



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Filipe Galvão Brito

Caraterização de meios de supressão no combate a fogos florestais



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Rui Filipe Galvão Brito

**Caraterização de meios de supressão no
combate a fogos florestais**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica - Área de
Especialização em Tecnologias Energéticas e
Ambientais

Trabalho efetuado sob a orientação do:

Professor José Carlos Fernandes Teixeira

Professor Filipe Pereira Cunha Alvelos

DECLARAÇÃO

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho

AGRADECIMENTOS

Dizem que estes anos são viagens, neste caso uma longa viagem que por vezes se pensou que poderia não ter bem fim. Nesta etapa final, várias são as pessoas que posso agradecer sendo que tenho obrigatoriamente de destacar três:

Ao meu pai pelo apoio constante, pelas correções e validações, pela ajuda e transmitir sempre uma mensagem de esperança e por me ouvir.

À professora Senhorinha por acreditar que eu conseguia. Por me ter ajudado na fragmentação de um trabalho que parecia enorme e conseguir passar a algo mais “palpável”. A ajuda foi fundamental para chegarmos a esta fase.

À Teresa, por saber do esforço que estava envolvido e conseguir alegrar cada momento.

Um obrigado aos meus orientadores, Professor José Carlos Teixeira e Professor Filipe Alvelos que estavam disponíveis a esclarecer e a definir o trabalho, bem como aplicar as revisões necessárias, mostrando interesse no tema e na conclusão do mesmo. Aproveito também para agradecer ao Sr. Comandante dos Bombeiros de Baião que nos acolheu e ajudou na recolha de informação vital para o projeto.

Tenho a agradecer à minha mãe, ao meu irmão os meus primos (Manel e Mafalda) por fazerem que este percurso fosse possível, por saberem ir dando as palavras certas na altura que tinha de as ouvir (nas outras também), mas por estarem sempre lá.

À Oportuna, um grupo de amigos que cresceu junto e que hoje orgulhosamente continua. Aos Mat'sXummels, os amigos que ganhei na universidade e que perduram para a vida.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projecto “O3F - An Optimization Framework to reduce Forest Fire” - PCIF/GRF/0141/2019.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Esta dissertação centra o seu estudo na avaliação da energia de supressão disponível numa unidade de Bombeiros para melhorar a avaliação da tomada de decisão numa primeira intervenção.

Os incêndios florestais são um fenómeno de extrema complexidade e que tem assolado o território nacional ano após ano, implicando um esforço hercúleo dos bombeiros portugueses.

A supressão de um incêndio florestal deve ser realizada nos primeiros minutos de registo da ocorrência, quando o mesmo ainda se encontra com uma menor frente de fogo, antes que a mesma atinja proporções onde pouco resta a fazer em termos de meio de combate direto, sendo os bombeiros obrigados a técnicas de combate indireto. No caso de estudo, a forma de supressão em causa é com recurso a água através dos meios de combate a incêndios florestais terrestres. A capacidade destes meios varia consoante a sua função e é necessário ter uma boa avaliação de qual o meio devido na primeira intervenção, tendo também por base a localização do incêndio, uma vez que o comportamento do fogo depende principalmente do combustível (neste caso vegetal), condições meteorológicas e a topografia.

Com esta dissertação pretende-se desenvolver um estudo sobre a energia disponível ao corpo de Bombeiros de Baião, área bastante fustigada recentemente por graves incêndios florestais, em termo de carga total dos seus meios de combate. Foram analisados os incidentes ocorridos nos últimos anos, bem como uma avaliação da área ardida para posterior comparação com a capacidade de supressão existente no quartel dos bombeiros.

Esta relação será útil às unidades de Bombeiros para melhor avaliar a primeira intervenção, intervenção mais importante no combate a um incêndio florestal. Será tido em conta a capacidade que os meios de combate têm de supressão de incêndios florestais com base no fluxo de calor externo absorvido e respetiva correspondência em termos de hectares.

Palavras-Chave: Meio de supressão, água, Energia Térmica, Incêndios Florestais

ABSTRACT

This thesis mainly aims to detect the amount of energy that a Fire Station have ready for suppression of a wildfire to better approach the first fire intervention tactic.

Wildfires are a truly complex phenomenon that is treating our forest and villages without any signal of slow down, year after year, demanding a heroic effort for our firefighter's corporation.

The suppression of wildfires must be performed during the first minutes of the occurrence to better handle the head of the fire, if not, the direct intervention tactics will be useless, leading the corporation to adopt indirect tactics to try to extinguish the fire before it is too late.

The suppression agent related with this study is water, induced with firefighting hose. The tank capacity of each fire tank will vary accordingly with brands/sizes/functions. Based on this, it is needed to have a great assessment of which vehicle should go to each occurrence bearing in mind the main fire behavior characteristics, fuel (in this case mainly vegetal), weather and topography.

With this thesis it is aimed to develop a study regarding the energy available by the Baião fire corporation. Baião is a region in Portugal that is a particular vulnerable region in Portugal regarding wildfires. Previous years statistics regarding forest burnt area were analyzed and compared with a single tank capacity load of the Firefighter's Headquarters to better calibrate how should be the approach to new occurrences and with this having better approaches to the first intervention tactic.

KEYWORDS: Wildfires, Thermal Energy, Water, Suppression methods

ÍNDICE

Agradecimentos.....	II
Resumo	IV
Abstract.....	V
Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas.....	IX
Lista de Siglas	X
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Bombeiros Voluntários de Baião	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura.....	2
2. Estado da arte.....	4
2.1 Incêndios Florestais.....	4
2.1.1 Contexto histórico nacional	4
2.1.2 Comportamento do Fogo.....	6
2.1.3 Fatores que afetam o comportamento dos incêndios florestais	8
2.2 Sistemas de Informação Geográfica.....	11
2.2.1 Conceito Geral	11
2.2.2 Contexto Nacional.....	12
2.3 Meios de Combate	13
2.3.1 História dos meios de combate.....	13
2.3.2 Meios de Combate em Portugal	14
2.3.3 Combate a Incêndios Florestais	16
2.4 Modos e Técnicas de Dispersão da água e fluxo crítico	20
3. Estudo de caso.....	24

3.1	Região de Baião	24
3.2	Contexto Histórico da Região de Baião	25
4.	Levantamento e Caracterização de uma Unidade de Bombeiros e Respetiva Capacidade Energética de Combate a Incêndios Florestais	29
4.1	Tomada de Decisão	29
4.2	Meios de combate terrestre e respetiva capacidade energética	30
4.3	Relação da energia compreendida e média de energia térmica em incêndios.....	32
5.	Conclusões e Trabalho Futuro	34
5.1	Conclusões	34
5.2	Trabalhos Futuros.....	34
	Bibliografia	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estatísticas de ocorrências e área ardida dos últimos 14 anos em Portugal	5
Figura 2 - Quantidade de hectares queimados em grandes fogos [8]	5
Figura 3 - Triângulo do Fogo [10]	6
Figura 4 - Tetraedro do Fogo [10]	7
Figura 5 - Principais fatores que influenciam o desenvolvimento dos incêndios florestais [11]	8
Figura 6 - Modo de funcionamento de um SIG	12
Figura 7 - Veículo de combate a incêndio patenteado por Richard Newsham	14
Figura 8 - Fases de supressão de um fogo [24]	22
Figura 9 - Concelho de Baião [25]	24
Figura 10 - Mapa Topográfico do concelho de Baião [26]	25
Figura 11 - Distribuição anual da área ardida e do nº de ocorrências em Baião [27]	26
Figura 12 - Distribuição da área ardida e do nº de ocorrências por classes de extensão no período de 2010-2019 [27]	26
Figura 13 - Distribuição anual da área e do nº de ocorrências dos grandes incêndios (2010 - 2019) [27]	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Veículos de combate a incêndio.....	17
Tabela 2 - Veículos de apoio logístico	18
Tabela 3 - Ilustração dos veículos de combate a incêndios	19
Tabela 4 - Caracterização dos meios de combate da Unidade de Baião	30
Tabela 5 - Energia térmica total da Unidade de Bombeiros de Baião	31
Tabela 6 - Capacidade de hectares suprimidos por VFCI	33

LISTA DE SIGLAS

CNIG - Centro Nacional de Informação Geográfica

DGT - Direção Geral de Território

GIS- Geographical Information System

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

PMDFCI – Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

SADO - Sistema de Apoio à Decisão Operacional

SALOGES - Sala de Operações e Gestão de Emergências

SCO - Sistema de Comando Operacional

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIRESP - Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal

SNIG - Sistema Nacional de Informação Geográfica

TO - Teatro de Operações

VCOT – Veículo de Comando

VFCI – Veículo Florestal de Combate a Incêndios

VLCI – Veículo Ligeiro de Combate a Incêndios

VOPE – Veículo para Operações Específicas

VSAT – Veículo de Socorro e Assistência Tático

VTTF – Veículo Tanque Tático Florestal

VTTU – Veículo Tanque Tático Urbano

VUCI – Veículo Urbano de Combate a Incêndios

1. INTRODUÇÃO

No capítulo introdutório é explanado e enquadrado o trabalho elaborado. É também tido em conta uma breve descrição do projeto no qual o trabalho está inserido, bem como, da Corporação de Bombeiros de Baião que se tem mostrado uma forte aliada deste projeto.

1.1 ENQUADRAMENTO

Os incêndios florestais são um fenómeno de elevada complexidade, afetando as infraestruturas, bem como comunidades e a própria vida humana [1], mas que carecem de um estudo cada vez mais profundo.

Em Portugal, o número de incêndios rurais, em média (anual), de 2011 a 2020 foi de 5845 com um total (médio) de área ardida de 17144 ha [2]. Para uma contextualização histórica, no período de 2010 a 2015 os espaços silvestres sofreram um acentuado acréscimo, situando-se em 69% do uso do solo continental dificultando, ainda mais, o ordenamento do território [3]. Esta dificuldade de ordenamento territorial obriga a uma análise geográfica muito mais cuidada.

O combate a incêndios envolve múltiplas entidades com diversas competências. Um aspeto essencial na tomada de decisão neste âmbito é a informação relativa aos recursos existentes, mais concretamente à quantidade de energia que o mesmo conseguiria suprimir com uma carga. Para tal, o estudo e classificação dos diversos meios de combate, integrando um sistema de informação geográfica com a capacidade de supressão revela-se de extremo interesse.

1.2 BOMBEIROS VOLUNTÁRIOS DE BAIÃO

A instituição Bombeiros Voluntários de Baião tem a sua sede localizada na freguesia de União de Freguesias de Campelo e Ovil, concelho de Baião, distrito de Porto.

Fundada em 8 de outubro de 1962, a Associação Humanitária de Bombeiros Voluntários de Baião nasceu da vontade da comunidade em assegurar um serviço permanente de Bombeiros, que até aí era realizado pela própria população num gesto de solidariedade, quando os sinos tocavam a rebate.

Atualmente, o Corpo de Bombeiros Voluntários de Baião é constituído por voluntários e assalariados que prestam serviço no combate a incêndios, salvamento e desencarceramento, socorros a náufragos e busca e salvamento.

O Corpo de Bombeiros Voluntários de Baião conta com veículos de emergência destinados ao combate a incêndios estruturais, incêndios florestais, salvamento e desencarceramento e comando e comunicações. Além destes veículos possui duas embarcações de socorro.

O Corpo de Bombeiros Voluntários de Baião sediado na sede de concelho tem na sua área de intervenção uma das maiores manchas florestais contínuas do distrito do Porto, compreendidas entre as margens do Douro e as serras do Marão, Castelo e Aboboreira [4].

1.3 OBJETIVOS

De modo a ser possível uma análise correta e aprofundada do assunto em estudo, com esta dissertação apresenta como objetivo geral a análise da área que cada veículo da unidade de bombeiros de Baião conseguirá suprimir. Para tal, pretende-se:

1. Identificar a quantidade de energia associada a cada meio de prevenção e combate a incêndios;
2. Calcular o fluxo de calor máximo que a unidade de bombeiros de Baião conseguirá suprimir aquando de um determinado fluxo crítico;
3. Descrever o(s) processo(s) de tomada de decisão (e.g. alocação de meios a múltiplas ignições) na perspetiva da otimização da utilização dos meios.

1.4 ESTRUTURA

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos principais, sendo os mesmos: Capítulo 1, dedicado à introdução da dissertação, respetiva contextualização e objetivo; Capítulo 2, onde é detalhado o conhecimento necessário para uma melhor compreensão da temática dos incêndios florestais, bem como dos meios de supressão e fluxo crítico de água necessário. Segue-se no capítulo 3 a análise à região de Baião, região bastante vulnerável aos riscos dos incêndios florestais e sobre a qual recaiu maior atenção desta dissertação. No capítulo 4 é feito o levantamento das características dos meios de combate a incêndios

florestais da região, bem como a análise da tomada de decisão. Aqui é também realizado o estudo comparativo da quantidade de energia libertada num incêndio e a quantidade que cada meio consegue suprimir em relação à média de hectares por incêndio da região e uma discussão sobre o resultado. Por fim, no capítulo 5 discute-se as conclusões desta dissertação ficando posteriormente o espaço para as respetivas referências bibliográficas.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 INCÊNDIOS FLORESTAIS

2.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO NACIONAL

Os incêndios florestais têm elevados impactos ambientais, sociais e económicos.

Ao nível ambiental destacam-se: o aumento das emissões de gases nocivos; o aumento do fenómeno de erosão e consequentemente de deslizamentos de terras devido à destruição da camada superficial vegetativa; a maior suscetibilidade das áreas onde se verificaram incêndios a cheias; a destruição da fauna e da flora. Os incêndios destroem a floresta e o risco de incêndio faz diminuir o seu valor. Tal é preocupante uma vez que o sector florestal tem elevada importância na economia nacional.

Mais importante, os incêndios constituem uma ameaça extrema à segurança, responsáveis pela morte de vários civis, bombeiros, bem como da destruição de património, poluição de águas e infertilidade de terras [5].

O fogo faz parte da natureza desde a “criação do mundo”, constituindo um dos quatro elementos considerados como essenciais do universo. E embora seja mais comumente associado à ideia de destruição e catástrofe, o fogo pode também ser relacionado com a ideia de bênção e de renovação. Este aparente paradoxo, reflete o duplo papel do fogo nas sociedades ao longo de milhões de anos simultaneamente, uma forma de destruição e de renascimento, tal como acontece com os ecossistemas que têm evoluído na sua presença [6].

Os incêndios florestais não são um fenómeno novo em Portugal, embora em Portugal não sejam conhecidos muitos documentos escritos relativos aos incêndios florestais anteriores ao século XX [6].

Até à década de 1960, os incêndios florestais, apesar de frequentes, só raramente assumiram proporções catastróficas, sendo conhecidos, todavia, alguns grandes incêndios florestais ocorridos no século XIX e início do século XX, como por exemplo:

- Pinhal de Leiria: 1806, 1814, 1818, 1824 ou 1825, 1875 e 1916 (o grande incêndio florestal de 1824/1825 terá queimado entre 4000 a 5000 ha);
- Alentejo: 1876;
- Serra do Buçaco: 1882/1883;
- Freguesia de São Frutuoso/Coimbra: 1913.

A partir da década de 1970, com a profunda transformação verificada no país, dá-se um aumento da frequência, da dimensão, da intensidade e da capacidade destruidora dos incêndios, o que veio a culminar nas tragédias de 2017, que feriram 320 pessoas e tiraram a vida, em apenas dois dias (17 de junho e 15 de outubro), a 116 pessoas.

Esta dramática realidade está diretamente relacionada com o aumento, tanto do número como da dimensão dos grandes incêndios florestais (Figura 1) e, especialmente, da sua capacidade destruidora, passível de se ver na Figura 2 pois, se até 1986 nunca tínhamos sido flagelados por um incêndio com dimensão superior a 10 mil hectares, 2003 viu franquear a marca dos 20 mil hectares e, 2017, a dos 40 mil [7].

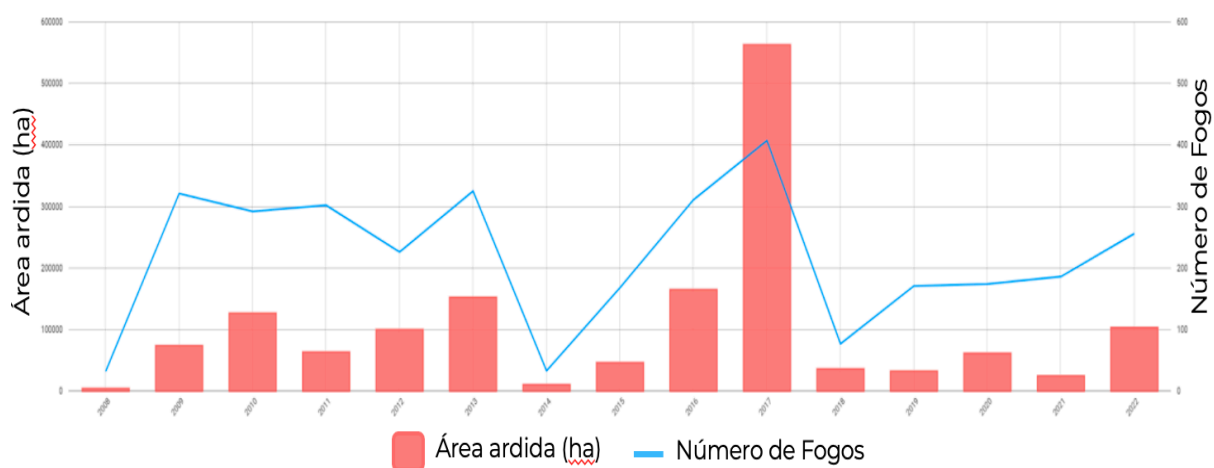


Figura 1 - Estatísticas de ocorrências e área ardida dos últimos 14 anos em Portugal

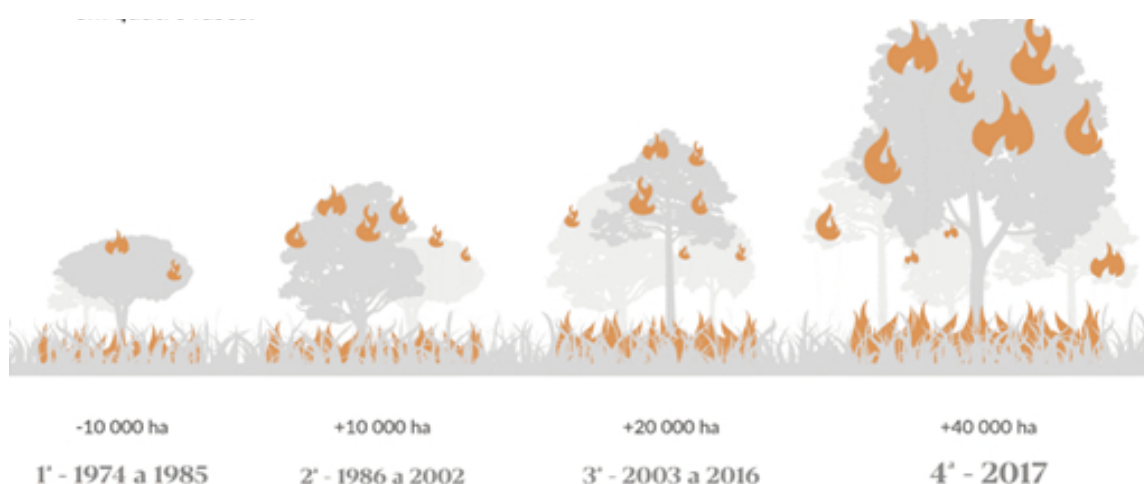


Figura 2 - Quantidade de hectares queimados em grandes fogos [8]

Face a esta realidade, urge reforçar a aposta estratégica na prevenção, alavancada na educação, na gestão florestal e no ordenamento do território [9].

2.1.2 COMPORTAMENTO DO FOGO

Para se compreender a forma como os incêndios rurais se iniciam, se desenvolvem e se extinguem, é fundamental compreender os princípios básicos relacionados diretamente com o fenômeno da combustão.

Um processo de combustão envolve três elementos do “Triângulo do Fogo” (Figura 3)

- 1) combustível;
- 2) comburente;
- 3) energia de ativação.

No caso particular dos incêndios rurais, o combustível é todo o material vegetal que se encontra disponível para arder no espaço rural independentemente da sua tipologia, como, por exemplo, herbáceas, arbustos ou árvores (a característica do combustível será explanada posteriormente).

O comburente é o oxigênio presente no ar, e a energia de ativação pode surgir de várias formas, mas apenas com duas origens: a humana ou a natural.



Figura 3 - Triângulo do Fogo [10]

De modo sintético a combustão pode definir-se como uma reação química entre o combustível e o oxigênio de onde resultam, entre outros, dióxido de carbono (CO_2), vapor de água (H_2O) e energia libertada. Nos combustíveis vegetais, ao contrário dos industriais, o início da combustão exige sempre uma fonte de energia externa, que pode ser de vários tipos e origens (ex. chama direta, beata de um cigarro, chispas metálicas, descarga elétrica, etc.) .

No entanto, para que a combustão se mantenha de uma forma sustentada, é necessário desenvolver-se uma reação em cadeia “Tetraedro do Fogo” (Figura 4).



Figura 4 - Tetraedro do Fogo [10]

A combustão decorre em várias fases:

- 1) pré-ignição;
- 2) ignição;
- 3) combustão com chama;
- 4) combustão sem chama.

A pré-ignição é uma fase preliminar durante a qual os combustíveis recebem energia e, em resultado dessa absorção, começam a libertar vapor de água e componentes voláteis (resultado de um processo de decomposição química designado por pirólise). Estes componentes voláteis são libertados sob a forma de gás que, quando inflamado, dá origem às chamas (fase de ignição) e, assim, dá-se início ao processo de combustão com chamas. Desde que estejam mantidas estas condições, esta fase é autossuficiente na medida em que a energia libertada pela chama vai permitir a ignição de outros combustíveis. Quando a energia libertada já não é suficiente para inflamar os gases libertados a combustão fica sem chama.

Comportamento Extremo do Fogo

O termo “comportamento do fogo” envolve um conjunto de fenómenos ligados aos processos de ignição, da combustão e da interação entre o incendio e a atmosfera.

O fogo tem um “comportamento dinâmico” (variação da velocidade por exemplo em encostas com declives elevados, 25-30 °, ou em desfiladeiros) definido também por um quarto fator o “tempo cronológico” (faz aumentar a velocidade e a intensidade da frente de chamas mesmo que todos os outros fatores se mantenham). O comportamento extremo do fogo,

devido a elevada velocidade e intensidade de propagação que o definem, é caracterizado por tornar ineficaz e insegura a supressão com os meios de combate que tradicionalmente se tem à disposição.

Dos registos existentes, a ocorrência de incêndios com comportamento extremo aparenta estar a agravar-se nos últimos 100 anos, e em particular nos últimos 20 anos associada, entre outros, a fenómenos meteorológicos extremos, falta de gestão da floresta, abandono das práticas tradicionais de agricultura, desordenamento florestal, acumulação de biomassa no espaço rural.

São exemplos de comportamento extremo o Fogo de Copas; o *Spotting* (propagação por projeção de partículas); o Comportamento Eruptivo; os Tornados e os Turbilhões ou Redemoinhos de Fogo [10].

2.1.3 FATORES QUE AFETAM O COMPORTAMENTO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Os três principais fatores influenciadores dos incêndios florestais são (Figura 5).

- Características dos combustíveis: distribuição vertical e horizontal, dimensão, quantidade ou carga, humidade do combustível, combustibilidade e percentagem de combustíveis finos mortos;
- Características do relevo: forma, declive e exposição das vertentes;
- Condições meteorológicas: temperatura e humidade relativa do ar, rumo e velocidade do vento.

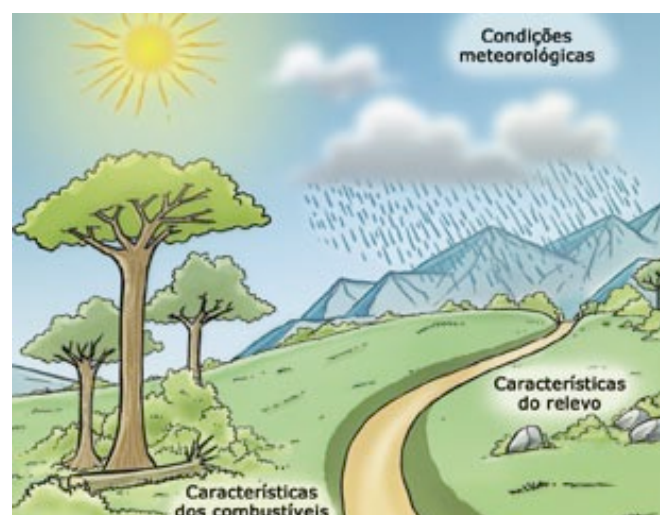


Figura 5 - Principais fatores que influenciam o desenvolvimento dos incêndios florestais [11]

Combustíveis Florestais

A combustibilidade caracteriza a facilidade de propagação de um incêndio num determinado conjunto de combustíveis.

Os combustíveis florestais são todos os materiais vegetais existentes na floresta e provêm, obrigatoriamente, das plantas. Os combustíveis podem dividir-se em dois grandes grupos: vivos e mortos.

Outro ponto a ter em consideração é a dimensão dos combustíveis. Na floresta podem observar-se combustíveis finos, miúdos, médios e grossos. A folhada, ervas anuais, pastagens e searas, do estrato herbáceo, são constituídas por combustíveis finos e miúdos, enquanto o mato é, na sua grande maioria, formado por combustíveis médios. Os ramos e troncos das árvores adultas estão na categoria dos combustíveis grossos.

A relação entre o tamanho e a forma dos combustíveis traduz-se pela razão entre a superfície e o volume de determinado combustível. Os combustíveis finos ardem mais facilmente do que os combustíveis grossos porque têm maior superfície em contacto com o ar, sendo mais fácil o seu pré-aquecimento e a propagação da combustão.

A distribuição dos combustíveis é muito diversa e depende de muitos fatores, como sejam o tipo de solo, a quantidade de água, luz solar, exposição, declive, formas de exploração da floresta, etc.

Na distribuição vertical distinguem-se os seguintes estratos:

- Arbóreo, constituído pelas árvores, em cuja posição superior se encontra a copa;
- Arbustivo, constituído por arbustos vivos (urzes, tojo, carqueja, esteva, giesta, piorno, zimbro, sargaço, etc.);
- Herbáceo, constituído pelas ervas anuais como o panasco, o feno e os fetos.

Carga total de combustíveis entre o solo e as copas

Define-se carga de combustível como a quantidade de combustível existente numa dada área: inclui a folhada, pinhas, ramos e troncos mortos, as herbáceas e os arbustos. É medida em toneladas por hectare.

Humidade do combustível

A humidade do combustível é a quantidade de água que ele contém, expressa em percentagem relativamente ao seu peso seco. Regra geral, as folhas vivas das árvores contêm

entre 80 a 250% de humidade do seu peso seco, ardendo tanto melhor quanto mais secas estiveram.

Relevo

Os acidentes do terreno podem assumir uma infinidade de formas, que podem ser agrupadas em três grandes categorias:

- Elevações;
- Depressões;
- Planuras.

O relevo tem, por si só, influência na progressão dos incêndios florestais. Por outro lado, como afeta o vento, a temperatura e a humidade relativa do ar também condiciona, desse modo, a propagação dos incêndios florestais.

A maior ou menor inclinação de uma encosta tem influência determinante na propagação dos incêndios, visto que quanto mais inclinada for (maior declive) maior é o efeito das colunas de convecção que aquecem a vegetação acima do incêndio, aumentando a velocidade de propagação no sentido ascendente. Assim, numa encosta, o incêndio propaga-se muito mais rapidamente no sentido ascendente do que no descendente [11].

Declive

Um conceito importante para os bombeiros é o de declive, que se define pela relação entre a diferença de altitude de dois pontos situados no terreno e a respetiva distância horizontal, medida em linha reta. O declive é dado, normalmente, em percentagem.

Em termos florestais, considera-se que declives até 10% são praticáveis pelas pessoas e veículos normais, entre 10% e 20% a marcha só é possível a passo e os veículos normais apresentam algumas dificuldades. De 20% a 50% apenas são praticáveis por veículos todo-terreno (ou 4x4) e acima de 50% a marcha é praticamente impossível e só veículos especiais aí conseguem operar [11].

Condições meteorológicas

Os aspetos meteorológicos que influenciam decisivamente o comportamento dos incêndios florestais são: a temperatura e a humidade relativa do ar, o rumo e velocidade do vento.

A temperatura é uma grandeza física, característica de um dado corpo (sólido, líquido ou gasoso), que é superior ou inferior consoante esse corpo absorveu mais ou menos energia.

A humidade atmosférica exprime a quantidade de vapor de água existente na atmosfera.

O vento é o movimento do ar e pode ocorrer em qualquer direção. Na observação do vento considera-se, por convenção, o rumo de onde sopra o ar, referido aos pontos da rosa dos ventos: cardeais, colaterais e intermédios, consoante o pormenor desejado [11].

2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

2.2.1 CONCEITO GERAL

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG), em inglês *GIS (Geographical Information System)* tem como objetivo armazenar dados, processar e representar a informação geográfica recolhida de diferentes formas [12]. Esta tecnologia assume elevado interesse quando se fala de assunto relacionado com incêndios florestais devido, entre outros fatores, à capacidade de previsão de possíveis áreas ardidas, permitindo uma melhor monitorização e ação perante um incêndio, ajudando à tomada de decisão como explanado na Figura 6. A capacidade da tecnologia SIG permite interligar diferentes dados relacionados com a superfície terrestre, entre outros pontos fundamentais.

Contextualizando historicamente, os primeiros SIG (de vertente digital) a nível mundial tiveram origem no continente americano com o *Canadian Geographic Information System*, datado de 1971. Este sistema teve como base uma crescente preocupação pelos recursos naturais e por entender as pressões exercidas ao nível de uso do solo [13]. No continente europeu, os primeiros testes de mapas reproduzidos por computador tiveram origem em Estocolmo, mais concretamente através de cartas meteorológicas, na década de 1950.

O desenvolvimento desta tecnologia permitiu também o desenvolvimento de grandes bases de dados (como o caso da *LANDFIRE*) ou de novos modelos (*MEDFire*, *Firemap*, *FireStation*, *FuelManager*). Com toda a complexidade associada a um incêndio florestal, estes

modelos mostram ser extremamente benéficos para uma previsão de possíveis avanços/comportamentos do fogo [14]–[16].

Recentemente, os incêndios florestais têm tido um cada vez maior impacto negativo, tanto a nível ambiental como na humanidade. Tendo por base este flagelo, os sistemas de informação geográficos assumem uma cada vez maior importância. O efeito de um fogo florestal pode ser estudado com uso deste género de sistemas, interligar a informação e permitir novas formas de previsão de danos que um incêndio poderá atingir, permitindo melhorar a visualização e gestão florestal. Outro ponto fundamental a realçar, no que toca ao sistema de informação geográfica e a forma como se lida com a mesma em incêndios florestais, é através da combinação dos dados para melhor posicionamento dos meios de combate. Este posicionamento pode passar a estar pré-definido consoante as alturas do ano, através do uso de modelos como o *FIRETEC* que utilizam as melhores capacidades dos SIGs em prol de uma melhor calibração do local dos meios de combate [17].

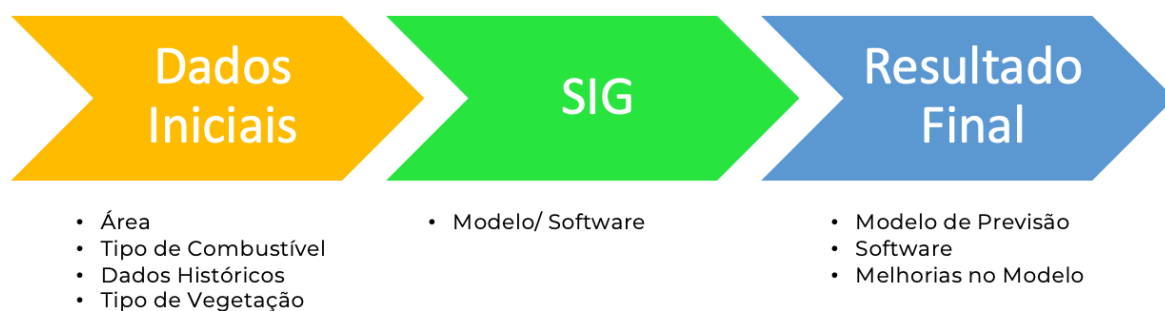


Figura 6 - Modo de funcionamento de um SIG

2.2.2 CONTEXTO NACIONAL

Portugal representa um país de elevado relevo no estudo de Sistemas de Informação Geográfica no contexto europeu, tendo sido, inclusive, o primeiro país a completar o projeto *Corine Land Cover*, desenvolvido pela comissão europeia entre 1985 e 1990 com o objetivo de obter uma carta temática da ocupação dos solos europeus. Porém, nem sempre Portugal foi figura de proa a nível europeu. O início dos SIG em Portugal teve origem por volta de 1970, com os conhecimentos a serem aplicados de forma isolada e através de iniciativa privada e empresarial.

Só em 1986 se registou o esforço de trabalho comum para o desenvolvimento e criação do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) [13]. Em 1994, já inserido na estrutura

do Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) (entidade responsável até à integração no Instituto Geográfica Português), é criado um grupo responsável, em conjunto com 22 municípios, de realizar a cartografia de risco de incêndio florestal e o desenvolvimento de aplicações de Software SIG (RISE) para melhor e maior auxílio ao corpo de bombeiros nacional.

Atualmente o SNIG está sob responsabilidade da Direção Geral de Território [18].

Numa sala de operações e Gestão de Emergências (SALOGÉ) as ocorrências devem ser georreferenciadas com uso dos equipamentos que compõem o atual Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP), permitindo a correta localização dos meios de socorro. Esta localização serve de base para o uso de outras ferramentas digitais como o Sistema de Apoio à Decisão Operacional (SADO) que permite a operacionalização e apoio à decisão em situações de proteção e socorro [19].

Em Portugal, os serviços SIG, estão a evoluir para uma maior parceria com a proteção civil e as diversas unidades de controlo e monitoramento territorial, como se demonstra com o recurso a tecnologias da marca ESRI-ArcGIS para permitir aferir o avanço esperado de incêndios urbanos ou florestais como na situação atual do COVID-19 [20].

2.3 MEIOS DE COMBATE

2.3.1 HISTÓRIA DOS MEIOS DE COMBATE

Os meios de combate tiveram a sua origem em 1730, em Inglaterra, com o estudo a ser muito provocado pelo grande incêndio de Londres poucos anos antes. Richard Newsham foi o pioneiro nos meios de combate a incêndios tendo patenteado uma versão inicial do veículo de combate a incêndios (Figura 7).



Figura 7 - Veículo de combate a incêndio patenteado por Richard Newsham
Este meio de combate necessitava do manuseamento por dois bombeiros.

Até meados do século XIX, todos os meios de combate seguiam formas similares às desenvolvidas por Newsham, sendo por vezes os homens substituídos por cavalos na árdua tarefa de puxar o veículo. Porém, em 1841, na cidade de Nova Iorque, o primeiro meio de combate com motor a vapor foi desenvolvido e apresentado às corporações de bombeiros que não o receberam da forma esperada, com medo dos efeitos da propulsão. Só nos inícios do século XX é que realmente se deu o apogeu dos veículos de bombeiros com motor a combustão, sendo que em 1930 foi introduzida a escada.

Após a segunda guerra mundial, os meios de combate viram uma completa revolução com diferentes meios de combate para cada situação específica [21].

2.3.2 MEIOS DE COMBATE EM PORTUGAL

Em Portugal, os veículos de combate terrestre apresentam as suas classificações e especificidades descritas em Diário da República [22].

Classificação de Veículos

Os veículos de socorro e combate a incêndio dos Corpos de Bombeiros, atendendo à sua utilização principal e às disposições da EN 1846 — 1, 2 e 3, são classificados como:

1 — Veículos de combate a incêndio;

Os veículos de combate a incêndios são veículos equipados com bomba de serviço de incêndio, tanque (s) de agente extintor e outros equipamentos necessários para o salvamento e combate a incêndios de acordo com a EN 1846 -1,2,3.

2 — Veículos com meios elevatórios;

Os veículos com meios elevatórios são veículos que incorporam escada giratória ou plataforma elevatória de acordo com a EN 1846 -1,2 e 3, EN 14043, EN 14044 e EN 1777.

3 — Veículos de socorro e assistência técnica;

Os veículos de socorro e assistência técnica são veículos equipados com material especial de desencarceramento e salvamento destinados a efetuar operações de resgate e todas as que envolvam o risco de vidas e bens, de acordo com a EN 1846 -1,2 e 3.

4 — Veículos de socorro e assistência a doentes;

Os veículos de socorro e assistência a doentes estão dotados de equipamentos e tripulação que permite a aplicação de medidas de suporte de vida, destinadas à estabilização e transporte de doentes e sinistrados que necessitem de assistência durante o transporte de acordo com a NP EN 1789 e em conformidade com o disposto no Regulamento do Transporte de Doentes em vigor.

5 — Veículos de posto de comando;

Os veículos de posto de comando estão equipados com meios de comunicação e diverso equipamento de apoio à decisão, direção e comando de operações de socorro e combate a incêndios, de acordo com a EN 1846 — 1,2 e 3.

6 — Veículos de proteção;

Os veículos de proteção são veículos da classe L, M ou S, categoria 2, destinados ao transporte de equipamentos especializados e equipamentos de proteção individual (EPI), para operações específicas e para limitar os prejuízos ambientais, como perigo de poluição e riscos químicos, radiológicos e biológicos.

7 — Veículos de transporte de pessoal;

O Veículo de Transporte de Pessoal é um veículo da classe L, M ou S, da categoria 1 ou 2, destinado ao transporte de bombeiros e seus equipamentos individuais.

8 — Veículos de apoio logístico;

Os veículos de apoio logístico são destinados a transportar materiais e ou produtos de extinção, com o fim de apoiar e sustentar uma unidade operacional.

9 — Veículos motorizados específicos.

a) Os veículos motorizados específicos são veículos destinados a operações especiais ou específicas;

b) São veículos para operações específicas as embarcações de reconhecimento, socorro e transporte em meio aquático [22].

2.3.3 COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS

Numa operação de combate a um incêndio florestal, em Portugal, podem estar envolvidos os seguintes tipos de veículos:

- 1) Veículos de combate a incêndios
- 5) Veículos de comando
- 8) Veículos de apoio logístico

Que, em Portugal (Despacho n.º 7316_2016 [21]), apresentam-se divididos da seguinte forma (Tabela 1 e Tabela 2):

Tabela 1 - Veículos de combate a incêndio

	Definição	Autonomia	Velocidade de cruzeiro	Tanque - capacidade mínima (± 5 %)	Débitos mínimos	Bomba Serviço Incêndios - Saídas
		km	km/h	litros	litros/minuto	
VLCI	Veículo classe L categoria 2 ou 3 dotado de bomba de serviço de incêndios e tanque de agente extintor de acordo com a Norma Europeia 1846 — 1,2,3. O veículo pode ser configurado para intervenção prioritária em espaços urbanos com a categoria 2 e para espaços naturais com a categoria 3.	300	85 e a velocidade máxima admitida pela legislação em vigor	1.000	1.000 a 15 bar ou 1.000 a 10 bar e 300 a 25 bar, consoante tenha um ou dois estágios;	Duas saídas DN25, Storz D, com tampa cega; Duas saídas DN45, Storz C, com tampa cega; Uma saída DN25, Storz D, para circulação do tanque pela bomba.
VFCI	Veículo da classe M, categoria 3, dotado de bomba de serviço de incêndios e tanque de agente extintor, destinado prioritariamente à intervenção em espaços naturais de acordo com a Norma Europeia 1846 — 1,2,3.	300	80 e a velocidade máxima admitida pela legislação em vigor	3.000 a 4.000	1.500 à pressão mínima de 15 bar	DN45, Storz C, duas saídas, com tampa cega presa por corrente; DN45, Storz C, duas saídas, com tampa cega presa por corrente; DN25, Storz D, para enchimento/circulação do tanque pela bomba;
VUCI	Veículo da classe M ou S, de categoria 1 ou 2, dotado de bomba de serviço de incêndios e tanque (s) de agente extintor, destinado prioritariamente à intervenção em espaços urbanos, tecnológicos ou industriais, de acordo com Norma Europeia 1846 — 1,2,3.	300		2.000	3.000 a 10 bar e 250 a 40 bar	DN70, Storz B, uma saída, com tampa cega presa por corrente; DN70, para monitor; DN45, Storz C, duas saídas, livre para eventual ligação manual em baixa pressão, com tampa cega presa por corrente; DN25, Storz D, uma saída, com tampa cega presa por corrente; DN25, Storz D, para enchimento/ circulação do tanque pela bomba; Saída de alta pressão DN25, com sistema de rosca macho-fêmea de 1 polegada e cone de vedação BSP inox.

Tabela 2 - Veículos de apoio logístico

	Definição	Autonomia	Velocidade de cruzeiro	Tanque - capacidade mínima (± 2 %)	Débitos mínimos	Bomba Serviço Incêndios - Saídas
		km	km/h	litros	litros/minuto	
VTTU	Veículo da classe S, categorias 1 ou 2, equipado com bomba de serviço de incêndios e tanque(s) de agente(s) extintor, para apoio às operações de socorro e/ou assistência, de acordo com a Norma Europeia 1846 — 1,2,3.	300		8.000 a 15.000	2.000 a 10 bar;	Duas saídas DN70, Storz B, com tampa cega presa por corrente; Duas saídas DN45, Storz C, com tampa cega presa por corrente; Uma ligação DN25, para enchimento/circulação do tanque pela bomba.
VTTF	Veículo da classe S, categoria 3, equipado com bomba de serviço de incêndios e tanque(s) de agente(s) extintor destinado prioritariamente à intervenção em espaços naturais e/ou apoio a operações de socorro e/ou assistência de acordo com a Norma Europeia 1846 — 1,2,3.	300	80 e a velocidade máxima admitida pela legislação em vigor	6.000 a 10.000	2.000 à pressão mínima de 15 bar	DN70, Storz B, uma saída, com tampa cega presa por corrente; DN45, Storz C, duas saídas, com tampa cega presa por corrente; DN25, Storz D, uma saída, com tampa cega presa por corrente; DN25, para enchimento/circulação do tanque pela bomba.

No caso dos veículos de comando, os mesmos não apresentam capacidade de combate efetivo ao incêndio, mas sim com uma componente de direção e liderança no terreno de operações, não estando, portanto, representados nas tabelas 1 e 2.

Para uma mais fácil identificação com os veículos em questão, segue uma caracterização visual dos mesmos (Tabela 3).

Tabela 3 - Ilustração dos veículos de combate a incêndios

	
VFCI	VTTF
	
VLCI	VCOT
	
VUCI	VTTU

2.4 MODOS E TÉCNICAS DE DISPERSÃO DA ÁGUA E FLUXO CRÍTICO

Várias são as formas de supressão de fogos que são introduzidas a um nível global, mas a água mantém-se como sendo um dos principais supressores utilizados no combate aos incêndios florestais [23]. Nos incêndios florestais, o objetivo de um meio de supressão tem como base três princípios:

- Arrefecer a superfície do combustível;
- Arrefecer a zona de Chama;
- Deslocamento do Oxidante, neste caso o oxigénio.

Outro ponto que favorece o combate a incêndios florestais com água é conseguir-se humedecer as superfícies de combustível adjacente à frente de fogo.

Numa forma ideal, toda a água iria servir como supressor do fogo, tendo cada gota efeito imediato e medido. Porém, em cenários reais a água não vai toda ser aproveitada de igual forma. Outro ponto fundamental no que toca à dispersão da água é o caudal que a mesma é libertada.

Segundo Penney [23], o cálculo do fluxo necessário de água para o combate a incêndios florestais está intrínseco a um estudo sobre o rendimento da água.

$$CF = m''_{acr,0} + \frac{q''_E}{\eta_a H_{Lva}} \quad (1)$$

Onde:

- CF - Rácio Fluxo Crítico (kg/s)
- $m''_{acr,0}$ - Rácio crítico de água, assumindo nenhuma intervenção de fluxo de calor externo, identificado $\approx 0,0129 \text{ Lm}^{-2}\text{s}^{-1}$;
- η_a - Eficiência da aplicação da água, representando a porção que água que é efetivamente contribuidora para a supressão do fogo. Por defeito, é assumido 0,7;
- H_{Lva} - Entalpia da água, 2640 kJkg^{-1} ;
- q''_E - Fluxo de calor externo, sendo que este pode ser obtido na equação 2- (kW)

$$q''_E = \frac{(0,27 I)}{(2 Lf + D)} \tau + PCI(T_g - T_f) \quad (2)$$

Considerando,

Lf - Tamanho de chama (m);

D - Profundidade de incêndio (m);

τ -Transmissividade atmosférica, por defeito, 1 em caso de incêndio;

T_g - Temperatura do gás, assume-se ser 1090 K;

T_f - Temperatura do combustível- assume-se ser 588 K.

I - Intensidade da frente de fogo (kWm^{-1}) – calculado por

$$\frac{PCI W RoS}{36} \quad (3)$$

Relativamente à equação 3, encontra-se:

PCI – Poder Calorífico- $18\,600 \text{ kJkg}^{-1}$

W – Carga de combustível

RoS – Rate of Spread

As equações 1 e 2 permitem aferir qual será o caudal necessário para uma determinada situação.

A água, quando sai da agulheta apresenta uma forma compacta do tubo de água, sendo que rapidamente essa “imagem” sólida cede e vai-se tendo a atomização da água. Os agentes responsáveis por esta transição são a turbulência interna e o gradiente de velocidade que é gerado entre o jato e o ambiente e tensão superficial. Quanto mais pequeno for o diâmetro da agulheta, maior será a pressão, levando a que esta desintegração também seja mais elevada.

Na realidade, no combate a incêndios, os sprays tendem a ser polidispersos, com uma grande quantidade de diferentes tamanhos de gotas. No que toca ao tamanho da gota, diversos pontos como a tensão superficial, viscosidade e densidade vão impactar o tamanho da mesma.

A estabilidade e comprimento do jato vai depender em grande parte da pressão na agulheta.

Por volta de 1960, os termos “suave” e “duro” serviram para caracterizar a os jatos de água. Jatos mais duros de água vão ter a capacidade de maior penetração em grandes fogos e também tiram partido do impacto da água (contra a frente de fogo) quando se desfaz o jato. Na Figura 8 tem-se refletida a importância da água na supressão de um fogo, com uma clara diminuição da temperatura desde que este agente extintor entre em ação conjunta contra a frente de fogo.

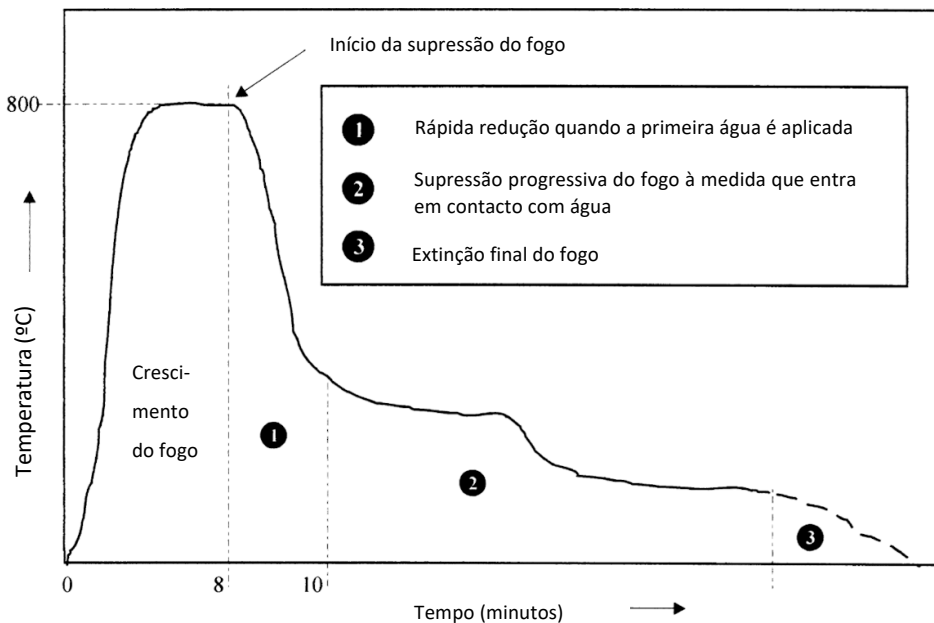


Figura 8 - Fases de supressão de um fogo [24]

Por fim, também o ângulo de ataque terá bastante influência. O terreno, o combustível e o efeito do vento, terão efeito sobre a técnica mais adequada na regulação do caudal e a forma de aplicação de água na base das chamas.

Por exemplo, ao combater um incêndio em mato de um metro de altura, a agulheta deve trabalhar quase na horizontal, com uma pulverização intermédia (cone de água pouco alargado), de forma a penetrar no combustível, cobrindo a maior área possível.

Pelo contrário, se for combustível baixo (mato rasteiro, ervas ou folhada), a agulheta inclina-se, apagando e molhando o terreno de imediato.

A pressão de trabalho (na agulheta) e o caudal disponível também permitem tirar melhor partido da utilização da água, pelo que as agulhetas com regulação de caudal são as mais indicadas.

Ao nível das mangueiras, as mais utilizadas pelos corpos de Bombeiros nacionais são do tipo flexível que suportam pressões de trabalho até, aproximadamente, 20 bar. Funcionam com baixa pressão, o que é suficiente pois, normalmente, nos incêndios florestais as pressões de trabalho não ultrapassam 10 bar (sendo que variados estudos apontam para que não se tem nenhuma real vantagem operacional a expor os mesmo a mais de 7 bar [24] .

Pela facilidade de transporte e de montagem das linhas de mangueiras foram adotadas mangueiras flexíveis de 25 mm, normalmente colocadas em carretéis próprios, que se vão retirando (puxando até à linha de fogo), sendo então ligadas à bomba. Também são utilizadas

mangueiras flexíveis de 45 mm, quer para o abastecimento dos veículos, quer para o combate, sendo utilizadas, em último caso, no combate direto a chamas intensas.

Note-se que certas agulhetas a trabalhar a pressões mais elevadas arrastam tanto ar como água para as chamas, com o inconveniente de poder «ventilar» as chamas em vez de as extinguir. Se tal suceder deve reduzir-se a pressão. Quando em operação junto da frente de chamas ou tendo necessidade de passar mangueiras sobre a área já queimada, deve ter-se sempre pessoal distribuído ao longo da linha de mangueiras [24].

3. ESTUDO DE CASO

3.1 REGIÃO DE BAIÃO

O concelho de Baião (Figura 9), do distrito do Porto, localiza-se na Região do Norte (NUTS II) e na sub-região do Tâmega e Sousa (NUTS III) na margem norte do rio Douro. Fica enquadrado na serra do Marão, sendo o concelho mais interior do distrito.

O município é limitado a norte pelo município de Amarante e Santa Marta de Penaguião, a leste por Mesão Frio e Peso da Régua, a sul por Resende e Cinfães e a oeste pelo Marco de Canaveses. O município engloba 3 vilas: Baião, Ancede e Santa Marinha do Zêzere.

Baião é o concelho com maior percentagem de área verde e floresta em todo o distrito do Porto (63,5 % do território) e possui no seu território recursos naturais, tais como a Serra da Aboboreira, a Serra do Marão, a Serra do Castelo de Matos ou os rios Douro, Teixeira e Ovil [25].



Figura 9 - Concelho de Baião [25]

Topograficamente, tem como altura máxima os 1405 m e mínima os 45 m [26], como mostrado na Figura 10.

Atualmente vigora na região de Baião, o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios do concelho de Baião, designado por PMDFCI de Baião 2021-2030 que contem as

ações necessárias à defesa da floresta contra incêndios e inclui também a previsão e a programação integrada das intervenções das diferentes entidades.

O Plano tem um período de vigência de 10 anos, que coincide obrigatoriamente com os 10 anos do planeamento em defesa da floresta contra incêndios definido e aprovado para o período de 2021-2030 que nele é preconizado. Foi obtido o parecer vinculativo favorável do ICNF em 02 de maio de 2022 e publicado em Diário da República a 04 de agosto de 2022 [27].

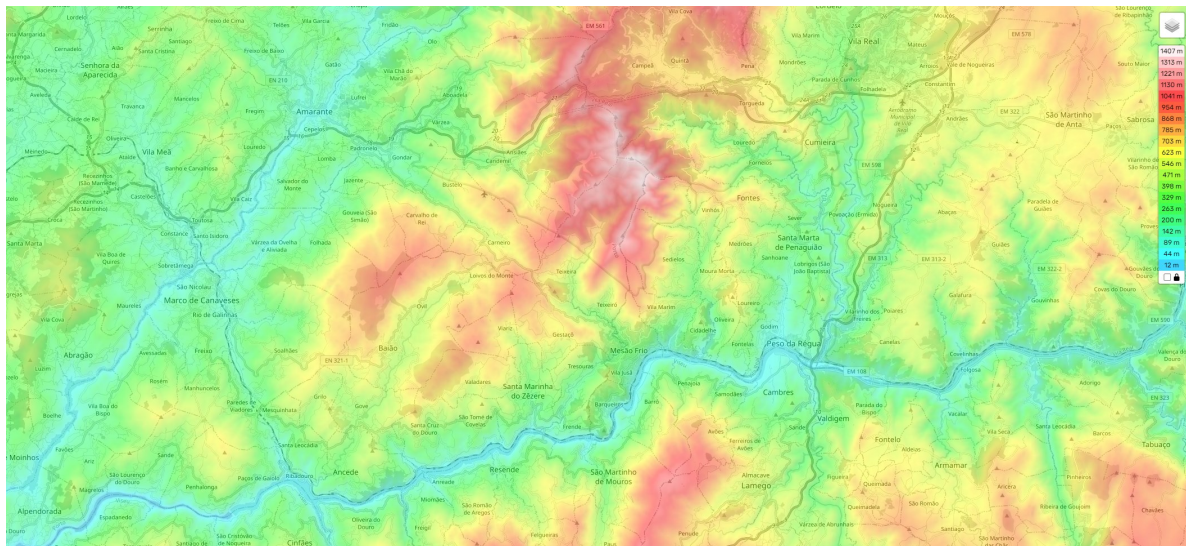


Figura 10 - Mapa Topográfico do concelho de Baião [26]

3.2 CONTEXTO HISTÓRICO DA REGIÃO DE BAIÃO

Tendo por base o documento referido [27], a média do número de ocorrências, no período de 2005 a 2019, foi de 172/ano e arderam em média 893 ha/ano, sendo que o somatório da área ardida atingiu 13 395 ha, o que significa que quase toda a superfície florestal do território de Baião já terá sido percorrida por um incêndio.

Na Figura 11 apresenta-se a distribuição anual da área ardida entre 2005 e 2019 no Concelho de Baião.

No período 2010-2019 existe uma preponderância da área ardida de matos (6 787,3 ha) face à de povoamentos florestais (1 373,6 ha). Estes valores indicam que, no intervalo analisado, 83% da área ardida no Município correspondeu a matos e 17% dizia respeito a povoamentos florestais.

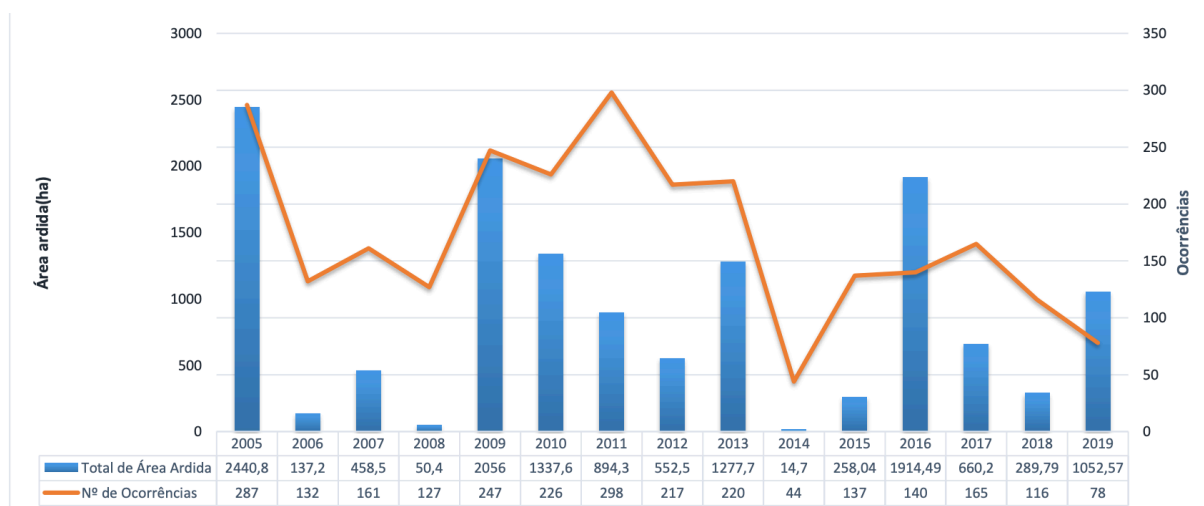


Figura 11 - Distribuição anual da área ardida e do nº de ocorrências em Baião [27]

Da sua análise constata-se que entre 2009-2018, a maior parte da área ardida ocorreu entre julho e outubro, destacando-se o mês de agosto com uma área ardida média de 334,04 ha, o que representam aproximadamente 54% da média da área ardida no período analisado. Já no que respeita ao número de ocorrências, verifica-se que os meses entre junho e outubro representam cerca de 74% das ocorrências no referido período.

Na Figura 12 apresenta-se a distribuição da área ardida e do número de ocorrências por classes de extensão no período de 2010-2019 no Concelho de Baião.

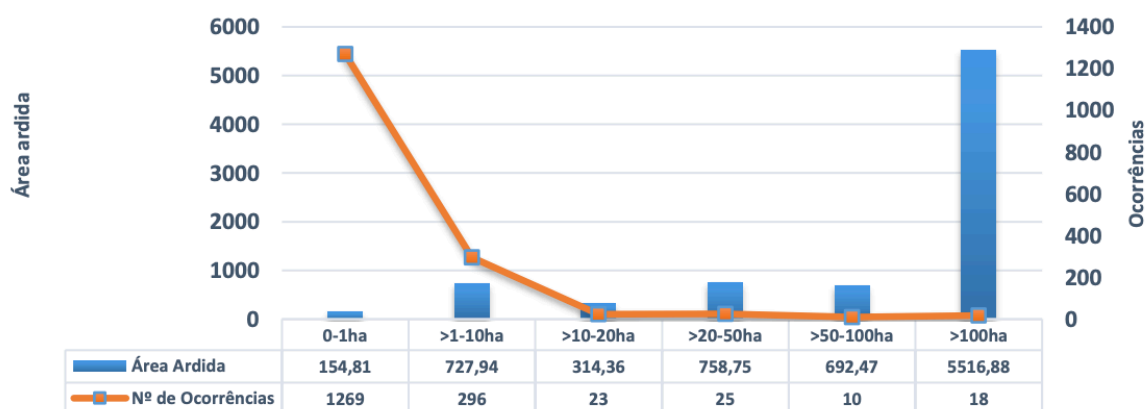


Figura 12 - Distribuição da área ardida e do nº de ocorrências por classes de extensão no período de 2010-2019 [27]

Essa distribuição mostra a marca dominante dos incêndios rurais no Município de Baião, uma vez que cerca de 76,4% das ocorrências no período 2010-2019 resultaram de fogachos (≤ 1 ha) que, globalmente, foram responsáveis por 1,9% da área ardida total em 10 anos (154,8

ha). Por outro lado, apenas 1,1% das ocorrências resultaram em grandes incêndios (com extensões superiores ou iguais a 100 ha) que foram responsáveis por cerca de 67,6% da área ardida total.

Estes valores evidenciam quanto é importante a primeira intervenção.

Grandes incêndios

Na Figura 13 apresenta-se a distribuição anual da área e do nº de ocorrências dos grandes incêndios (2010 -2019) no Concelho de Baião.

Verifica-se que estes se distribuíram pela maior parte dos anos do período em análise sendo expectável que se continue a manter uma média próxima dos 2 grandes incêndios por ano (superiores a 100 ha). Esta realidade tem causas estruturais relacionadas com o envelhecimento da população em Baião, a emigração, o abandono dos terrenos, intimamente ligado á diminuição progressiva das atividades agrícolas e silvo pastoris, para além de uma gestão florestal incipiente ou, mesmo, a falta dela.

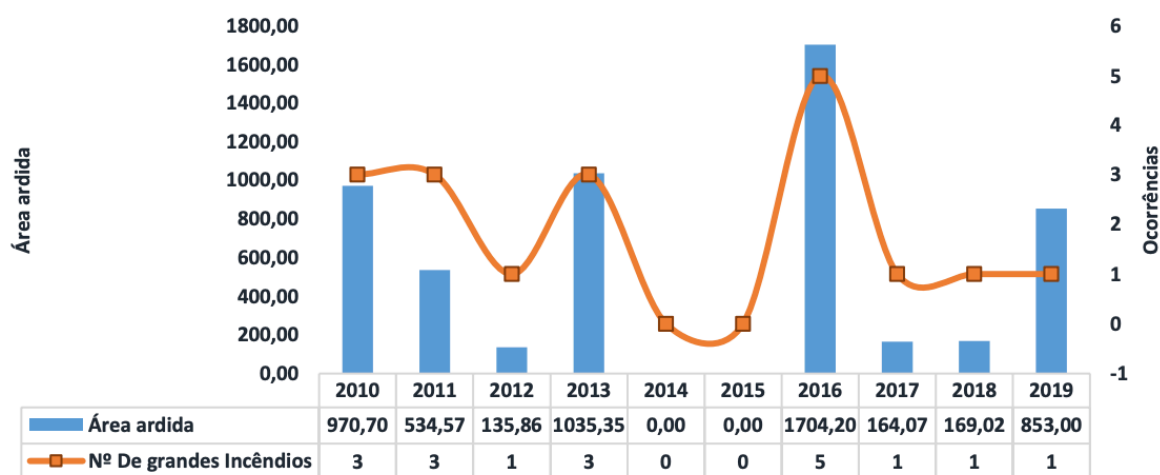


Figura 13 - Distribuição anual da área e do nº de ocorrências dos grandes incêndios (2010 - 2019) [27]

Este abandono dos terrenos agrícolas e florestais e o absentismo dos proprietários também levou a uma ausência de continuidade entre esses terrenos agrícolas e os florestais tornando-os solos assilvestrados – desaparecimento de interface com os aglomerados populacionais – com a acumulação de massa combustível (matos e lenhas), e a maior frequência e intensidade dos incêndios.

Igualmente existem áreas florestais com alguma extensão onde os declives das vertentes são acentuados e onde não existem descontinuidades que permitam a extinção dos incêndios pelas dificuldades de acesso e conseqüentemente no seu combate [27].

4. LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UMA UNIDADE DE BOMBEIROS E RESPECTIVA CAPACIDADE ENERGÉTICA DE COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS

4.1 TOMADA DE DECISÃO

A evolução da complexidade dos cenários, bem como aliada a uma melhor tecnologia leva a que a tomada de decisão aquando de uma ocorrência seja extremamente importante.

A equipa de primeira intervenção é constituída por cinco elementos, incluindo o chefe de equipa e o motorista.

O chefe de equipa do primeiro veículo a chegar ao local assume, de imediato, o comando das operações, dando assim início à organização mínima no Teatro de Operações (TO), permitindo estabelecer, desde logo, um sistema evolutivo de comando operacional. A posterior evolução do incêndio fará desenvolver, para fases superiores, o Sistema de Comando Operacional (SCO).

No que toca ao combate inicial a um incêndio florestal, duas ações são decisivas para impedir o seu desenvolvimento:

- Impedir a livre progressão da frente do incêndio;
- Atacar os flancos para reduzir a cabeça do incêndio.

O conceito fulcral é de que quanto mais pequeno é o foco de incêndio mais hipóteses há em o circunscrever e extinguir, seguindo a velha máxima de “uma fogueira apaga-se com um balde de água”.

Como regras gerais podem apontar-se:

- Atuação rápida e firme, sem perdas de tempo, tendo o cuidado de não descurar a segurança;
- Evitar que o incêndio se parta em várias frentes;
- Tentar sempre compreender o comportamento do incêndio para melhor o dominar.

Num incêndio nascente ou num de pequenas proporções, deve tentar quebrar-se o ritmo de progressão, atuando diretamente sobre a sua frente.

O método direto consiste em recorrer à tática ofensiva, sempre que possível na cabeça do incêndio, de modo a cortar, de imediato, o seu desenvolvimento. Se tal não for seguro e

possível, o ataque efetua-se da retaguarda, pelos flancos, na direção da frente principal, de modo a empurrar as chamas para onde for mais favorável, visando dominar e extinguir a frente do incêndio.

4.2 MEIOS DE COMBATE TERRESTRE E RESPECTIVA CAPACIDADE ENERGÉTICA

No que toca aos meios de combate terrestre, na unidade de Baião, tem-se os seguintes veículos (Tabela 4):

Tabela 4 - Caracterização dos meios de combate da Unidade de Baião

CLASSE	MARCA	ANO	Capacidade de água	Tipo de Serviço
VCOT-01	Land Rover	1998	-	Veículo de Comando
VCOT-03	Mazda	2007	-	Veículo de Comando
VFCI-02	Mercedes	1982	5.000L	Veículo Florestal de Combate a Incêndios
VFCI-03	Mercedes	1989	1.800L	Veículo Florestal de Combate a Incêndios
VFCI-04	M.A.N.	1993	3.000L	Veículo Florestal de Combate a Incêndios
VFCI-07	Renault	2012	3.500L	Veículo Florestal de Combate a Incêndios
VLCI-06	Land Rover	2001	600L	Veículo Ligeiro de Combate a Incêndios
VOPE-01	Mitsubishi	1992	500L	Veículo para Operações Específicas
VSAT-01	Mercedes	1999	-	Veículo de Socorro e Assistência Tático
VTTU-01	M.A.N.	2005	9.000L	Veículo Tanque Tático Urbano
VUCI-05	Mercedes	1995	3.000L	Veículo Urbano de Combate a Incêndios

Tendo em vista o uso dos mesmos para combate operacional a incêndios florestais, qualifica-se na Tabela 5 - Energia térmica total da Unidade de Bombeiros de Baião a capacidade, bem como o valor energético que são capazes de suprir.

No caso da capacidade energética efetiva advém da combinação do calor específico com calor latente de vaporização. No que toca aos incêndios, deve-se ter em conta três fases para cálculo da capacidade energética de 1 kg de água:

- Aquecimento da água dos 18 (considerada a temperatura no depósito) até aos 100 °C - 343 kJ/kg;
- Calor latente de vaporização – 2 257 kJ/kg;
- Aquecimento do vapor de água dos 100 até aos 300 °C, considerada a temperatura dos gases do fogo - 818 kJ/kg;

Isto significa que 1 kg de água terá a capacidade de absorver, em termos totais, 3,4 MJ de calor.

Tabela 5 - Energia térmica total da Unidade de Bombeiros de Baião

Veículo	Combate ativo	Litros	Capacidade Energética Efetiva (MJ) (com rendimento de 0,7)	Tempo de combate (s) (7 kg/s)	Tempo efetivo de combate (s) (7 kg/s)
VFCI 2	Sim	5000	11900	714	643
VFCI 3	Sim	1800	4284	257	231
VFCI 4	Sim	3000	7140	429	386
VFCI 7	Sim	3500	8330	500	450
VLCI 6	Sim	600	1428	86	77.4
VOPE 1	Sim	500	1190	71	64
VTTU 1	Não	9000	21420	1286	1157

Numa perspetiva de tomada de decisão, um veículo VTTF, de apoio logístico, não poderá ser usado como combate se for sozinho, devendo o mesmo ser excluído da conta em relação a energia térmica total. Como comprovado por Penney [23], o rendimento da água como agente supressor baixa para os 0,7, significando que existirá no total da unidade de Baião disponível para o combate ativo a um incêndio florestal, com um único carregamento em quartel 34 272 MJ de energia disponível de combate ativo. Desta tabela convém também salientar que o tempo efetivo de combate é baseado em 90% do tempo de combate a 7 kg/s, considerando fugas e possíveis insuficiências do mecanismo

4.3 RELAÇÃO DA ENERGIA COMPREENDIDA E MÉDIA DE ENERGIA TÉRMICA EM INCÊNDIOS

Seguindo o protocolo de tomadas de decisão descrito no capítulo 4.1.1, a brigada de primeira intervenção, a energia compreendida e enviada para a frente de fogo será correspondente à capacidade, em litros do veículo, multiplicado pela energia térmica e pelo rendimento do agente supressor, neste caso a água (com rendimento de 0.7)

Tendo por base a área ardida de povoamentos florestais referido em [27], por média de incêndio, 893 hectares de área ardida por ano, em 172 ocorrências médias significa que em média arderam 5,19 hectares por incêndio, o que é um valor muito elevado.

Mas atendendo a que em 76,4 % dos casos a área ardida é menor que 1 ha, isso deve-se a um ataque rápido ao fogo.

Efetivamente, os incêndios devem ser tratados numa fase inicial, sendo de interesse calcular a capacidade de supressão, com base no fluxo crítico de água e na reação inicial do fogo, uma vez que o mesmo não atinge por igual toda a sua dimensão por componente espontânea.

Neste caso tem de se usar a função para o fluxo crítico da água. Por base na equação 1, o objetivo deste cálculo vai ser determinar o fluxo.

Atribuindo o fluxo crítico de água de $7 \text{ Lm}^{-2}\text{s}^{-1}$, considerado quando em incêndios florestais como um jato eficaz para garantir o combate à distância, leva a que se possa calcular o fluxo de calor externo:

$$q''_E = \eta_a H_{lv} (CF - m''_{acr,0}) \quad (4)$$

Considerando os valores anteriormente referidos, o valor de fluxo externo fixa-se nos 16,63 MW.

Este valor transmite a dimensão de energia externa libertada numa condição de incêndio florestal, com combate a 7 kg/s.

Com base na tomada de decisão da unidade de bombeiros de Baião, onde independentemente da sua capacidade em litros, o veículo VFCI mais perto da saída é o que será lançado para a ocorrência. Como tal, para o caso de Baião, devemos ter em conta o VFCI com 1800 litros e com capacidade de 231 segundos de combate efetivo. Transformando isso

em energia de supressão: $16,63 \times 231$ (valor de segundos que o veículo VFCI com menor litragem consegue estar em combate direto a esta intensidade de fluxo) = 3841 MJ.

Este valor permite calcular o valor que a Unidade de Baião consegue suprimir num momento de primeiro ataque direto à ocorrência, tendo por base as medidas de tomada de decisão que não especificam qual dos VFCI's apresenta prioridade na saída para as ocorrências, revelando uma possível necessidade de ajuste nestas medidas, uma vez que esta unidade apresenta um VFCI com menor litragem que a indicada por lei .

Para um maior controlo e detalhe da Unidade de Bombeiros de Baião, os veículos podem também estar classificados consoante a área de incêndio (A) que conseguem suprimir (em hectares). O valor, para cada veículo, é calculado através da equação 5 (com base em [28]), apresentando-se os resultados na tabela 6.

$$A = \frac{E}{\rho V PCI} \quad (5)$$

A diferença substancial que a VFCI 3 apresenta em comparação com a VFCI 2, demonstra a importância da revisão desta forma de tomada de decisão para prevenir possíveis falhas de capacidade aquando de um incêndio florestal de elevada frente de fogo inicial.

Tabela 6 - Capacidade de hectares suprimidos por VFCI

Veículo	Capacidade (L)	Tempo efetivo de combate a 7 kg/s (s)	Energia suprimida (kJ)	Área de capacidade de supressão (ha)
VFCI 2	5000	643	$1,069 * 10^7$	9,58
VFCI 3	1800	231	$3,841 * 10^6$	3,44
VFCI 4	3000	386	$6,428 * 10^6$	5,75
VFCI 7	3500	450	$7,483 * 10^6$	6,71

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1 CONCLUSÕES

O problema dos incêndios florestais é extremamente complexo. Todos os anos os prejuízos são avultados e não será fácil combater o crescente absoluto destes números.

No entanto, é fundamental que os incêndios florestais sejam atacados numa primeira fase, antes de atingirem proporções onde o combate direto deixa de ser plausível. Não sendo possível neste trabalho determinar com exatidão a carga inicial em cada incêndio florestal, pode-se sim entender, consoante os registos históricos da região e a capacidade de cada quartel, em brigadas de primeira intervenção, a capacidade de supressão dos meios de combate.

Esta capacidade de uma primeira intervenção mais rápida e coordenada, em conjunto com a análise de terrenos e autonomia permitirá uma maior autonomia e resposta de cada Unidade de Bombeiros ao flagelo cada vez maior dos incêndios florestais,

Mesmo desprezando várias condicionantes como o terreno ou condições meteorológicas, é extremamente importante ter-se uma noção do VFCI a ser utilizado aquando de uma ocorrência específica. Os incêndios florestais devem ser tratados numa fase de ataque inicial, sendo, portanto, de extrema relevância definir a capacidade energética de cada meio de combate, para uma mais correta avaliação dos meios de combate a utilizar para cada momento específico.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro seria importante uma caracterização e formulação de um modelo matemático que, em conjunto com a capacidade energética dos meios de cada quartel, permita a escolha de que meios de combate devem ser alocados a cada ocorrência, tendo em conta registos de geolocalização, meteorologia e combustível. Esta forma de interpretar os resultados será benéfica para uma melhor escolha no momento mais importante de cada ocorrência, o ataque inicial.

Algo que possivelmente poderia também ser alvo de melhoria seria a tomada de decisão, uma vez que com uma tão grande disparidade em termos de litragem dos veículos de combate a incêndios florestais pode levar a um conjunto de decisões extremamente díspar e que acarreta elevado risco para uma defesa do ZIF de forma correta, uma vez que uma

ocorrência pode precisar de um VFCI de maior litragem, mesmo num ataque inicial, sendo que a arbitrariedade da escolha leva a que possa correr perigo de receber um veículo que não se enquadre nas necessidades. Um modelo de decisão pode, portanto, ser desenvolvido para ajudar a melhorar a atual tomada de decisão.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Thompson *et al.*, «Risk Management and Analytics in Wildfire Response».
- [2] Proteção Civil- Portugal, «Diretiva Operacional Nacional nº 2-DECIR 2021», 2021. [Em linha]. Available: www.prociv.pt
- [3] C. N. de Emergência e Proteção Civil, «Diretiva Operacional Nacional nº2 – Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Rurais». Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil.
- [4] B. Baião, «Voluntariado Bombeiros Voluntários Baião», Out. 2022. <https://baiao1334.wixsite.com/bvbaiao/voluntariado> (acedido Out. 12, 2022).
- [5] S. David e R. Martins, «Incêndios Florestais: Comportamento, Segurança e extinção», Master's, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 2010.
- [6] A. Nunes, L. Lourenço, A. Bento-Gonçalves, e A. Vieira, «Cadernos de Geografia», *FLUC*, vol. 32, pp. 133–143, 2013.
- [7] G.-O. F. Aviña *et al.*, «Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes de Fogo no Mundo Mediterrâneo», *Carbon Restoration Ecology*, vol. 8, n. 4, pp. 394–407, 2008.
- [8] A. Bento Gonçalves, «O passado esquecido dos incêndios florestais em Portugal», *Fundação Francisco Manuel dos Santos*, 2021. <https://florestas.pt/comentarios/o-passado-esquecido-dos-incendios-florestais-em-portugal/> (acedido Dez. 05, 2022).
- [9] Direção Nacional de Gestão do Programa de Fogos Rurais, «1º Relatório Provisório de Incêndios Rurais», Jul. 2021.
- [10] República Portuguesa, «Incêndios Rurais e Turismo-Autoproteção e Segurança; Manual de Apoio à Formação Contínua», 2021.
- [11] Escola Nacional Bombeiros, «Manual de Combate a Incêndios Florestais para equipas de primeira intervenção», 2006.
- [12] D. Prieto Herráez, M. I. Asensio Sevilla, L. Ferragut Canals, J. M. Cascón Barbero, e A. Morillo Rodríguez, «A GIS-based fire spread simulator integrating a simplified physical wildland fire model and a wind field model», *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 31, n. 11, pp. 2142–2163, Nov. 2017, doi: 10.1080/13658816.2017.1334889.

- [13] N. Grancho, «Origem e Evolução Recente dos Sistemas de Informação Geográfica em Portugal», Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.
- [14] D. Crawl, J. Block, K. Lin, e I. Altintas, «Firemap: A Dynamic Data-Driven Predictive Wildfire Modeling and Visualization Environment», *Procedia Comput Sci*, vol. 108, pp. 2230–2239, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROCS.2017.05.174.
- [15] M. M. Valero, O. Rios, C. Mata, E. Pastor, e E. Planas, «An integrated approach for tactical monitoring and data-driven spread forecasting of wildfires», *Fire Saf J*, vol. 91, pp. 835–844, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.FIRESAF.2017.03.085.
- [16] D. Prieto Herráez, M. I. Asensio Sevilla, L. Ferragut Canals, J. M. Cascón Barbero, e A. Morillo Rodríguez, «A GIS-based fire spread simulator integrating a simplified physical wildland fire model and a wind field model», *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 31, n. 11, pp. 2142–2163, Nov. 2017, doi: 10.1080/13658816.2017.1334889.
- [17] A. E. Akay, İ. R. Karaş, e İ. Kahraman, «Determining the locations of Potential Firefighting teams by using GIS Techniques», *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII, n. 4/W9, 2018, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-83-2018.
- [18] R. Abreu, «O Contributo dos SIG aplicados aos Planos de Coordenação para Eventos de Nível Municipal: As Festas de Vizela 2018», Porto, Jun. 2018.
- [19] M. Saramagaio, «Sistema Informático para Gestão de Operações de Proteção civil- Aplicações móveis de apoio à gestão», Lisboa, 2019.
- [20] Esri, «Portugal GIS Case Study | About Esri in Europe». <https://www.esri.com/en-us/about/about-esri/europe/case-studies/portugal-case-study> (acedido Out. 29, 2022).
- [21] D. Patrascu, «Fire Truck History». <https://www.autoevolution.com/news/fire-truck-history-7249.html> (acedido Out. 30, 2022).
- [22] República Portuguesa, «Diário da República, 2.^a série-N.º 107-3 de junho de 2016», Jun. 2016.
- [23] G. Penney, D. Habibi, M. Cattani, e M. Carter, «Calculation of critical water flow rates for wildfire suppression», *Fire*, vol. 2, n. 1, pp. 1–12, Mar. 2019, doi: 10.3390/fire2010003.

- [24] G. Grant, J. Brenton, e D. Drysdale, «Fire suppression by water sprays», *Prog Energy Combust Sci*, vol. 26, n. 2, pp. 79–130, 2000, doi: 10.1016/S0360-1285(99)00012-X.
- [25] C. Baião, «Juntas de Freguesia», 2022. <https://www.cm-baiiao.pt/municipio/juntas-de-freguesia/> (acedido Out. 12, 2022).
- [26] C. Baião, «Mapa topográfico Baião», 2022. <https://pt-pt.topographic-map.com/maps695k/Bai%C3%A3o/> (acedido Out. 12, 2022).
- [27] Comissão Municipal de Defesa da Floresta, «Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios 2021-2030», 2022.
- [28] J. Timcheck, «The energy in Wildfires:The Western United States», *Stanford*, Mai. 26, 2018. <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/timcheck1/> (acedido Out. 31, 2022).