento

Podemos verificar que na linha do Erro Valor previsto este possui o valor de Média igual a 0,000 e o Erro Desvio igual a 1,000, assim podemos dizer que os resíduos se aproximam de uma distribuição normal com média zero e a variância de 1,000 que é uma constante.

4.3.3. *Regressão multilinear (incêndios rurais que originaram reacendimentos)*

Para a análise da regressão multilinear dos incêndios rurais que originaram reacendimentos serão consideradas as mesmas variáveis do modelo anterior.

Tabela 23: Tabela com o resumo do modelo e a tabela ANOVA da regressão multilinear para a variável dependente origem dos reacendimentos

Resumo do modelo[b]

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,130[a]	,017	,017	,209

a. Preditores: (Constante), megaclasse_code, NIncSimulDistrito, Precipitacao, FFMC, Ano, AreaTotal, Distrito com codigo numérico, VentoIntensidade, DC, DecliveMedio, DendidadeRV, Temperatura, uso solo, AltitudeMedia, DMC, NIncSimul5000, FWI

b. Variável Dependente: oRCD

ANOVA[a]

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	161,065	17	9,474	217,618	,000[b]
	Resíduo	9356,425	214908	,044		
	Total	9517,490	214925			

a. Variável Dependente: oRCD

b. Preditores: (Constante), megaclasse_code, NIncSimulDistrito, Precipitacao, FFMC, Ano, AreaTotal, Distrito com codigo numérico, VentoIntensidade, DC, DecliveMedio, DendidadeRV, Temperatura, uso solo, AltitudeMedia, DMC, NIncSimul5000, FWI

O valor R é o coeficiente de correlação múltipla. É uma medida da qualidade da previsão da variável dependente. O valor de 0,130 indica um nível de previsão baixo.

O valor R^2 ajustado é o coeficiente de determinação. É a proporção de variação na variável dependente explicada pelas variáveis independentes. O valor de 0,017 mostra que as variáveis independentes explicam 1,7% da variação da variável dependente.

O teste F (Z na tabela de ANOVA) testa o ajuste do modelo de regressão. A tabela da ANOVA mostra que as variáveis independentes preveem a variável dependente de forma significativa porque *p* (Sig. na tabela ANOVA) é menor que 0,05. Por outra palavras, o modelo de regressão ajusta-se bem aos dados.

Outra tabela de interesse é a que apresenta os coeficientes de regressão.

Tabela 24: Coeficientes de regressão das variáveis independentes com a variável dependente origem do reacendimento

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.
		B	Erro Erro	Beta		
1	(Constante)	-5,848	,195		-30,013	,000
	Ano	,003	,000	,068	30,263	,000
	Distrito com codigo numérico	,001	,000	,008	3,554	,000
	AreaTotal	5,599E-5	,000	,058	26,866	,000
	AltitudeMedia	-1,230E-5	,000	-,014	-5,251	,000
	DecliveMedio	7,618E-5	,000	,003	1,400	,161
	DendidadeRV	-5,662E-5	,000	-,067	-25,332	,000
	NIncSimul5000	-,001	,001	-,007	-2,379	,017
	NIncSimulDistrito	,001	,000	,047	16,582	,000
	FWI	,000	,000	,021	5,750	,000
	FFMC	-1,242E-5	,000	-,001	-,268	,788
	DMC	5,416E-5	,000	,019	6,580	,000
	DC	-2,963E-5	,000	-,028	-10,302	,000
	Temperatura	,001	,000	,014	4,424	,000
	Precipitacao	-4,819E-5	,000	-,005	-2,140	,032
	VentoIntensidade	,000	,000	,013	4,454	,000
	uso solo	,001	,000	,010	3,913	,000
	megaclasse_code	,000	,000	-,004	-1,574	,115

a. Variável Dependente: oRCD

Os coeficientes não padronizados indicam quanto a variável dependente varia com uma variável independente, quando as outras variáveis independentes são mantidas constantes.

Os coeficientes padronizados são os coeficientes que obteríamos se padronizássemos todas as variáveis na regressão, incluindo a dependente e todas as variáveis independentes, e executássemos a regressão. Ao padronizar as variáveis antes de executar a regressão, ou seja, colocar todas as variáveis na mesma escala, pode-se comparar a magnitude dos coeficientes para ver qual tem mais efeito. Os betas maiores estão associados aos valores t maiores que servem para calcular o nível de significância (Sig) das variáveis no modelo. Quando o valor de significância é superior a 0,05 esta variável não tem significância para prever o modelo.

As variáveis do declive médio, o índice FFMC e a megaclasse referente ao uso do solo não possuem significância para o modelo, e das variáveis que têm significância para o modelo as que apresentam um valor de beta padronizado superior a 0,05 são o ano, a área total e a densidade da rede viária. O número de ocorrências simultâneas no distrito também tem um valor próximo de 0,05 para o valor de beta.

Neste caso quanto maior for a área total ardida maior será o perímetro para efetuar o rescaldo, o que por vezes não é feito de forma tão eficiente.

Quanto maior for o número de ocorrências em simultâneo no distrito maior a possibilidade de o incêndio originar um reacendimento pois os trabalhos de rescaldo são abandonados por vezes prematuramente porque os bombeiros que se encontram no trabalho de rescaldo são necessárias para combater outras ocorrências podendo por vezes esses trabalhos não concluídos originarem reacendimentos (Abilio Pereira Pacheco, Claro, and Oliveira 2012).

Neste caso quanto maior for a densidade da rede viária menor é a possibilidade de ser um reacendimento o que pode ser interpretado como uma menor facilidade dos trabalhos de rescaldo em zonas mais inacessíveis e montanhosas.

Para garantir todos os pressupostos de uma regressão multilinear é necessário verificar se os resíduos se aproximam de uma distribuição normal com média zero e variância constante.

Tabela 25: Estatísticas de resíduos da regressão multilinear com a variável dependente origem dos reacendimentos

Estatísticas de resíduos[a]

	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	N
Valor previsto	-,05	3,12	,05	,027	214926
Resíduo	-2,210	1,013	,000	,209	214926
Erro Valor previsto	-3,667	112,110	,000	1,000	214926
Erro Resíduo	-10,591	4,853	,000	1,000	214926

a. Variável Dependente: oRCD

Podemos verificar que na linha do Erro Valor previsto este possui o valor de Média igual a 0,000 e o Erro Desvio igual a 1,000, assim podemos dizer que os resíduos se aproximam de uma distribuição normal com média zero e a variância de 1,000 que é uma constante.

Capítulo 5

Conclusão

Com base nas análises estatísticas dos incêndios em Portugal foi notório que existe diferenças entre os diversos distritos. Em relação ao número de incêndios rurais estes existem mais nos distritos com maiores aglomerados populacionais, o que permite afirmar que existem mais incêndios onde existem mais pessoas. Também é possível verificar que em termos de áreas ardidas estas são maiores em distritos onde existe menos população, o que mostra que as pessoas são muitas vezes o motivo de alerta dos incêndios. Ainda sobre os incêndios rurais verifica-se que estes são mais frequentes no período entre 16 junho e 15 outubro, ou seja, nos meses mais quentes em Portugal (período do Verão). Em relação aos reacendimentos estes ocorrem em maior número nos distritos mais a norte do país.

As regressões multilineares embora apresentassem os valores de R^2 ajustados baixos permitiram através dos coeficientes padronizados das variáveis verificar que existem algumas variáveis que influenciam mais do que outras quer no caso dos reacendimentos quer no caso dos incêndios que originaram reacendimentos. O ano é uma variável que influencia os reacendimentos e a origem dos reacendimentos, podendo indicar variação de outras fontes de explicação (variáveis não consideradas), tal como por exemplo, variações ao longo do tempo na dimensão do dispositivo de supressão e do tipo de meios utilizados.

A densidade da rede viária é uma variável que tem um efeito negativo nas regressões multilineares apresentadas acima, ou seja, quanto maior for o número de estradas menor é a possibilidade de ocorrer um reacendimento.

A área ardida e o número de incêndios simultâneos dentro do distrito são variáveis que tem influência na origem de reacendimentos, ou seja, quanto maior for a área ardida e quanto maior for o número de ocorrências no distrito maior é a possibilidade de um incêndio originar um reacendimento.

O índice de humidade da manta morta (DMC) influencia os reacendimentos e quanto maior for esse valor, maior é a possibilidade de ser um reacendimento.

5.1 - Limitações

Uma limitação prende-se com o fato de os dados relativos aos reacendimentos estarem incompletos e com alguns erros, levou ao seu tratamento de forma a encontrar os incêndios

que originaram os reacendimentos, o que pode ter levado a algumas imprecisões durante o tratamento desses mesmos dados.

Uma revisão mais profunda da literatura permitiria ter mais conhecimento sobre os reacendimentos e perceção sobre a existência de variáveis que poderiam influenciar mais significativamente a previsão da ocorrência de reacendimentos.

5.2 - Trabalho futuro

Como trabalho futuro uma possibilidade passaria por estudar detalhadamente os distritos de forma individual de maneira a perceber quais os fatores que mais influenciam os reacendimentos em cada distrito, para que se possa perceber o problema e tentar corrigir alguns erros que possam estar a ser cometidos de maneira a reduzir o número de reacendimentos.

Outro ponto que seria interessante estudar, seria o tempo dedicado aos trabalhos de rescaldo em cada incêndio (dados existentes nas "fitas de tempo", a que não tive acesso), para perceber a sua influência na origem dos reacendimentos.

Referências

Beighley, M, and M Quesinberry. 2004. *USA-Portugal wildland fire technical exchange project-final report*.

Beighley, Mark, and AC Hyde. 2009. "Systemic Risk and Portugal's forest fire defense strategy." Portucel Conf.

Bonazountas, Marc, Despina Kallidromitou, Pavlos Kassomenos, and Nikos Passas. 2007. "A decision support system for managing forest fire casualties." *Journal of Environmental Management* 84 (4): 412-418.

DANCEY, Christine, and John REIDY. 2009. "Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed, 2006." *FIGUEIREDO, DBF; SILVA, JAJ Desvendando os misterios do coeficiente de correlacao de pearson (r). Revista Politica Hoje* 18 (1).

Félix, Fernando, and Luciano Lourenço. 2017. "O tempo de resposta do ataque inicial a incêndios florestais nos espaços mais sensíveis de Portugal: o exemplo prático da serra da Lousã." *Territorium* (24): 187-211.

Fernandes, Paulo. 2007. "Entender porque arde tanto a floresta em Portugal." *Proteger a floresta: Incêndios, pragas e doenças. Coleção Árvores e Florestas de Portugal* 8: 69-91.

Fernandes, Paulo M, Abílio Pereira Pacheco, Rui Almeida, and Joao Claro. 2016. "The role of fire-suppression force in limiting the spread of extremely large forest fires in Portugal." *European Journal of Forest Research* 135 (2): 253-262.

Fernandes, Paulo, and Pedro Palheiro. 2007. "Interpretação dos índices do Sistema Canadiano de Indexação do Perigo de Incêndio Florestal."

Fernandes, Sofia, Ana C Meira Castro, and Luciano Lourenço. 2017. "Duas décadas de investigação das causas de incêndios florestais em Portugal continental." IV Congresso Internacional de Riscos "Riscos e Educação".

Ginja, Vitor Manuel da Silva. 2014. "Agrupamentos de corpos de bombeiros, do presente ao futuro. Análise da sua constituição ao nível municipal e supra municipal." Mestrado em Riscos e Proteção Civil, Instituto Superior de Educação e Ciências.

Guiomar, Nuno, Carlos Ramalho, João Pinho, Susana Paulo, and João Martins. 2006. "Análise de padrões espaciais em SIG para a implementação de faixas e mosaicos de gestão de combustíveis florestais." *Contributos metodológicos para a definição da rede de defesa da floresta contra incêndios. ESIG*.

Ignall, Edward J, Peter Kolesar, Arthur J Swersey, Warren E Walker, Edward H Blum, Grace Carter, and Homer Bishop. 1975. "Improving the deployment of New York City fire companies." *Interfaces* 5 (2-part-2): 48-61.

Independente, Comissão Técnica. 2020. Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais. Diário da República n.º 115/2020, 1º Suplemento: Presidência do Conselho de Ministros.

Independente, CTI-Comissão Técnica. 2018. *Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental*.

Lourenço, Luciano. 2005. "Plano nacional de defesa da floresta contra incêndios." *Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais, Miranda do Corvo, II* 236: 387.

Lourenço, Luciano 2007. "Incêndios florestais de 2003 e 2005. Tão perto no tempo e já tão longe na memória!" *Colectâneas Cindínicas-Riscos Ambientais e Formação de Professores* 7: 19-91.

Lourenço, Luciano, and Manuel Rainha. 2006. "As mediáticas "mãos criminosas dos incendiários" e algumas das "lições dos fogos florestais de 2005", em álbum fotográfico.: Contributo para a desmistificação dos incêndios florestais em Portugal." *Territorium* (13): 71-82.

Martell, David L. 2001. "Forest fire management." In *Forest Fires*, edited by Edward A. Johnson and Kiyoko Miyanishi, 527-583. Elsevier.

Pacheco, Abílio P., João Claro, and Tiago Oliveira. 2013. "Simulation analysis of the impact of ignitions, rekindles, and false alarms on forest fire suppression." *Canadian Journal of Forest Research* 44 (1): 45-55. https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0257.

Pacheco, Abilio Pereira. 2011. "Simulation analysis of a wildland fire suppression system." *Canadian Journal of Forest Research*, no. 44 (1): 1-11.

Pacheco, Abílio Pereira, and João Claro. 2018. "Operational flexibility in forest fire prevention and suppression: a spatially explicit intra-annual optimization analysis, considering prevention,(pre) suppression, and escape costs." *European Journal of Forest Research* 137 (6): 895-916.

Pacheco, Abilio Pereira, João Claro, and Tiago Oliveira. 2012. "Rekindle dynamics: validating the pressure on wildland fire suppression resources and implications for fire management in Portugal." *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, no. 158: 225-236.

Pereira, Adriana Xavier. 2018. "Propriedades físico-químicas dos solos em áreas ardidas de montanha do Nordeste de Portugal em diferentes fases de evolução pós-fogo." Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária de Bragança.

Thompson, Matthew P, and Dave E Calkin. 2011. "Uncertainty and risk in wildland fire management: a review." *Journal of environmental management* 92 (8): 1895-1909.