



LABORATÓRIO COLABORATIVO

PARA GESTÃO INTEGRADA DA FLORESTA E DO FOGO



CENTRO DE ESTUDOS SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS
ASSOCIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA AERODINÂMICA INDUSTRIAL
LABORATÓRIO ASSOCIADO DE ENERGIA, TRANSPORTES E AERONÁUTICA

Planeamento da gestão de combustíveis

Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária



FICHA TÉCNICA

Título

Planeamento da gestão de combustíveis
Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Projeto ForestWISE nº

P32100231

Cliente

AGIF, I.P. – Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais, no âmbito da aquisição de serviços de investigação e desenvolvimento CEXC/09CE-SGPCM/2020

Direção de Projeto

Paulo Fernandes (ForestWISE)
Arlindo dos Santos (AGIF)

Gestão de Projeto

Rui Pinto (ForestWISE)

Equipa Técnica (Autoria)

Luis Mário Ribeiro (Coordenação)
Miguel Almeida
Domingos X. Viegas
Daniela Alves
Thiago Barbosa
Mohammadreza Modarres

Citação recomendada

Ribeiro L. M., Almeida M., Viegas D. X., Alves D., Barbosa T. e Modarres M. (2021). Planeamento da gestão de combustíveis. Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária. ForestWISE (Coord.) - Projetos AGIF 2021 (P32100231), Vila Real, 160 pp.



Dezembro 2021



Índice Geral

Declaração de exoneração de responsabilidade	9
Sumário Executivo	11
1.Introdução.....	15
2.Objetivos e metodologia	17
3.A Interface Urbano Florestal.....	20
3.1 Programas de referência de envolvimento das comunidades.....	23
4.Análise histórica do impacto do fogo nas estruturas	29
4.1 Portugal	29
4.1.1 Pedrógão Grande, junho de 2017	29
4.1.1.1 A ignição	29
4.1.1.2 Os acidentes pessoais	30
4.1.1.3 O impacto nas estruturas	31
4.1.1.4 Incêndios de 15 de outubro de 2017.....	35
4.1.1.5 Os incêndios.....	35
4.1.1.6 O impacto nas Zonas Industriais.....	36
4.2 Estados Unidos da América	38
4.2.1 Grass Valley, outubro de 2007	39
4.2.2 Fourmile Canyon, setembro de 2010	40
4.2.3 Waldo Canyon, junho 2012	42
4.2.4 Roaring Lion, julho de 2016	43
4.2.5 Os incêndios da Califórnia entre 2013 e 2018.....	44
4.3 Austrália.....	45
4.3.1 Ash Wednesday, fevereiro de 1983.....	45
4.3.2 Canberra, janeiro de 2003	46
4.3.3 Black Saturday, fevereiro 2009.....	48
4.4 Canadá.....	50
4.4.1 Okanagan Mountain Provincial Park, agosto de 2003	50

4.4.2 Flat Top Complex, maio de 2011	52
4.4.3 Fort McMurray (Horse River Fire), maio de 2016	53
4.5 Grécia.....	55
4.5.1 Artemida, agosto de 2007	55
4.5.2 Attica, julho de 2018.....	55
5.A gestão de combustíveis na IUF – práticas e legislação internacionais	59
5.1 Práticas legais seguidas em França	59
5.1.1 Considerações gerais	59
5.1.1.1 Ónus das operações de gestão de combustíveis.....	59
5.1.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis.....	60
5.2 Práticas legais em Itália	60
5.2.1 Considerações gerais	60
5.2.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis – Sardenha	60
5.3 Práticas legais na Grécia	61
5.3.1 Considerações gerais	61
5.3.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis.....	61
5.4 Práticas legais na Austrália	61
5.4.1 Considerações gerais	61
5.4.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis (Victoria).....	62
5.5 Práticas legais nos Estados Unidos.....	62
5.5.1 Considerações gerais	62
5.6 Análise comparativa das várias definições regulamentares ou normativas seguidas em diversos países	63
6.O conhecimento científico atual acerca do impacto do fogo na IUF	65
6.1 A intensidade do fogo em diferentes tipos de combustível e topografia	65
6.2 Vulnerabilidade das estruturas e mecanismos de ignição.....	70
6.3 Comportamento do fogo em função do ambiente do fogo.....	76
6.4 Dinâmica da vegetação	84
6.4.1 Vegetação herbácea	85
6.4.1.1 Parâmetros estudados.....	86
6.4.1.2 Parâmetros de controle.....	87
6.4.1.3 Resultados	88
6.4.2 Vegetação arbustiva (mato)	97

6.5 Rede viária, ferroviária, gasodutos ou linhas de energia elétrica (ou outras infraestruturas lineares)	100
6.5.1 Rede viária	100
6.5.2 Linhas férreas	101
6.5.3 Infraestruturas de transporte e distribuição de energia elétrica e de gás	102
6.5.3.1 Linhas elétricas	102
6.5.3.2 Gasodutos.....	103
7.A planificação da gestão de combustíveis na IUF	105
7.1 Frequência da gestão	108
7.1.1 Recomendações.....	108
7.2 Dimensões das faixas de gestão.....	111
7.2.1 Recomendações.....	111
8 Sessões de auscultação a entidades.....	121
9 Caminhos para a inovação	123
10 Conclusão.....	125
11 Agradecimentos.....	130
12 Referências.....	132
Anexo 1- Respostas aos questionários participativos	146

Declaração de exoneração de responsabilidade

O presente documento foi realizado com base em pesquisa bibliográfica de trabalhos e outros documentos de referência. Os autores utilizaram as suas melhores competências e a experiência de largos anos de investigação na temática dos incêndios florestais para abordar os assuntos aqui expostos.

São apresentadas sugestões de adequação das dimensões das faixas de gestão de combustíveis da Rede Secundária e da frequência das intervenções associadas, devidamente fundamentadas na bibliografia técnica e científica mais recente e reconhecida pelos pares. No entanto, reconhece-se que o aumento ou diminuição da dimensão das faixas, ou da frequência da gestão dos combustíveis, por si só, não são garantia absoluta de segurança das pessoas ou das estruturas.

Não poderão ser assacadas aos autores quaisquer responsabilidades pelo uso da informação aqui contida, nem pela implementação das sugestões aqui apresentadas.

Sumário Executivo

Apresenta-se neste documento o estudo intitulado “Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária”, cujo objetivo é apoiar técnica e cientificamente a revisão das estratégias de gestão na Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustíveis.

Faz-se uma revisão sobre o conhecimento científico mais atual em termos de Interface Urbano-Florestal (IUF) e do impacto do fogo nas comunidades e estruturas/infraestruturas. Apresentam-se diversos casos de estudo de incêndios na interface urbano-florestal, em países com realidades semelhantes à portuguesa, de onde podem ser tiradas inúmeras lições. Apresenta-se também um conjunto de ideias e sugestões acerca da planificação da gestão de combustíveis ao longo das estruturas/infraestruturas associadas à Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustíveis, nomeadamente no que se refere à frequência com que devem ser executadas e às dimensões mais apropriadas. O critério principal que prevaleceu na nossa análise foi sempre o do comportamento expectável do fogo nas imediações destas estruturas.

Identificamos em seguida os pontos chave que nos merecem destaque desta análise, obviamente sem o detalhe apresentado nos respetivos capítulos:

- Vários países com problemas de incêndios na IUF têm programas fortes de incentivo e sensibilização e treino relativamente à gestão de combustíveis, ao invés de os impor através de legislação.
- Existem programas de referência a nível internacional, como o *Firewise* e o *Firesmart* que utilizam o conceito de *Home Ignition Zone*, ou *HIZ*, (Zona de Ignição da Casa, ou simplesmente Espaço Defensável) para simplificar o processo de gestão de combustíveis.
- A HIZ prevê três zonas de atuação, a contar da estrutura para o exterior: a primeira pretende criar uma separação física entre vegetação e estrutura, a segunda limitar a progressão do fogo e a sua intensidade através da gestão total de combustíveis e a terceira aumentar a probabilidade de as casas resistirem a um incêndio florestal, tal como as anteriores, e ao mesmo tempo melhorar a segurança e eficácia das forças de combate que necessitem de as defender, através da quebra de continuidade horizontal e vertical da vegetação.
- O facto de um incêndio florestal atingir uma zona de IUF, não significa necessariamente que irá provocar a destruição das estruturas que ali se localizem. O grau de dano, ou a sua ausência, não é determinada apenas pelo comportamento geral do fogo ou pela distância das projeções de partículas incandescentes, mas está dependente de um conjunto de fatores, fundamentalmente relacionados com a resistência da estrutura, a sua manutenção, o espaço envolvente à mesma, a existência de sistemas ativos ou passivos de defesa e até a capacidade de atuação do proprietário ou de outras pessoas, incluindo os Bombeiros, que possam estar presentes.
- Na preparação do espaço defensável, a gestão de combustíveis deve contemplar a totalidade da área envolvente à edificação. A gestão de combustíveis parcial, por exemplo apenas num dos lados, tem um efeito muito reduzido ou nulo no impacto do fogo na estrutura.
- Sempre que a largura da FGC extravase os limites da propriedade de implantação do edifício, sugerimos que seja o proprietário do edifício a acarretar com a responsabilidade e as despesas das operações de gestão, mesmo que parte da FGC intercete outra propriedade que não seja da sua pertença, salvo quando o titular do terreno vizinho não permitir que estas operações sejam efetuadas por outrem no seu terreno. Em caso de sobreposição de necessidades de FGC, os custos das operações de gestão deveriam ser repartidos em razão da proporção de área a gerir.
- Tendo em conta a dificuldade em assegurar uma gestão continuada de combustíveis em toda a extensão da rede secundária, e para facilitar a gestão de combustíveis pelos privados, sugere-se a criação de uma figura semelhante à existente em França, as “associações livres de proprietários” que num regime de cooperação asseguram a gestão de combustíveis dos imóveis dos seus associados.

- Não encontramos evidência técnica ou científica que justifique grandes espaçamentos entre copas de árvores, por exemplo os 10m aplicados ao pinheiro bravo e ao eucalipto. Sugerimos que estes critérios sejam revistos.
- Na maioria dos casos de estudo apresentados a destruição de casas não está associada a comportamento extremo do fogo diretamente na IUF, mas antes a fogo de superfície em conjunto com as projeções que podem viajar dezenas, centenas ou milhares de metros. A deposição de fagulhas em partes sensíveis das estruturas ou em acumulações de combustíveis encostadas a elas ou nos telhados é na realidade o principal método de ignição de edificações.
- Na análise a mais de 40.000 casas afetadas por incêndios na IUF, na Califórnia, praticamente todas as estruturas que foram registadas com um espaço defensável superior a 30m foram destruídas. Tal sugere que a sobrevivência não está garantida quando o espaço defensável é muito grande, e que provavelmente é mais importante o espaço mais próximo das casas. A maioria das casas arde por deposição de partículas incandescentes que normalmente foram originadas fora do espaço defensável.
- A dimensão atual da faixa de gestão nas edificações aparenta ser excessiva, e não encontramos suporte técnico ou científico que justifique a adoção de mais de 30m de faixa.
- Se pretendêssemos dimensionar as faixas de gestão de combustíveis para o pior cenário, teríamos que gerir vegetação numa largura de muitas dezenas ou mesmo centenas de metros em quase toda a extensão da rede secundária, independentemente de se tratar de estruturas/infraestruturas pontuais, poligonais ou lineares, o que não é viável.
- As melhores práticas internacionais, bem como a análise da literatura científica e técnica, levam-nos a sugerir a adoção do conceito de zonamento, à semelhança da referida HIZ, para o espaço envolvente às estruturas. Sugerimos a adoção de 3 zonas, cujas dimensões e critérios de gestão são variáveis em função da tipologia de estrutura e do declive.
- A eliminação física do combustível nos primeiros 1,5m a 2m contíguos às paredes, diminui muito a probabilidade de ignição.
- O estabelecimento de uma distância mínima, não inferior a 3m, entre as construções e as sebes vivas constituídas por espécies mais inflamáveis (conforme as referências aqui apresentadas dos projetos WUIVIEW e House Refuge).
- As estruturas podem entrar em ignição horas depois de o fogo passar, caso o espaço defensável não esteja bem gerido e não exista esta separação física entre a estrutura e os combustíveis.
- Pelo menos para as edificações que se encontrem nas proximidades de espaços florestais, ou rurais (por exemplo até 1 km), onde a possibilidade de ocorrência de incêndios é real, recomenda-se a adoção de boas práticas na construção, a manutenção da faixa perimetral de 1,5m a 2m e até a boa seleção de espécies de jardim, para todos, não distinguindo entre edificações isoladas, na periferia ou no interior dos aglomerados.
- É importante promover o aumento da resistência estrutural das edificações, que deve seguir um conjunto de boas práticas, por exemplo usando materiais resistentes ao fogo, proteções anti fagulha em respiradouros ou outras aberturas, janelas de vidro duplo complementadas com persianas de alumínio ou outro material ignífugo, etc. Fazemos aqui referência ao estudo que o ForestWISE se encontra a realizar intitulado “*Regras para o edificado e envolvente nos territórios rurais*”, que, à semelhança deste, será entregue à AGIF oportunamente.
- Várias instalações industriais originam um tipo específico de IUF, onde as vulnerabilidades são potencialmente maiores e os prejuízos associados às perdas também. Nestas zonas deve ser promovida a melhoria da proteção das edificações: incorporação de materiais resistentes ao fogo, diminuição dos pontos vulneráveis, eliminação de acumulação de materiais combustíveis no espaço contíguo, instalação de medidas ativas e/ou passivas de mitigação do risco de incêndio.

- A simulação do comportamento do fogo sugere que a topografia deve influenciar a dimensão das faixas de gestão de combustíveis, usando como limiar um declive de 20%. Acima deste valor a dimensão da faixa de gestão deve ser reforçada na encosta ascendente, ou seja, por baixo das estruturas, assumindo uma propagação do fogo “a subir a encosta” em direção às mesmas. Do mesmo modo pode ser diminuída na descendente, ou seja, por cima das estruturas, assumindo uma propagação do fogo “a descer a encosta” em direção às mesmas.
- Nas infraestruturas lineares associadas à rede viária, em especial na Rede Municipal, admitimos a dificuldade em cumprir a legislação na sua totalidade, pelo que aceitamos que, para declives menores que 20%, a dimensão da faixa de gestão possa ser reduzida a metade, dependendo do índice de perigosidade conjuntural de incêndio da região.
- O mesmo pode ser aceitável para as situações em que nas imediações da rede viária existam usos do solo que limitam a progressão do fogo, por exemplo, a grande maioria dos terrenos agrícolas, pomares com gradagens ou qualquer uso artificial. Nestes casos as FGC podem limitar-se a cumprir a função de promoção da segurança rodoviária e minimização da probabilidade de ignições causadas pelos utilizadores.
- Já nas infraestruturas ligadas às redes de transporte e distribuição de energia elétrica, a função das FGC é proteger a própria infraestrutura e evitar ignições, havendo critérios como a proximidade de árvores aos cabos, que não nos permitem sugerir alterações de melhoria que não seja fazer equiparar a Faixa de Servidão/Proteção destas infraestruturas às FGC. No entanto é fundamental o cumprimento da legislação existente.
- Na rede de transporte de gás, a FGC serve sobretudo o propósito de sinalização do seu traçado, e também não se nos oferece sugerir qualquer alteração que não seja equiparar a FGC à respetiva Faixa de Servidão/Proteção da infraestrutura. No entanto é fundamental o cumprimento da legislação existente.
- A gestão de combustíveis é especialmente necessária em terrenos ocupados com mato, cuja combustão exhibe um comportamento muito mais intenso do que em terrenos com herbáceas ou folhada de povoamentos, sobretudo se se encontrarem sob coberto de arvoredo.
- A gestão da vegetação herbácea devia idealmente ser feita em função da pluviosidade observada na primavera, podendo o limite temporal ser estendido em anos com pluviosidade tardia acentuada, ou encurtado em anos com períodos de seca na primavera que façam antever uma antecipação dos dias de risco de incêndio elevado.
- Para manter o comportamento expectável do fogo em níveis compatíveis com a capacidade de controlo, sugerimos que a carga arbustiva se mantenha em valores inferiores a 8-10 t/ha. Tal sugere que, a manter os 0,5m de altura máxima, não haja continuidade horizontal e que os ciclos de corte sejam de 2 a 4 anos.
- A gestão do coberto arbóreo não necessita de um ciclo definido, antes deve ser monitorizado e deve ser observada a legislação, caso exista, e as operações de corte e desrama, quando aplicáveis, efetuadas em consonância com a mesma ou com os critérios existentes de prevenção de incêndios na interface urbano florestal.
- Devia ser incentivado o uso de sistemas ativos ou passivos de autodefesa em estruturas ou infraestruturas críticas ou estratégicas, ou de interesse especial, por exemplo, torres de telecomunicações, estações ou subestações de distribuição de energia, polígonos industriais, áreas de serviço das autoestradas e itinerários principais.

1. Introdução

O presente relatório documenta os resultados do projeto “*Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária*”, objeto de um contrato estabelecido entre o Laboratório Colaborativo ForestWISE e a Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais.

O Decreto-Lei 124/2006, de 28 de junho, com todas as suas posteriores alterações, estabelece as medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, onde se inclui a largura das faixas de gestão de combustíveis na envolvente dos elementos que fazem parte da Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustíveis. Atualmente a dimensão destas faixas é definida apenas pelo tipo de elemento exposto, não tendo em consideração o seu enquadramento paisagístico, nomeadamente no que respeita às suas características orográficas, entre outros critérios, como apresentado em Viegas *et al.* (2020). Desta forma, as dimensões exigidas poderão ser excessivas em determinadas situações, mas também insuficientes noutras. Acresce que, desde 2006, se verifica que a taxa de cumprimento do referido diploma, no que respeita a efetiva gestão de combustíveis na rede secundária, é bastante baixa, sendo fácil observar ao longo de todo o território nacional continental, situações de claro incumprimento, como por exemplo em torno de habitações, ao longo das margens das estradas, entre vários outros exemplos que poderiam ser referenciados. Este facto demonstra que, pelo menos neste tema em concreto, as disposições deste decreto-lei carecem de alterações porque não tem vindo a ter a eficácia necessária.

Foi com base nesta premissa que a Agência de Gestão Integrada de Fogos Rurais (AGIF) procurou junto do Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (ForestWISE), apoio para a análise dos atuais critérios de gestão, nomeadamente no que diz respeito à dimensão das faixas de gestão de combustíveis e à periodicidade da gestão, bem como para a apresentação de fundamentação técnico-científica para uma eventual mudança. Estas eventuais alterações, caso sejam tidas como pertinentes, serão contempladas no novo Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR) no território continental, que se traduzirá numa mudança significativa relativamente ao Decreto-Lei nº 124/2006.

Fazemos notar que o presente trabalho foi realizado antes da publicação do DL 82/2001, que estabelece o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais no território continental e define as suas regras de funcionamento. Apesar de as referências à gestão de combustíveis nesta rede não serem aqui muito diferentes, a análise e discussão do conjunto de alterações e disposições do SGIFR sai do âmbito do presente trabalho.

2. Objetivos e metodologia

O objetivo deste trabalho consiste na produção de documentação que permita apoiar a revisão das disposições referentes à Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustíveis do Decreto-Lei nº 124/2006, nomeadamente respondendo às questões colocadas pela Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais (AGIF):

1. Qual a dimensão mínima ou aconselhada das redes secundárias de faixas de gestão de combustível?
2. Qual a frequência da gestão de combustíveis que deve ser exigida considerando o tipo de combustível florestal e as condições climatológicas locais?

Para obter a resposta a estas questões desenhou-se uma metodologia que assentou na análise do conhecimento adquirido e partilhado pela comunidade científica internacional, do conhecimento adquirido em trabalhos da nossa própria equipa, da observação das melhores práticas seguidas em países com realidades semelhantes a Portugal Continental e da experiência acumulada desde a entrada em vigor do referido decreto-lei. Para o efeito, desenvolveu-se uma série de tarefas, descritas na proposta de trabalho, que incidem nos seguintes tópicos e que se encontram relacionadas com as secções deste documento:

1. Revisão bibliográfica sobre o problema da Interface Urbano Florestal (IUF) e conceitos associados (**Capítulo 3**).
2. Análise histórica de casos reais em alguns dos principais países que sofrem regularmente o impacto dos incêndios florestais, incidindo em eventos em que estes atingiram zonas de IUF, provocando danos em estruturas ou infraestruturas (**Capítulo 4**).
3. Análise das práticas de gestão seguidas noutros países com realidades semelhantes a Portugal Continental (**Capítulo 5**).
4. Análise do estado da arte científico acerca do impacto do fogo nas estruturas (**Capítulo 6**).
5. Análise da planificação da gestão de combustíveis na IUF (frequência e dimensões) (**Capítulo 7**).
6. Auscultação das principais instituições envolvidas na temática (**Capítulo 8**).

Pretende-se fundamentalmente que este trabalho exponha as melhores práticas relativas a dimensões e frequência de gestão de combustíveis na rede secundária, por forma a possibilitar a criação de um instrumento de apoio à gestão que evidencie de forma simples as regras a implementar. Espera-se que estas regras sejam um contributo para a definição de políticas e de legislação que ajude a mitigar os impactos dos incêndios florestais, sobretudo nas zonas de interface urbano-florestal.

3. A Interface Urbano Florestal

O problema da Interface Urbano Florestal, ou abreviadamente IUF, tem tido uma importância crescente um pouco por todo o Mundo, sobretudo nos países que, à semelhança de Portugal, sofrem com o problema dos incêndios florestais ou rurais. A sua importância tem-se manifestado ano após ano, mas esteve mais vinculada no fatídico ano de 2017, sobretudo nos incêndios de junho (Pedrógão Grande) e de outubro. Diversos investigadores produziram na altura dois relatórios, por solicitação do Ministério da Administração Interna (MAI) do XXII Governo da República Portuguesa, onde analisaram em detalhe esses eventos (Viegas *et al.*, 2017; Viegas *et al.*, 2019). No primeiro destes relatórios, intitulado “*O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*”, apresentou-se uma descrição muito pormenorizada da IUF e dos conceitos a ela associados. Baseando-nos nessa descrição, transcrevemos aqui os pontos que nos parecem mais importantes para o trabalho agora reportado.

A IUF pode ser simplesmente definida como sendo o espaço onde as estruturas e a vegetação coexistem, num ambiente propício aos incêndios (BRP, 2008), acrescentando-lhe ainda a componente da presença humana (Ribeiro, 2016), pois são sobretudo as pessoas que são afetadas. A definição original acrescenta um aspeto importante relacionado com a ignição, dizendo que “*(...) Para que isto aconteça, o fogo florestal deve estar suficientemente perto para que as projeções de partículas incandescentes ou as chamas possam contactar partes da estrutura*” (Butler, 1974). Esta definição, que foi a primeira registada, introduz desde a sua génese a ideia de que não é necessário que o fogo chegue a uma estrutura para que ela entre em ignição. Antes pelo contrário, como detalham inúmeros trabalhos (e.g. Cohen, 2000a, 2000b, 2008; Leonard & Bianchi, 2005; Leonard *et al.*, 2009; Maranghides *et al.*, 2015; Westhaver, 2017; Ribeiro *et al.*, 2020), são partículas incandescentes (fagulhas) vindas da frente de fogo que são responsáveis pela maioria das ignições em estruturas. Estas fagulhas depositam-se nos seus pontos vulneráveis, ou em combustíveis que lhes estão adjacentes (sejam naturais ou artificiais), provocando a ignição e por vezes destruição das mesmas. Quando o combustível principal do incêndio passa de vegetação natural para as estruturas podemos estar na presença de um processo que leve a uma sequência de desastre na IUF, conforme definido por Cohen, (2008) e esquematizado na Figura 1 (adaptada de Viegas *et al.*, 2017).

Uma outra diferenciação que importa fazer para este trabalho, resulta no que se entende no relatório por “estrutura” e “infraestrutura”. De forma geral, entendemos que uma estrutura é considerada um edifício ou um elemento estrutural de apoio/sustentação, considerado “isolado” de outros elementos (edificações na generalidade). Uma “infraestrutura” corresponde a um conjunto de elementos estruturais ou não, interligados, tais como: infraestruturas de transporte/distribuição de energia, redes de telecomunicações, rede viária e ferroviária, entre outras.

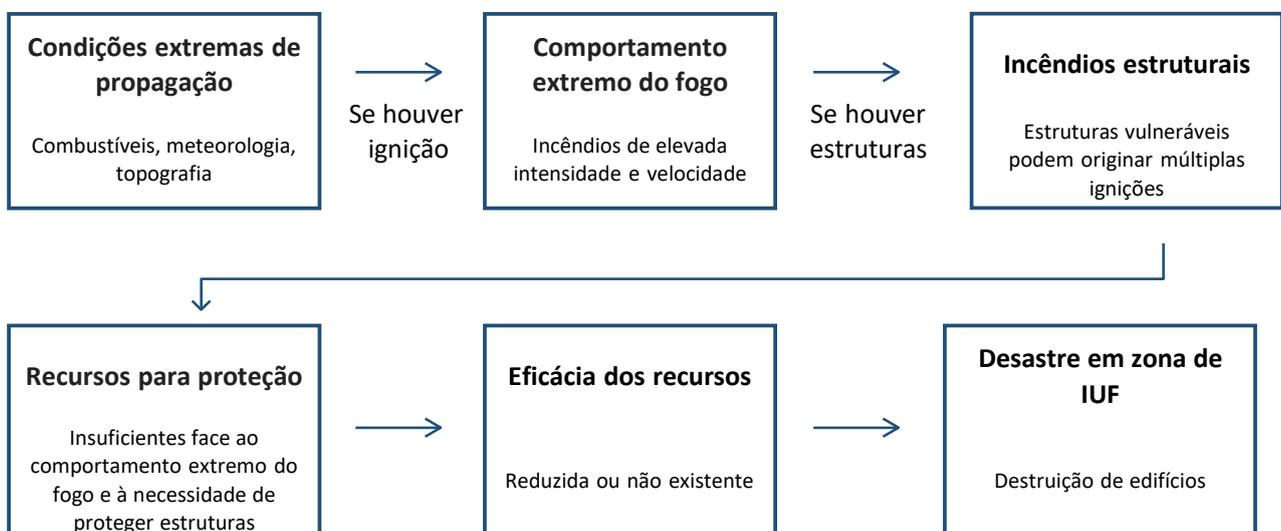


Figura 1. Sequência de desastre em zona de IUF, reproduzido originalmente em Viegas *et al.*, (2017) (adaptado de Cohen, 2008).

Na existência de condições extremas de propagação, esta sequência só pode ser interrompida se tiver havido uma atuação na modificação dos combustíveis (primeira etapa da figura) ou na resistência das estruturas, eliminando as suas vulnerabilidades (terceira etapa). Não é possível alterar as condições ambientais ou orográficas, nem é realista esperar que, em face a condições extremas de propagação, os recursos de proteção sejam alguma vez suficientes para acudir a todos os locais de ocorrência. Mesmo que atuando apenas na terceira etapa, se as estruturas tiverem resistência suficiente, com elevada probabilidade, não teremos um desastre (Graham *et al.*, 2012). Esta resistência não se limita à construção em si, mas também ao espaço envolvente. Ou seja, a vulnerabilidade das estruturas tem que ver não só com a estrutura em si e a sua facilidade de ignição, mas também com o que na literatura científica e técnica se designa por Home Ignition Zone (HIZ - Zona de Ignição da Casa ou Estrutura) (Cohen, 1995; Gollner *et al.*, 2015; Westhaver, 2016), relativa à envolvente próxima do edifício. Neste espaço envolvente incluem-se combustíveis naturais (plantas de jardim, acumulação de matéria vegetal, matas e povoamentos florestais circundantes, etc.) mas também combustíveis artificiais (depósitos de lenha, mobiliário de plástico ou de madeira, sobrados, alpendres, etc.).

É comum associar a passagem de um incêndio a destruição, mas como faz notar Cohen (2000b), “um incêndio avança como um processo contínuo de propagação, não como uma massa em movimento”. Fenómenos como avalanches, ou enxurradas, comportam-se como uma massa em movimento, que arrastam tudo à sua passagem. Já um incêndio propaga-se porque ao longo do seu caminho encontra as condições necessárias para a combustão. Tal é verdade num incêndio florestal, num incêndio estrutural ou num incêndio de interface. Este conjunto de ideias é fundamental para se entender que, o facto de um incêndio florestal atingir uma zona de IUF, não significa necessariamente que irá provocar a destruição de estruturas ou infraestruturas. O grau de dano, ou a sua ausência, está dependente de um conjunto de fatores, fundamentalmente relacionados com a resistência da estrutura/infraestrutura, a sua manutenção, o espaço envolvente à mesma, a existência de sistemas ativos ou passivos de defesa e até da presença de pessoas com capacidade física e mental para defender a estrutura do fogo. Quanto a este último aspeto, como se descreveu atrás, o principal fator potenciador de ignição é a deposição de fagulhas em pontos vulneráveis, pelo que se alguém (o proprietário ou um vizinho, por exemplo) estiver presente, salvaguardando obviamente a sua segurança, ele próprio poderá apagar pequenos focos que vão surgindo dentro ou nas imediações mais próximas da estrutura. É importante que nas decisões de evacuação seja ponderada a capacidade que os proprietários por vezes manifestam para defender o seu próprio espaço.

Focando-nos no espaço envolvente aos edifícios, a atual legislação portuguesa define-o de acordo com a ocupação do solo:

- uma faixa de largura não inferior a 50m medida a partir da alvenaria exterior da edificação, no caso de edifícios inseridos em espaço rural com ocupação de floresta, mato ou pastagem natural;
- uma faixa com o mínimo de 10m e o máximo de 50m (definida no Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios - PMDFCI), medida a partir da alvenaria exterior do edifício, em espaço com outras ocupações.

Já nos aglomerados populacionais, bem como nos parques de campismo, parques e polígonos industriais, plataformas de logística e aterros sanitários, inseridos ou confinantes com espaços florestais, esta faixa deverá ter uma largura mínima de 100m. Em Viegas *et al.* (2017) foram já feitas algumas considerações sobre o uso do termo “alvenaria”, pois existem hoje em dia muitos edifícios construídos com outros materiais. Referimos também que a investigação científica nesta área sugere que o potencial de ignição de uma estrutura está relacionado, além das suas próprias características, com uma faixa de 30m (100 pés no original) na sua envolvente (Cohen & Butler, 1996; Cohen, 2000a; Cohen, 2008; Mell *et al.*, 2010; Graham *et al.*, 2012). Os trabalhos de extensa simulação computacional e os ensaios de campo envolvidos (Cohen, 2004) nesta definição foram de uma importância extrema, pois constituíram-se como a base para a adoção de distâncias de gestão um pouco por todo o Mundo. Analisando o incêndio de Fourmile Canyon, Graham *et al.* (2012) chegaram à conclusão que muito dificilmente uma estrutura entrará em ignição por transferência de calor, i.e., excluindo os mecanismos associados à projeção de partículas incandescentes, de um fogo que esteja a mais do que aquela distância de 100 pés, que é assumida como a do “pior cenário”, mas para terreno plano ou com declive suave.

Para idênticas condições de combustíveis, quer a topografia, quer o vento, influenciam significativamente o comportamento do fogo, pelo que as considerações feitas atrás podem não se verificar para todos os cenários.

O cumprimento destas faixas de gestão à volta de edificações ou mesmo aglomerados populacionais tem sido, ao longo dos anos, reduzido. Gomes *et al.* (2020) realizaram um estudo onde foi efetuada uma caracterização do estado de gestão dos combustíveis naturais na envolvente imediata (<50m) às habitações isoladas em Portugal Continental. Esta avaliação, feita com base em imagens de satélite captadas nos meses de junho a outubro de 2018 a 2020 e para cenários tipificados de risco variando de “Baixo” a “Extremo”. Aquilo que se observou foi que a grande maioria das habitações se apresenta numa categoria de risco “Alto” e “Muito Alto”, num frequente incumprimento dos requisitos legais relativamente à gestão dos combustíveis e à separação entre a vegetação e a construção.

Quando falamos de IUF, referimos usualmente as estruturas, mas de forma mais abrangente incluímos outros elementos críticos e estratégicos, como antenas de telecomunicações ou outras infraestruturas lineares que também têm associadas medidas de gestão de combustíveis, como por exemplo:

- rede viária, rede ferroviária, linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão ou em alta tensão, com 10m para cada lado;
- linhas de distribuição de energia elétrica em média tensão, com 7m para cada lado;
- rede de transporte de gás natural, com 5m para cada lado.

As intervenções neste tipo de infraestruturas lineares têm objetivos um pouco diferentes das anteriores, nomeadamente as estruturas pontuais (e.g., casas) ou estruturas ou infraestruturas poligonais (e.g., aglomerados populacionais, estações de gás, subestações elétricas, etc.). Se numa casa ou estrutura, as pessoas podem estar protegidas, em diferentes graus, de acordo com o tipo de construção, nestas infraestruturas lineares, sobretudo as estradas e ferrovias, a proteção é reduzida, mesmo com as pessoas dentro de veículos. O estado da arte do conhecimento científico atual, no que diz respeito a distâncias de proteção para o ser humano (Butler, 2014; Page & Butler, 2017; Butler, 2018; Butler, 2020), prevê, para a maioria dos casos, distâncias de separação ao fogo muito superiores àquelas que atualmente são exigidas pela legislação Portuguesa. A Tabela 1 apresenta o método de cálculo mais recente, da bibliografia internacional, para a distância de segurança (SSD) a que uma pessoa deve estar do fogo, para evitar sofrer ferimentos graves ou morrer sem qualquer sistema auxiliar de proteção (adaptado de Butler, 2018).

Tabela 1. Cálculo da Distância de segurança (SSD) em função do declive, velocidade do vento e tipo de combustível (adaptado de Butler, 2018).

$$SSD \text{ (Safe Separation Distance) } = 8 \times \text{altura da vegetação} \times \Delta$$

Fator Declive-Vento (Δ)			
Velocidade do Vento (km/h)	Declive do terreno (%)		
	Plano (<15%)	15-30%	>35%
Fraca (0-10)	1/0.7/0.7	1/1/1	4/2/2
Moderada (10-25)	2/1/1	4/2/1	6/3/2
Forte (>30)	4/2/2	6/3/2	8/3/2

Combustível < 3m / 3m < Combustível > 15m / Combustível > 15m

Num exercício simples, considerando um cenário muito favorável (vento fraco, declive < 15%, combustíveis com 50cm), esta distância de segurança seria igual a 4m (8x0,5x1 m). Estas condições raramente são observadas, pois a acompanhar o fogo é usual existir vento, seja meteorológico seja induzido pelo próprio incêndio, mesmo em terreno plano. Com o vento a passar os 10 ou os 30 km/h, a distância, neste caso simplificado, duplicaria ou quadruplicaria, respetivamente. No outro extremo, num terreno com declive elevado (>35%), vento forte (>30 km/h) e mato ou pequenas árvores de 3m, a distância de separação seria de 192m (8x3x8 m).

O objetivo comum da gestão de combustíveis, em quase todas as infraestruturas lineares é a diminuição da probabilidade de ocorrência de ignições causadas, ou pelos utilizadores (redes viária e ferroviária), ou pelas infraestruturas em si (transporte ou distribuição de energia). Nestas últimas pretende-se também a proteção da própria infraestrutura. Na rede de transporte de gás o objetivo principal será a salvaguarda da infraestrutura, apesar de a maioria (ou talvez até a totalidade) da rede estar já enterrada. Na rede viária e ferroviária almeja-se ainda a diminuição da carga de combustível, que possa traduzir-se na diminuição da intensidade de um eventual incêndio, minimizando o seu impacto em quem por elas circula, se bem que, como vimos atrás, as distâncias praticadas aplicar-se-ão a um número reduzido de situações. Seria desejável criar algumas FGC com maior largura, que proporcionassem uma maior segurança aos utentes – pelo menos relativamente à radiação direta – em determinados troços das vias onde o volume de tráfego, as condições do terreno e a carga de combustível o sugerissem.

3.1 Programas de referência de envolvimento das comunidades

Como irá ser abordado no **Capítulo 5**, vários outros países, com problemas de incêndios na IUF, têm programas de incentivo à gestão de combustíveis, ao invés de os impor através de legislação. Apresentamos aqui os exemplos dos Estados Unidos (*Firewise*) e do Canadá (*Firesmart*), por conterem conceitos e ideias interessantes que eventualmente poderiam ter aplicação em Portugal.

Não podemos deixar de mencionar a existência, em Portugal, dos Programas “*Aldeia Segura*” e “*Pessoas Seguras*”, que estão bem documentados em “*Aldeia Segura Pessoas Seguras - Guia de Apoio à Implementação*”, produzido pela Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC, 2018) bem como do Programa “*Condomínio de Aldeias*”, ambos objeto de análise pelo Observatório Técnico Independente (2020) da Assembleia da República.

Firewise

O programa Norte Americano *Firewise USA*® oferece uma estrutura colaborativa para ajudar as populações que vivem em áreas propícias à ocorrência de incêndios florestais, a organizarem-se, a aumentarem a resistência à ignição das suas casas e da sua comunidade e a reduzirem os riscos de incêndio florestal a nível local (NFPA, 2021b). Este programa, que funciona na base de voluntariado de indivíduos e comunidades, distingue aqueles ou aquelas que cumprem com uma série de critérios de boas práticas de medidas de mitigação, atribuindo-lhes o galardão *Firewise*.

O *Firewise USA*® encoraja o envolvimento não só dos moradores como também das instituições locais (bombeiros, florestais, produtores, diferentes autoridades) e tem como principal lema “*Preparing homes for wildfire*” (NFPA, 2021a), ou seja, “*Preparar as casas para o incêndio florestal*”. O conjunto de boas práticas e listas de verificação disponibilizados assentam no conceito de “*Home Ignition Zone*” (Cohen, 1995), referido atrás, ou seja, o espaço envolvente às edificações. A Figura 2 apresenta uma ilustração retirada de um poster intitulado “*Como preparar a sua casa para os incêndios florestais*” (NFPA, 2021a), onde são visíveis 3 zonas principais de proteção: Zona Imediata, Zona Intermédia e Zona Alargada (ou estendida). Faz-se notar que nos EUA, uma grande parte das habitações é construída em madeira, sendo por isso mais inflamáveis do que as construídas em alvenaria. Mesmo assim, consideramos que as recomendações aplicáveis para umas são válidas para as outras.

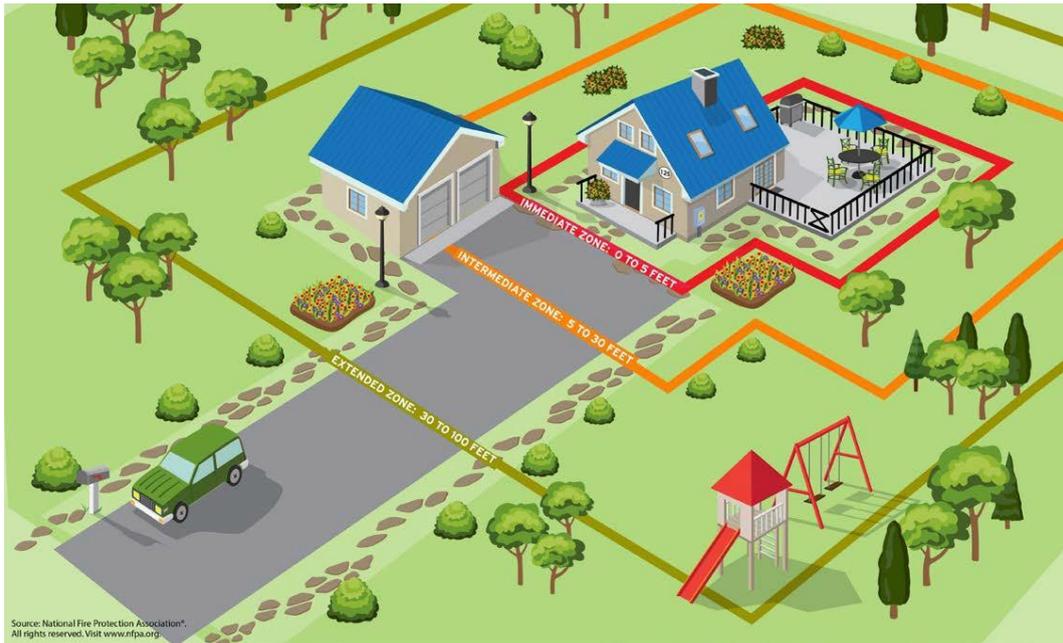


Figura 2. Ilustração do conceito de Home Ignition Zone, retirado de NFPA (2021a).

A primeira zona pretende criar uma separação física entre vegetação e estrutura. A segunda, com 10m (30 pés) de largura, equivale à distância mínima, em terreno plano, que uma parede de madeira pode ser separada da radiação das chamas de um incêndio sem entrar em ignição (Cohen & Butler, 1996; Cohen, 2004a). A terceira zona tem como principal objetivo aumentar a probabilidade de as casas resistirem a um incêndio florestal e ao mesmo tempo criar oportunidades de combate em segurança para as forças que tenham de as defender, ou necessitem de se abrigar neste espaço (Maranghides *et al.*, 2015).

Em cada uma destas zonas são sugeridas ações específicas, com objetivos também específicos, esquematizados na Tabela 2.

Tabela 2. Esquematização dos objetivos e principais medidas a implementar nas 3 zonas da HIZ adaptado de (NFPA, 2021c)

Zona	Distância ao edifício	Objetivo da gestão	Principais medidas
Imediata	0 a 1,5 m (0 a 5 pés), incluindo a casa	Promover a resistência do edifício	Promover o uso de materiais e técnicas de construção resistentes à ignição. Criar separação física entre edifício e vegetação. Limitar a existência de vegetação arbustiva e arbórea, bem como de qualquer material inflamável. Eliminar frequentemente detritos ou restos de vegetação morta.
Intermédia	1,5 a 10 m (5 a 30 pés)	Reduzir a continuidade de combustíveis e diminuir a velocidade de propagação do fogo	Promover a quebra de continuidade vertical e horizontal, sobretudo de árvores e arbustos. Dar prioridade a espécies com teor de humidade elevado e relvados e/ou ervados bem mantidos. Espaçar e desramar árvores. Criar descontinuidades com recurso a caminhos,
Alargada	10 a 30 m (30 a 100 pés)	Diminuir o comprimento das chamas, diminuir a probabilidade de fogos de copas e a intensidade do fogo.	Promover a quebra de continuidade vertical e horizontal, sobretudo de árvores e arbustos. Eliminar acumulações de combustíveis. Espaçar e desramar árvores.

Relativamente às opções de gestão de combustíveis, no que às árvores diz respeito, o programa *Firewise* propõe as medidas resumidas na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo das opções de gestão de combustíveis arbóreos (NFPA, 2021c)

Zona	Distância ao edifício	Separação entre copas de árvores individuais ou pequenos grupos de árvores	Desramação
Imediata	0 a 1,5 m	Sem vegetação	Sem vegetação
Intermédia	1,5 a 10 m	5,5 m	1,8 a 3 m para árvores adultas; 1/3 da altura das árvores pequenas; manter arbustos a pelo menos 3 m das árvores e cortar a vegetação por baixo das copas.
Alargada	10 a 18 m	3,7 m	
	18 a 30 m	1,8 m	

Conforme referimos atrás, o declive exerce grande influência no comportamento do fogo, pelo que também nas indicações do *Firewise* é referido que estas distâncias podem ter que ser maiores, devendo para isso os moradores esclarecer-se junto dos serviços florestais da zona.

Firesmart

O programa Canadano *Firesmart* foi originalmente criado em 1990, quando uma comissão foi estabelecida para tratar de preocupações comuns sobre os incêndios florestais na IUF. A iniciativa teve origem nos Serviços Florestais da província de Alberta (*Alberta Forest Service*, atualmente *Alberta Agriculture and Forestry*) e os seus membros originais eram uma série de Organizações e Agências Governamentais da Província de Alberta. Este agrupamento intitulava-se “*Partners in Protection*”, e o seu objetivo era facilitar a cooperação entre agências na promoção da consciencialização e educação com o objetivo de reduzir o risco de perda de vidas e de propriedades por incêndios na IUF (*Firesmart Canada*, 2021).

Ao longo dos anos foram sendo produzidos conteúdos de divulgação, ações de formação, programas de ajuda e sensibilização, entre outros, que transformaram a marca *Firesmart Canada*® numa referência mundial. Algumas Agências de Gestão do Fogo na Austrália e Nova Zelândia adotaram as medidas propostas neste programa para ajudar as suas comunidades inseridas em zonas de IUF. Atualmente, e já em 2021, a gestão do programa passou para administração do *Canadian Interagency Forest Fire Centre* (CIFFC), com o objetivo de estender o programa a mais comunidades em todo o Canadá. Os objetivos continuam a ser melhorar a comunicação com as partes interessadas e organizar programas e ativos numa estrutura lógica e administrável com base em três pilares - proprietários, bairros e comunidades.

A estrutura sugerida para a gestão da envolvente dos edifícios (HIZ), assim como a atribuição de galardões de distinção, são semelhantes às do programa *Firewise*, mas neste último caso com o nome *Firesmart*. O *Firesmart* identifica quatro zonas de prioridade de intervenção (*Priority Zones*): as três primeiras coincidentes com as do *Firewise*, também denominadas de HIZ, e uma quarta mais exterior, mas apenas para aqueles casos em que as circunstâncias o exijam, e os proprietários possam aí atuar, conforme esquematizado na Figura 3 e na Tabela 4. As opções de gestão de combustíveis, no que às árvores diz respeito, estão resumidas na Tabela 5.



Figura 3. Ilustração do conceito de Priority Zones, retirado de (Firesmart Canada, 2019d).

Tabela 4. Esquematização dos objetivos e principais medidas a implementar nas 3 zonas da HIZ adaptado de (Firesmart Canada, 2019c).

Zona	Distância ao edifício	Objetivo da gestão	Principais medidas
1a (não combustível)	0 a 1,5 m incluindo a casa	Reduzir a probabilidade de projeções trazidas do incêndio pelo vento incendiarem materiais perto da casa.	Criar uma zona não combustível à volta de toda a casa e respetivos anexos (gravilha, cimento, tijolo, blocos ou mesmo solo mineral).
1	1,5 a 10 m	Criar uma paisagem que não permita que o fogo passe facilmente para a casa.	Instalar plantas mais resistentes ao fogo e com baixa densidade. Evitar acumulações de detritos, madeira, materiais de construção, mobiliário ou outros que possam ser locais de deposição de partículas incandescentes (mudar para a Zona 2).
2	10 a 30 m	Desbastar e desramar para reduzir o comportamento do fogo (altura de chama, intensidade).	Remoção seletiva de árvores de modo a haver uma separação de 3 m entre cada uma ou cada grupo. Desramar todas as árvores. Limpar regularmente restos de vegetação (folhas, ramos, etc.)
3	30 a 100m	Modificar o comportamento do fogo quando este se aproximar da casa.	Podendo atuar a esta distância, deve-se desbastar e desramar. Deve-se promover a criação de descontinuidades sempre que possível (caminhos, estradas, zonas sem combustível).

Tabela 5. Resumo das opções de gestão de combustíveis arbóreos (Firesmart Canada, 2019b).

Zona	Distância ao edifício	Separação entre copas de árvores individuais ou pequenos grupos de árvores	Desramação
1a (não combustível)	0 a 1,5 m incluindo a casa	Sem vegetação	Sem vegetação
1	1,5 a 10 m	3 m (árvores perenes)	2 m de altura, não removendo mais de 1/3 da copa
2	10 a 30 m		
3	30 a 100m	3 m (árvores perenes). Remover árvores mais pequenas que promovam a continuidade vertical.	

Também nestes guias são feitas chamadas de atenção para o efeito do declive, que pode obrigar a alargar estas zonas na parte em que o fogo progride a favor do declive por baixo das casas. Ao mesmo tempo é deixada a nota de considerar a estabilidade das encostas ao remover árvores.

As estruturas e infraestruturas críticas são abordadas como os edifícios de habitação, com as mesmas Zonas e sugestões de gestão (Firesmart Canada, 2019a).

4. Análise histórica do impacto do fogo nas estruturas

Apresentamos neste capítulo alguns casos de incêndios na IUF, para podermos entender e validar os conceitos introduzidos anteriormente e que serão alvo de uma reflexão mais profunda numa fase mais adiantada deste relatório. Escolhemos casos que estão muito bem documentados na bibliografia, e que foram objeto de estudos detalhados. Alguns dos mais recentes casos, como os incêndios da Grécia, Califórnia ou Austrália, não se encontram ainda bem analisados no que concerne ao impacto do fogo na IUF.

Os casos estão agrupados por país de origem, e referem-se a incêndios em Portugal, nos Estados Unidos da América, na Austrália, no Canadá e na Grécia. Apresenta-se uma descrição resumida dos incêndios e impactos ao nível da IUF. Informação mais detalhada pode ser encontrada na bibliografia citada.

Pelo seu interesse específico para este trabalho, é dado um destaque especial aos casos de estudo em Portugal.

4.1 Portugal

O ano de 2017 foi provavelmente o ano mais negro da história dos incêndios florestais em Portugal. Os dois fatídicos episódios, de junho e outubro, que deixaram marcas profundas na nossa sociedade, foram, como se disse atrás, objeto de análise aprofundada por parte dos autores deste trabalho. Apresentamos de seguida um resumo dessa mesma análise ao impacto que os incêndios tiveram na IUF.

4.1.1 Pedrógão Grande, junho de 2017

A 17 de junho de 2017 iniciou-se perto da aldeia de Escalos Fundeiros, no concelho de Pedrógão Grande, um incêndio, que juntando-se posteriormente com outras ocorrências da região, formou um complexo de incêndios que viriam a vitimar 66 pessoas, ferindo mais de 250 e danificando mais de 1.000 estruturas (Viegas *et al.*, 2017; Haynes *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2020a). Foi um complexo de incêndios marcado por manifestações violentíssimas de comportamento extremo do fogo, com grande impacto no seu trágico desfecho. A área ardida total rondou os 45.000 ha, sendo as duas maiores ocorrências deste complexo a que se originou em Pedrógão Grande (~29.000 ha) e outra a nordeste, que teve origem no concelho de Góis (~16.000 ha). Os detalhes da propagação do complexo de incêndios podem ser consultados no relatório realizado para o Ministério da Administração Interna (MAI). Focar-nos-emos aqui, ainda que resumidamente, apenas nos aspetos relevantes para este trabalho, mais uma vez recorrendo a Viegas *et al.* (2017).

4.1.1.1 A ignição

Este complexo de incêndios é composto por duas ocorrências principais, Escalos Fundeiros (Pedrógão Grande) e Fonte Limpa (Góis), às quais se juntam pelo menos mais 6 ignições com impacto na propagação, umas com maior relevo que outras. As causas são de natureza diversa, desde raios a focos secundários de outras ocorrências ou incendiarismo. Para o trabalho aqui reportado abordamos apenas as ignições relacionadas com o incêndio de Pedrógão Grande, onde quer em Escalos Fundeiros (14h43 de 17 de junho de 2017), quer em Regadas (16h15 de 17 de junho de 2017), as investigações efetuadas pelos autores deste relatório às causas dos mesmos, apontam para que a causa esteja relacionada com linhas elétricas de média tensão (Viegas *et al.*, 2017). Convém, no entanto, sublinhar que o relatório desenvolvido pela Comissão Técnica Independente (CTI) e aquele resultante da investigação efetuada pela Polícia Judiciária apontam para conclusões divergentes (descarga atmosférica).

Em Escalos Fundeiros, de acordo com Viegas *et al.* (2017), na zona onde a ignição ocorreu, não existia faixa de gestão de combustíveis (FGC), o que proporcionou condições para que a ignição, decorrente do contacto entre algumas pontas terminais dos ramos das árvores e os cabos da linha elétrica que passavam por cima destes, e propagação inicial ocorresse facilmente. Já em Regadas, também de acordo com Viegas *et al.* (2017), na zona onde ocorreu a ignição, a linha elétrica passava por cima de sobreiros (Figura 4), cujas copas em alguns pontos estavam muito próximas dos cabos sendo que, nalguns casos, passavam dentro da folhagem (com distâncias inferiores a 10 cm), conforme se pode ver nas fotografias da Figura 4, podendo tocar-lhes caso existisse vento médio ou forte.

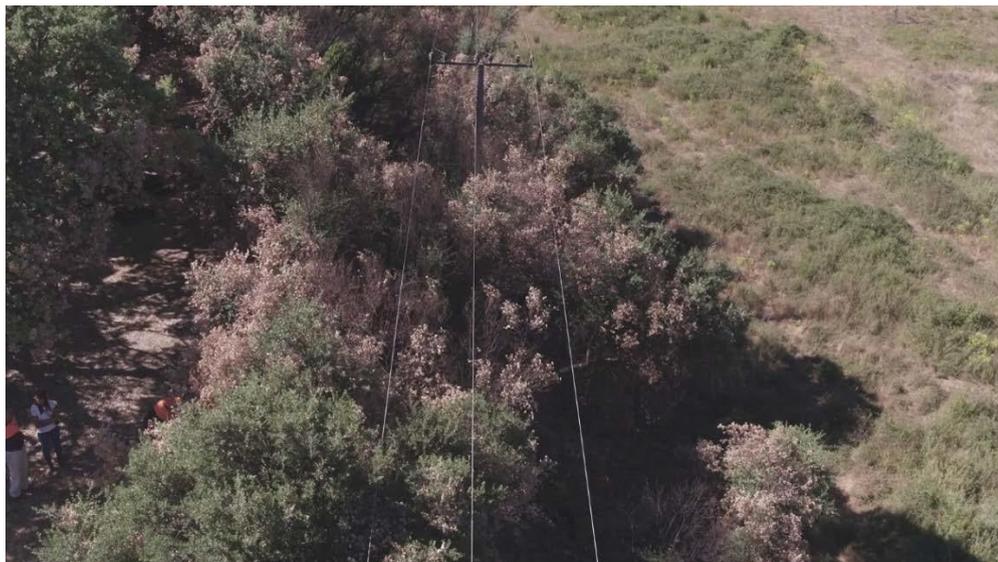


Figura 4. Imagem recolhida por um drone dos sobreiros na zona em que existe uma grande proximidade entre a linha e a ramagem e debaixo da qual se terá iniciado o incêndio de Regadas (retirado de Viegas et al. (2017)).

Os testemunhos que os autores do referido relatório ouviram na altura apontam para a dificuldade das intervenções quando se trata de algumas espécies protegidas, como o sobreiro.

4.1.1.2 Os acidentes pessoais

O conjunto de acidentes que originou a morte a 66 pessoas foi o resultado mais trágico deste complexo de incêndios. Na sua maioria as vítimas tentavam fugir do fogo, a pé ou de carro. Houve quatro mortes dentro de casa, sendo que todas as vítimas tinham pouca independência para poder resistir ao fogo (uma senhora cega, um senhor com problemas psíquicos e um casal de idosos com dificuldades de locomoção) e deveriam, provavelmente, ter sido retirados de suas casas, caso tivesse havido oportunidade. Os restantes acidentes ocorreram em estradas nacionais ou municipais, tendo as vítimas falecido quase todas no local. Apenas duas faleceram posteriormente no hospital, uma das quais apenas foi associada ao incêndio após a entrega do relatório de Viegas et al. (2017).

O conjunto de acidentes mais impactante foi o que ocorreu no troço de 400m entre os km 8 e 9 da EN 236-1, que liga Castanheira de Pera a Figueiró dos Vinhos, no qual se verificaram múltiplos acidentes que resultaram em 33 vítimas mortais. Ao todo, e excetuando a senhora cuja morte apenas após a entrega do relatório ao MAI foi associada ao incêndio, contabilizaram-se 31 mortes dentro das viaturas, 27 próximas das viaturas, depois de as terem abandonado (por acidente ou por não conseguirem continuar viagem) e 3 a deslocar-se a pé. Todas elas em estradas que, ao que os autores de referido relatório apuraram, pouca ou nenhuma gestão de combustíveis apresentavam. De facto, em imagens retiradas do *Google Street View* referentes ao período antes do incêndio, é possível constatar que há, em praticamente todos os locais de acidentes, árvores muito próximas da faixa de rodagem, muitas vezes com ramos sobre a mesma. Também é possível ver o subcoberto existente, quase sempre constituído por mato. Por exemplo, numa das figuras do relatório de Viegas et al. (2017) é possível ver uma dessas imagens no troço de estrada EN 236-1 atrás referenciado, observando a existência de mato.

Utilizando as relações para cálculo das distâncias de segurança, apresentadas na Tabela 1, podemos fazer um exercício simples para o local dos múltiplos acidentes. Os acidentes neste troço de estrada terão ocorrido pouco depois das 20h00, numa altura em que o incêndio apresentava um comportamento extremo em grande parte do seu perímetro. Estações meteorológicas próximas apontam para velocidade do vento na ordem dos 40 km/h, mas a alguma distância do fogo, pelo que podemos assumir que na zona dos acidentes esta velocidade seria maior. Mesmo assumindo um terreno plano (que não era na totalidade da extensão), e um mato com 1 metro de altura, a fórmula de cálculo da distância de segurança daria:

$$SSD = 8 \times \text{altura da vegetação} \times \Delta = 8 \times 1 \times 4 = 32 \text{ m}$$

Se assumíssemos algum declive, por exemplo 20%, este valor passaria a 48m, claramente distâncias incomportáveis para uma rede secundária de FGC. Fazemos notar, novamente, que estas faixas, dadas as suas dimensões, servem o propósito de ajudar a diminuir as ignições, apesar de poderem, em determinadas circunstâncias, ajudar a diminuir a intensidade de um incêndio, facilitando o seu ataque pelos meios de combate.

4.1.1.3 O impacto nas estruturas

Os trabalhos efetuados para analisar o impacto deste complexo de incêndios nas estruturas (com ênfase em Pedrógão Grande) foram dos mais detalhados alguma vez realizados, até à data, em incêndios na IUFC em Portugal e provavelmente na Europa. Viegas *et al.*, 2017 e Ribeiro *et al.*, 2020 detalham todo o processo, desde o planeamento, ao extenso trabalho de campo, culminando na análise de todas as estruturas que foram de algum modo afetadas pelo incêndio. É desses trabalhos que transcrevemos os principais dados, resultados e conclusões.

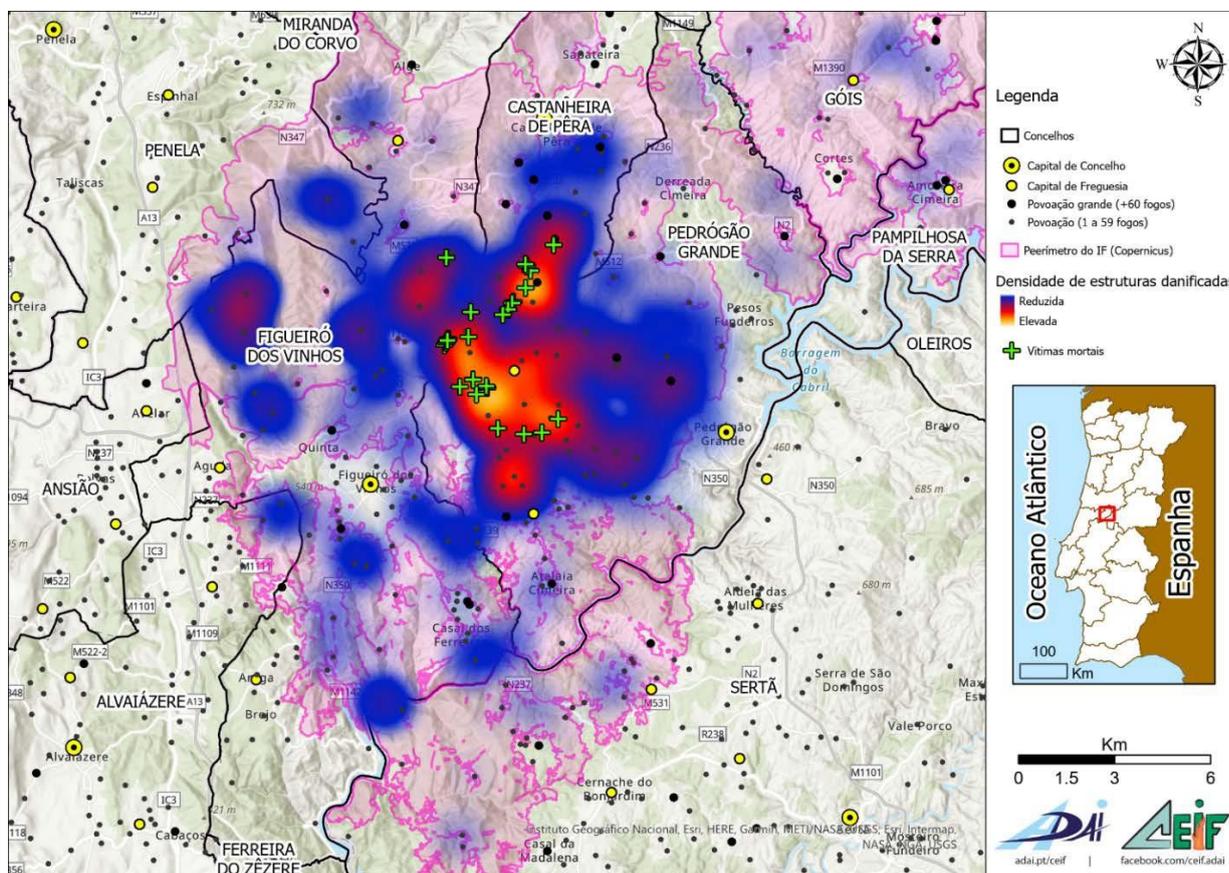


Figura 5. Representação da densidade de estruturas danificadas e da localização das vítimas mortais (Fonte: CEIF)

O impacto maior deste complexo de incêndios localizou-se na abrangência da ocorrência de Pedrógão Grande, local onde ocorreram as mortes e a maioria dos ferimentos e danos em estruturas (Figura 5). Por esse motivo a análise ao impacto nas estruturas focou-se aí, deixando a ocorrência de Góis de fora. Ao todo foram contabilizadas 1043 estruturas danificadas, distribuídas por 5 concelhos (Tabela 6).

O maior impacto do fogo está visivelmente localizado nas áreas Oeste do concelho de Pedrógão e Sul do concelho de Castanheira de Pera, representado pelas cores mais quentes na Figura 5. Nos restantes concelhos os danos foram mais dispersos.

Tabela 6. Resumo do total de estruturas danificadas pelo IF, por distrito, concelho e freguesia

1. Distrito	Total	2. Concelho	Total	3. Freguesia	Total
Castelo Branco	30	Sertã	30	Castelo	5
				Cernache do Bonjardim, Nespéral e Palhais	25
Coimbra	23	Penela	23	Cumeeira	2
				Espinhal	21
Leiria	990	Castanheira de Pêra	172	Castanheira de Pêra e Coentral	172
		Figueiró dos Vinhos	178	Aguda	51
				Campelo	57
				Figueiró dos Vinhos e Bairradas	70
		Pedrógão Grande	640	Graça	225
		Pedrógão Grande	134		
			Total	1.043	

O total de 1043 estruturas danificadas engloba todo o tipo de construções e mais de 85% ficaram muito danificadas ou completamente destruídas. A classe mais afetada foi a de estruturas de apoio ou anexos, que podem ser encontrados em muitas das casas desta região, como barracões ou arrumos, representando quase 40% do total. Os edifícios de habitação (primária ou secundária) tiveram uma expressão muito significativa (cerca de 25%), conforme podemos observar no detalhe da Tabela 7.

Tabela 7. Grau de dano nas estruturas em função da sua utilização (adaptado de Ribeiro et al., 2020)

Tipo de estrutura	Estado da estrutura após o incêndio ¹				Total ² 1043 (100 %)
	Pouco danificada	Moderadamente danificada	Muito danificada	Totalmente destruída	
Habitação permanente	35 (25,2 %)	17 (12,2 %)	46 (33,1 %)	41 (29,5 %)	139 (13,3 %)
Habitação secundária	19 (15,3 %)	9 (7,3 %)	46 (37,1 %)	50 (40,3 %)	124 (11,9 %)
Armazém agrícola	1 (1,4 %)	5 (6,8 %)	28 (37,8 %)	40 (54,1 %)	74 (7,1 %)
Barracão/arrumos	12 (3,0 %)	20 (5,0 %)	179 (44,4 %)	192 (47,6 %)	403 (38,6 %)
Garagem	5 (8,3 %)	9 (15,0 %)	22 (36,7 %)	24 (40,0 %)	60 (5,8 %)
Comércio	0 (0,0 %)	1 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	1 (0,1 %)
Indústria	0 (0,0 %)	2 (13,3 %)	5 (33,3 %)	8 (53,3 %)	15 (1,4 %)
Casa desabitada	2 (3,4 %)	4 (6,9 %)	36 (62,1 %)	16 (27,6 %)	58 (5,6 %)
Estrutura devoluta	1 (0,8 %)	3 (2,3 %)	56 (42,4 %)	72 (54,5 %)	132 (12,7 %)
Curral/estábulo	2 (10,0 %)	1 (5,0 %)	8 (40,0 %)	9 (45,0 %)	20 (1,9 %)
Cozinha exterior	0 (0,0 %)	2 (33,3 %)	2 (33,3 %)	2 (33,3 %)	6 (0,6 %)
Outro	2 (18,2 %)	1 (9,1 %)	4 (36,4 %)	4 (36,4 %)	11 (1,1 %)

¹ Os valores representam o número de estruturas e a respetiva percentagem em cada classe de dano dentro de cada tipo de estrutura (ler percentagem na horizontal); ² Os valores representam o número de estruturas por tipo de estrutura e a percentagem em relação ao total de estruturas danificadas (ler percentagem na vertical)

Como se observa da tabela anterior, o grau de dano foi muito variado, não só entre tipos de estruturas, como também dentro da própria estrutura e dependeu de uma série de fatores. O trabalho original de análise ao impacto do fogo de Pedrógão incidiu sobre estes fatores, mas iremos apenas resumir aqueles que mais interesse suscitam para o presente estudo. São elas o tipo de estruturas e o respetivo grau de conservação e a gestão de combustíveis.

Um dos aspetos mais importantes, e que está em linha com os trabalhos citados nos capítulos anteriores, tem que ver com o processo de ignição responsável pela destruição das estruturas. A Tabela 8 identifica claramente o principal método de ignição como sendo a deposição de fagulhas em partes sensíveis da estrutura (61 %). Este número poderá provavelmente ser mais elevado, pois é razoável assumir que uma boa parte das ignições dos próprios materiais a arder nas imediações ou das estruturas contíguas poderá ter tido origem também em fagulhas. O impacto direto do fogo foi responsável por cerca de 21 % das ignições.

Tabela 8. Tipos de ignição nas estruturas danificadas (adaptado de Ribeiro et al., 2020)

Tipo de ignição	Total (1042)
Fagulhas (projeções)	636 (61,1 %)
Impacto direto do fogo	222 (21,3 %)
Materiais a arder na imediação	133 (12,8 %)
Estrutura contígua	12 (1,2 %)
Com danos, mas sem ignição	38 (3,7 %)

O tipo de construção predominante no nosso país é a alvenaria, mas nesta região há muitos edifícios feitos de pedra, sejam antigos sejam recuperados. É, portanto, normal que sejam estas duas as classes mais afetadas, mas é importante ressaltar que o grau de dano foi muito elevado (Tabela 9), com a larga maioria das estruturas a serem muito danificadas ou totalmente destruídas. Frisamos novamente que o número de habitações (primárias ou secundárias) se situa nos 25 % do total de estruturas danificadas, pelo que simplesmente olhando para o tipo de construção não é possível retirar grandes ilações quanto à resistência das mesmas ao fogo.

Tabela 9. Grau de dano nas estruturas em função do seu tipo de construção (adaptado de Ribeiro et al., 2020)

Tipo de construção	Estado da estrutura após o incêndio ¹				Total ² (1042)
	Pouco danificada	Moderadamente danificada	Muito danificada	Totalmente destruída	
Alvenaria	71 (13,4 %)	57 (10,8 %)	195 (36,8 %)	207 (39,1 %)	530 (50,9 %)
Pedra	7 (1,7 %)	14 (3,3 %)	222 (52,9 %)	177 (42,1 %)	420 (40,3 %)
Madeira	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	29 (100 %)	29 (2,8 %)
Metal	1 (1,7 %)	2 (3,3 %)	14 (23,3 %)	43 (71,7 %)	60 (5,8 %)
Outro	0 (0 %)	1 (33,3 %)	1 (33,3 %)	1 (33,3 %)	3 (0,3 %)

¹ Os valores representam o número de estruturas e a respetiva percentagem em cada classe de dano dentro de cada tipo de construção (ler percentagem na horizontal); ² Os valores representam o número de estruturas por tipo de construção e a percentagem em relação ao total de estruturas danificadas (ler percentagem na vertical)

Se restringirmos a análise às habitações (Tabela 10), constatamos que todas as construções de madeira tiveram destruição total, mas as outras (alvenaria e pedra) tiveram danos distribuídos por todas as classes.

Tabela 10. Grau de dano nas estruturas de habitação, primária e secundária, em função do seu tipo de construção (dados CEIF)

Tipo de estrutura	Tipo de construção	Estado da estrutura após o incêndio ¹				Total ² 263
		Pouco danificada	Moderadamente danificada	Muito danificada	Totalmente destruída	
Habitação primária	Alvenaria	33 (33,3 %)	16 (16,2 %)	29 (29,3 %)	21 (21,2 %)	99 (71,2 %)
	Pedra	2 (5,1 %)	1 (2,6 %)	17 (43,6 %)	19 (48,7 %)	39 (28,1 %)
	Madeira	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	1 (0,7 %)
Habitação secundária	Alvenaria	19 (24,7 %)	8 (10,4 %)	23 (29,9 %)	27 (35,1 %)	77 (62,1 %)
	Pedra	0 (0 %)	1 (2,9 %)	23 (65,7 %)	11 (31,4 %)	35 (28,2 %)
	Madeira	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	12 (100 %)	12 (9,7 %)

¹ Os valores representam o número de estruturas e a respetiva percentagem em cada classe de dano dentro de cada tipo de construção e estrutura (ler percentagem na horizontal); ² Os valores representam o número de estruturas por tipo de construção dentro de cada classe de tipo de estrutura e a percentagem em relação ao total de estruturas danificadas na mesma classe (ler percentagem na vertical)

Independentemente de serem habitações primárias ou secundárias, quase todas elas (94 %) estavam em uso, à data do incêndio. O seu estado de conservação estrutural não era o mesmo, e naquelas que se encontravam bem conservadas, cerca de 30 % teve apenas danos ligeiros (Tabela 11), mas 36 % ficaram completamente destruídas. Já nas moderadamente e nas mal conservadas, o dano centrou-se na esmagadora maioria nas classes de muito danificada e de totalmente destruída.

Tabela 11. Grau de dano nas estruturas de habitação, primária e secundária, em função do seu estado de conservação (dados CEIF)

Estado das habitações antes do incêndio	Estado da estrutura após o incêndio ¹				Total ²
	Pouco danificada	Moderadamente danificada	Muito danificada	Totalmente destruída	263
Bem conservada	40 (30,5 %)	17 (13 %)	27 (20,6 %)	47 (35,9 %)	131 (49,8 %)
Moderadamente conservada	13 (10,8 %)	9 (7,5 %)	60 (50 %)	38 (31,7 %)	120 (45,6 %)
Mal conservada	1 (8,3 %)	0 (0 %)	5 (41,7 %)	6 (50 %)	12 (4,6 %)

¹ Os valores representam o número de estruturas e a respetiva percentagem em cada classe de dano dentro de cada classe de conservação pré-incêndio (ler percentagem na horizontal); ² Os valores representam o número de estruturas por classe de conservação pré-incêndio e a percentagem em relação ao total de estruturas danificadas na mesma classe (ler percentagem na vertical)

O último aspeto que apresentamos relaciona-se com a gestão de combustíveis nas imediações das estruturas. A primeira nota, que se enfatiza nos trabalhos citados atrás, tem que ver com o facto de a gestão de combustíveis, se tomada à letra da legislação, ser praticamente inexistente nas imediações de todas as estruturas danificadas. Algumas das estruturas deste caso de estudo estavam completamente inseridas em espaço urbano, pelo que o conceito de gestão de combustíveis na faixa perimetral não faz sentido. Mas em 963 estruturas esta gestão poderia ser feita, sobretudo nas que estão isoladas em espaço florestal (onde a legislação se aplica diretamente). Estas estruturas isoladas representavam 47,2 % do total, conforme se pode observar na Tabela 12, e dentro destas mais de metade não tinha qualquer tipo de gestão de combustíveis. Para podermos retirar alguns ensinamentos desta análise, optámos por considerar para efeitos de gestão de combustíveis a existência de uma descontinuidade contígua à estrutura que tivesse pelo menos 3m de largura (o equivalente a um caminho florestal). Sempre que havia uma estrada, estradão, quintal em utilização (com rega), relvado, ou qualquer outro tipo de interrupção ou redução de combustíveis, considerávamos a gestão de parcial. Se esta gestão fosse em toda a envolvente da casa (ou estrutura) em pelo menos 3m, entendíamos que era total.

Tabela 12. Grau de dano nas estruturas em função da sua localização e gestão de combustíveis (dados CEIF)

Localização da estrutura e gestão de combustíveis	Estado da estrutura após o incêndio ¹				Total ²	
	Pouco danificada	Moderadamente danificada	Muito danificada	Totalmente destruída	963	
Isolada 455 (47,2 %)	Ausente	12 (5 %)	13 (5,4 %)	113 (47,1 %)	102 (42,5 %)	240 (52,7 %)
	Parcial	15 (8,4 %)	14 (7,9 %)	71 (39,9 %)	78 (43,8 %)	178 (39,1 %)
	Total	6 (16,2 %)	7 (18,9 %)	12 (32,4 %)	12 (32,4 %)	37 (8,1 %)
Não isolada 508 (52,8 %)	Ausente	5 (2,7 %)	7 (3,8 %)	70 (38,3 %)	101 (55,2 %)	183 (36,0 %)
	Parcial	22 (7,1 %)	26 (8,4 %)	127 (41,2 %)	133 (43,2 %)	308 (60,6 %)
	Total	1 (5,9 %)	1 (5,9 %)	7 (41,2 %)	8 (47,1 %)	17 (3,3 %)

¹ Os valores representam o número de estruturas e a respetiva percentagem em cada classe de dano dentro de cada classe de localização das estruturas e de gestão de combustíveis (ler percentagem na horizontal); ² Os valores representam o número de estruturas por classe de gestão de combustíveis e a percentagem em relação ao total de estruturas danificadas na mesma classe (ler percentagem na vertical)

É de salientar que de entre as estruturas isoladas, 52,7 % não tinham qualquer tipo de gestão de combustíveis implementada. Talvez o dado mais relevante da análise deste parâmetro seja o facto de não haver muita diferença no impacto que o fogo teve em termos de destruição nas estruturas com gestão de combustíveis parcial ou sem gestão nenhuma.

A descrição anterior foca-se apenas na análise das estruturas que sofreram o impacto do fogo, não tendo havido um inventário detalhado de estruturas que não tivessem sido danificadas. No entanto, numa iniciativa recente, o Banco Mundial contratou a ADAI para realizar uma análise custo benefício para a existência de medidas mitigadoras do risco de incêndio na IUF, com incidência na criação de espaço defensável perto das

casas (WorldBank, 2021), que levou em conta, não só os dados do impacto nas estruturas resumido anteriormente, como também a análise da envolvente de casas não afetadas. Um dos passos da metodologia de análise junta toda esta informação apresentando um gráfico de variação do dano potencial em função da proximidade do combustível, que se reproduz aqui na Figura 6.

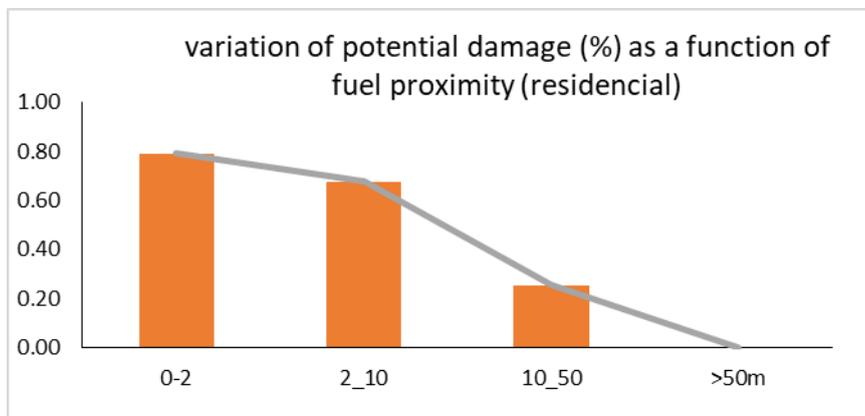


Figura 6. Variação do dano potencial (%) em função da proximidade do combustível (retirado de World Bank, 2021).

Podemos mais uma vez verificar a importância da eliminação total dos combustíveis na faixa contígua à casa (neste caso até 2m), onde a probabilidade de haver dano se situa nos 80%, bem como nos primeiros 10m (cerca de 70 %). A partir dos 10m e até aos 50m a probabilidade cai para cerca de 20%, e a partir de 50m o seu valor é insignificante.

Concluimos esta exposição referindo apenas que, de um modo geral, as estruturas nesta região eram de idade avançada, nem sempre em bom estado de conservação, e que a maioria das pessoas saiu de casa, tentando fugir ao fogo e deixando-as desprotegidas. Tal facto pode ajudar a entender o elevado número de casas danificadas. Estes dados devem levar a refletir sobre a evacuação generalizada de povoações inteiras.

4.1.1.4 Incêndios de 15 de outubro de 2017

O conjunto dos incêndios de 15 de outubro de 2017 está associado a condições meteorológicas severas, com temperaturas anormalmente elevadas (>30 °C) para aquela altura do ano, humidade da vegetação muito baixa (após um longo período de seca) e ventos fortes, com rajadas superiores a 50 km/h, em parte do dia sob a influência do furacão *Ophelia* (Ribeiro *et al.*, 2020a).

À semelhança do caso anterior, o MAI solicitou ao CEIF um relatório detalhado sobre os acidentes mortais e a propagação dos incêndios (Viegas *et al.*, 2019). É com base nesse relatório que aqui apresentamos um resumo do ocorrido. A magnitude dos incêndios ocorridos neste dia, bem como o grau de destruição associado, limitou o trabalho de análise do impacto na IUF, não sendo possível na altura realizar um estudo com o nível de detalhe apresentado para o incêndio de Pedrógão. Procurou-se analisar uma outra vertente da interface, a das Zonas Industriais, pois toda a Região Centro, onde os incêndios se desenrolaram, tem inúmeras destas zonas em áreas de mato ou floresta, sendo que muitas delas foram expostas aos incêndios.

4.1.1.5 Os incêndios

Foram 7 os principais incêndios, ou complexos de incêndios, que tiveram início a 15 de outubro: Seia, Lousã, Oliveira do Hospital, Sertã, Vouzela, Leiria e Quaios (Figura 7). Ao todo foram registadas mais de 500 ocorrências neste dia, muito acima das 200 tidas como limite da capacidade de resposta operacional eficiente em Portugal (Ribeiro *et al.*, 2020a). Mais de 200 mil hectares arderam nestes incêndios, na Região Centro de Portugal, tirando a vida a 51 pessoas e causando danos materiais e imateriais incalculáveis e numa escala nunca antes vista em Portugal (Viegas *et al.*, 2019).

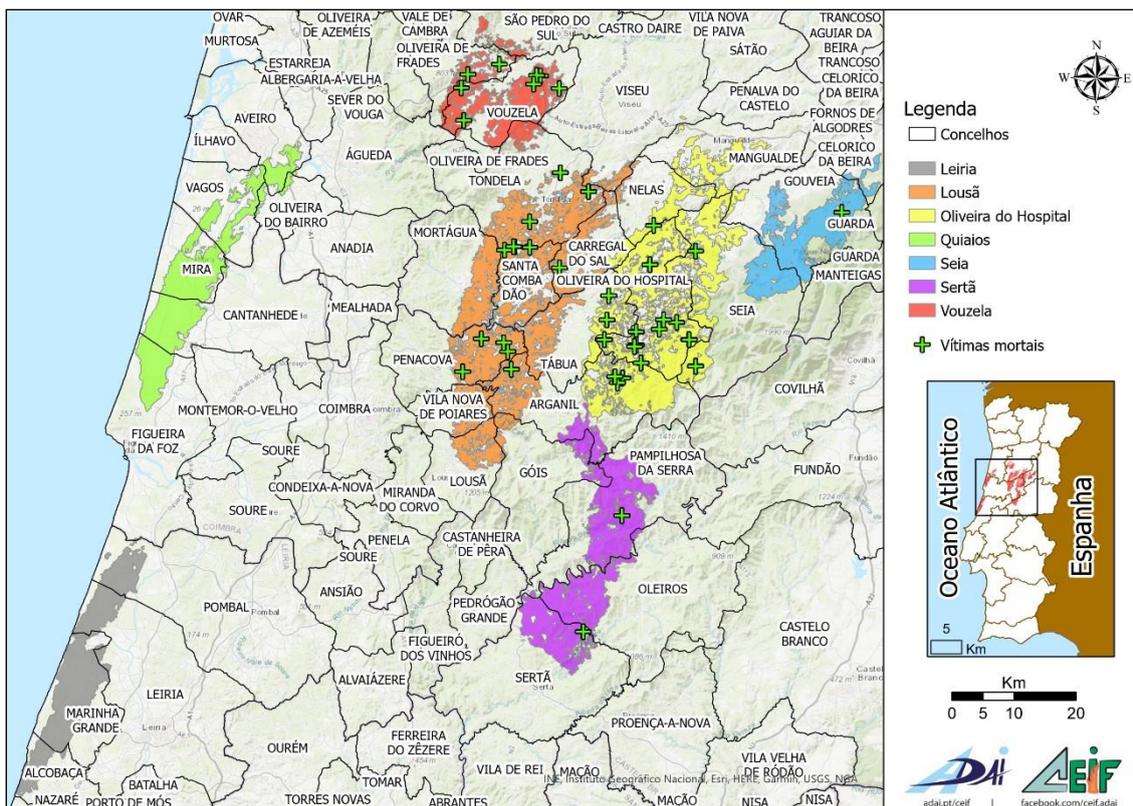


Figura 7. Representação dos principais incêndios de 15 de outubro de 2017 (Fonte: CEIF)

A complexidade destes 7 incêndios está bem documentada no referido relatório, pelo que se referem aqui apenas alguns dados estatísticos (Tabela 13).

Tabela 13. Os sete principais complexos de incêndios ocorridos em 15 de outubro, por ordem cronológica de ignição

Designação	Área total (ha)	Vítimas mortais
Seia	17.003	1
Lousã	54.407	15
Oliveira do Hospital	51.429	23
Sertã	30.977	2
Leiria	20.014	0
Quiaios	23.844	0
Vouzela	15.959	10

4.1.1.6 O impacto nas Zonas Industriais

Conforme se explicou atrás, a escala espacial e de destruição destes incêndios impossibilitou uma análise detalhada, em tempo útil, do impacto na IUF, semelhante à realizada para Pedrógão Grande. A opção tomada foi a de centrar esforços na análise do impacto nas Zonas Industriais (ZI). As ZI constituem-se como um tipo específico de IUF, onde os materiais de construção são usualmente diferentes, muitas vezes com componentes metálicos, que podem deformar-se a temperaturas mais elevadas, típicas em incêndios florestais (Almeida *et al.*, 2019). Por outro lado, os aspetos construtivos incluem frequentemente um número elevado de elementos vulneráveis, como janelas, aberturas, respiradouros, portas ou outros. Também a envolvente é muitas vezes ocupada com matérias primas, depósitos de produtos ou subprodutos, desperdícios industriais, estacionamento, etc. À semelhança das casas de habitação, também em algumas indústrias podem existir espaços ajardinados com espécies mais ou menos resistentes ao fogo, diminuindo ou aumentando, respetivamente, o risco de dano no caso de um incêndio. Este dano traduz-se num prejuízo económico e social quase sempre superior ao das estruturas de habitação. Além do valor patrimonial das estruturas, equipamentos, produtos, etc., pode também associar-se a provável perda de empregos.

Resumimos de seguida os principais resultados e conclusões acerca dos mecanismos de propagação do fogo às indústrias, apresentados em Viegas *et al.* (2019) e Almeida *et al.* (2019). À semelhança do estudo de Pedrógão, também este se baseou num trabalho de campo intenso, com visitas a dezenas de ZI afetadas pelos incêndios. O elevado número de indústrias afetadas obrigou a que fosse selecionada uma amostra para o estudo. Assim, optou-se por selecionar pelo menos um parque industrial em cada um dos complexos principais de incêndios descritos atrás, num total de 140 instalações, cuja distribuição pode ser vista na Figura 8. A exceção foi o incêndio de Leiria, onde não houve danos de maior em ZI.

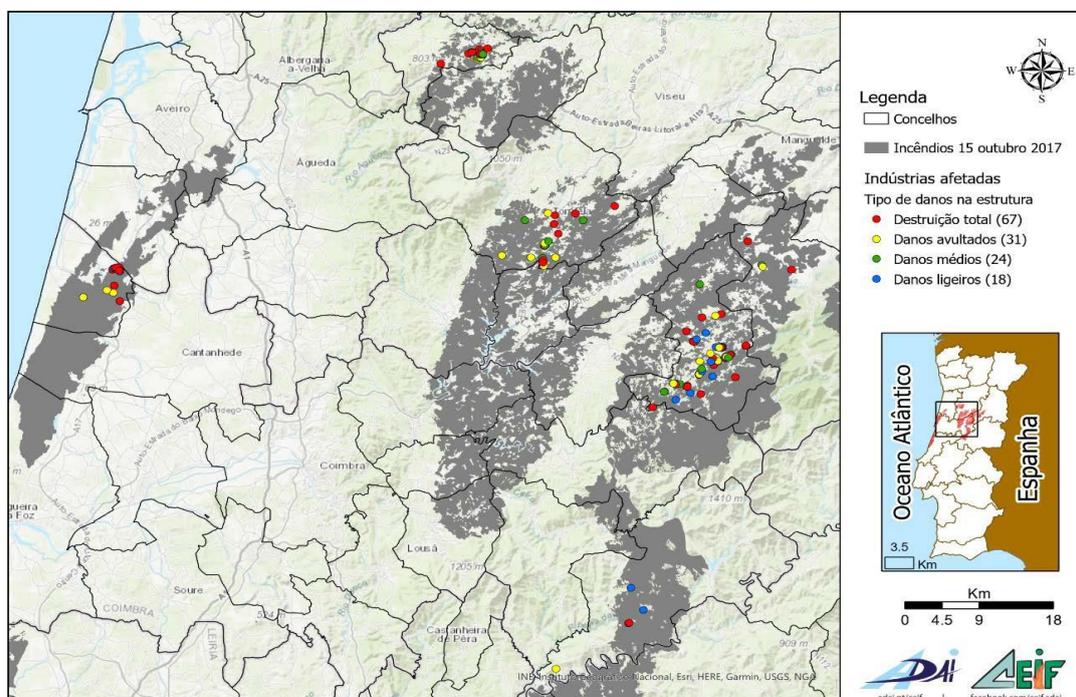


Figura 8. Representação da distribuição das empresas afetadas e respetivos danos (Fonte: CEIF)

O número de empresas selecionadas para visita é proporcional ao impacto de cada um dos incêndios. A distribuição por incêndio e o Município onde se realizaram as visitas apresenta-se na Tabela 14. Esta é uma amostra pequena relativamente ao número de empresas que se sabe ter sido afetado, mas uma boa parte sofreu danos ligeiros, e acabou por não ficar registado em nenhuma base de dados. Ainda assim, acreditamos que os parâmetros avaliados foram representativos do total, sobretudo os referentes aos mecanismos de ignição e propagação.

Tabela 14. Número de empresas visitadas na análise em cada um dos incêndios

Designação do incêndio	Concelho	Número de empresas visitadas
Seia	Seia	4
Lousã	Tondela	22
Oliveira do Hospital	Oliveira do Hospital	65
Sertã	Pampilhosa da Serra	5
Quiaios	Mira	18
Vouzela	Oliveira de Frades	26

Na Tabela 15 podemos ver os resultados da análise no que respeita aos mecanismos de ignição em função da distância a que o combustível florestal se encontra de cada estrutura. À semelhança de Pedrógão Grande, a maioria das ignições deu-se pela deposição de fagulhas projetadas do incêndio, se bem que em menor percentagem. Apesar de a maioria das instalações que entraram em ignição deste modo ter combustíveis entre 10 e 50m, vemos que não há uma clara prevalência de nenhuma classe, relativamente à proximidade dos combustíveis, o que é fácil de entender pois as projeções de partículas tanto podem vir de um incêndio a poucos metros como a quilómetros. Uma gestão total dos primeiros 2m, com separação física para os combustíveis mais próximos, provavelmente poderia ter evitado a ignição das 10 estruturas referidas na mesma tabela.

Tabela 15. Mecanismos de ignição das empresas analisadas, em função da proximidade dos combustíveis florestais (adaptado de Almeida et al. (2019)).

Mecanismo de ignição	Proximidade dos combustíveis florestais à estrutura (m)				Total
	0-2	2-10	10-50	>50	
Chamas provenientes de estruturas adjacentes	4	2	6	4	16 (11 %)
Chamas provenientes do espaço florestal envolvente	19	11	7	1	38 (27 %)
Chamas de materiais residuais depositados na envolvente	3	2	3	1	9 (6 %)
Chamas de matérias primas, produtos ou equipamentos na envolvente	0	0	1	0	1 (1 %)
Projeção de partículas	10	19	26	19	74 (53 %)
Outro	1	0	1	0	2 (1 %)
TOTAL	37	34	44	25	140

Ainda relativamente a estes primeiros 2m, vemos que metade das indústrias que foi danificada diretamente pelas chamas provenientes do espaço florestal, tinha combustíveis nesta zona (19 em 37). Na classe de “chamas provenientes de estruturas adjacentes”, a interpretação pode ser enganosa, pois estas estruturas adjacentes podem ter sido ignificadas por qualquer um dos outros mecanismos. Ainda assim, a gestão de combustíveis aqui não se reveste de tanta importância.

Relativamente aos locais de ignição, as estruturas industriais apresentam, como se disse atrás, mais pontos vulneráveis do que as casas de habitação. Das 140 afetadas, 40 eram estruturas abertas, 27 foram afetadas através das próprias paredes, 23 pelo telhado, 12 através de janelas, 10 pelas portas e outras tantas por respiradouros. Obviamente as estruturas abertas (ou qualquer outro elemento construtivo que permita a passagem sem obstáculos para o interior) estão muito mais sujeitas à entrada de fagulhas, aumentando a probabilidade de sofrer danos.

Como conclusão podemos referir que a localização de combustíveis a mais de 50m não teve grande impacto nos danos diretos, por isso não foi considerada essa classe. A partir desta distância apenas as projeções de partículas foram responsáveis por ignições. Confirma-se novamente que este é o principal mecanismo de ignição das estruturas na IUF. Ao contrário das casas de habitação e estruturas anexas, onde as ignições são sobretudo pelos telhados (71%), a vulnerabilidade nas indústrias está relacionada com os elementos e técnicas construtivos, nomeadamente as aberturas, paredes, janelas, portas etc. Obviamente os telhados também são um elemento importante de vulnerabilidade.

4.2 Estados Unidos da América

Nos EUA não têm, infelizmente, faltado casos de incêndios a afetar a IUF documentados em diversos relatórios técnicos (Gollner et al., 2015; Caggiano et al., 2020), por exemplo os incêndios de *Cerro Grande* (Cohen, 2000a), *Grass Valley* (Cohen and Stratton, 2008), *Witch and Guejito* (Maranghides and Mell, 2011), *Fourmile Canyon* (Graham et al., 2012), *Waldo Canyon* (Quarles et al., 2012; Maranghides et al., 2015), *Roaring Lion* (Cohen, 2016) ou *Amarillo* (Maranghides and Mcnamara, 2016), entre outros. Obviamente, nem todos os incêndios que afetaram a IUF foram alvo de análises detalhadas. Os incêndios mais recentes da Califórnia, apesar de serem dos maiores e mais destrutivos da história deste país, ainda não têm relatórios de análise ao impacto na IUF com suficiente detalhe que nos permita descrevê-los aqui. Ainda assim apresenta-se um resumo dos fatores associados à destruição de estruturas nos incêndios aí ocorridos entre 2013 e 2018 (Syphard and Keeley, 2019). Note-se que as conclusões de todos estes relatórios não diferem muito umas das outras, nem daquelas apresentadas nos estudos dos incêndios de 2017 em Portugal. Seleccionámos 5 casos que se encontram bem documentados na bibliografia, e que passamos a resumir.

4.2.1 Grass Valley, outubro de 2007

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Cohen & Stratton (2008), onde podem ser consultados mais detalhes.

O incêndio começou na madrugada de 22 de outubro de 2007, perto do Lago *Arrowhead*, nas montanhas de São Bernardino (Califórnia). As condições nesta região são extremamente semelhantes à realidade portuguesa, com mato e resinosas em zonas de declive acentuado, e uma meteorologia desfavorável em consequência de um período de seca prolongada, incrementada com os ventos quentes e secos de *Santa Ana*.

O comportamento do incêndio variou ao longo da sua progressão, desde fogo de superfície com árvores a arder isolada e ocasionalmente (mais comum), até fogos de copas ocasionais, mas intensos, em zonas mais declivosas (encostas sul e sudoeste).

O sentido de progressão inicial foi norte-sul, ao longo do vale, onde por volta das 09h30 impactou uma zona residencial densamente povoada. No início, uma densa chuva de projeções incendiou várias casas e a vegetação adjacente. Posteriormente estas provocaram ignição nas estruturas e vegetação vizinhas, sem qualquer interação do fogo principal, numa sequência que culminou, no final do dia, com a destruição de 199 casas. A área ardida total foi de aproximadamente 385 ha.

A Figura 9 mostra uma reconstrução da progressão do incêndio, com base em testemunhos obtidos durante a investigação. É interessante constatar que por volta das 11h30 o fogo deixava a zona residencial mais povoada, mas muitas casas só foram destruídas durante a tarde. É um sinal claro que o espaço defensável era deficitário e que as ignições terão sido causadas, ou por estruturas contíguas, ou por pequenas bolsas de material (natural ou artificial) a arder perto das casas.

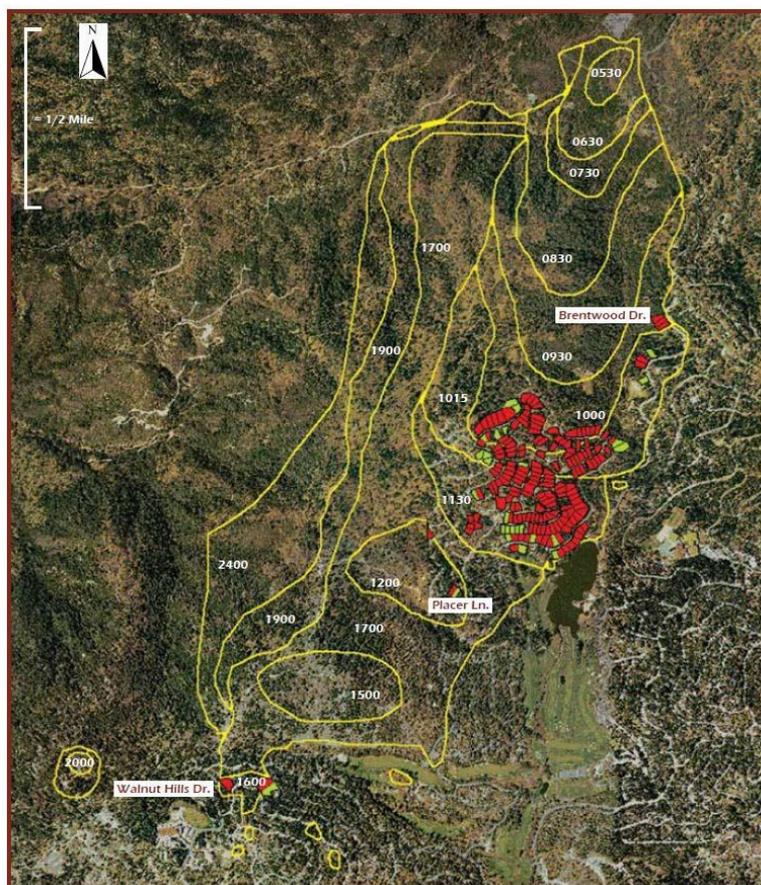


Figura 9. Isolinhas de progressão estimada do Grass Valley Fire, mostrando a localização das casas destruídas (vermelho) edanificadas (verde) (imagem retirada de Cohen & Stratton (2008).

Os resultados do relatório de Cohen & Stratton (2008) referem que a maioria das casas destruídas tinha vegetação verde ou apenas pouco ardida nas imediações e em muitos casos a zona de destruição envolvia mais do que uma casa. Isto sugere que a destruição não foi provocada por fogo de elevada intensidade que destruía tudo à passagem, mas antes por fogo de superfície que chegava até às casas, fagulhas que se depositavam em locais vulneráveis (nas casas ou contíguos) ou estruturas adjacentes que estavam a arder. Efetivamente, a maioria das ignições foi identificada como tendo sido provocada por projeções e apenas 6 como consequência direta de fogo de elevada intensidade a impactar na estrutura.

Ao haver várias ignições estrutura-a-estrutura, o incêndio ganhou características de incêndio residencial, sem mais influência do incêndio florestal. Estes incêndios residenciais foram responsáveis pela elevada intensidade que se fez sentir dentro da comunidade. No entanto, os espaços sem casas (lotes vazios ou o espaço longe das casas) ardeu apenas com fogo de superfície sem muita intensidade. Este facto sugere que, caso o espaço defensável das casas (HIZ) estivesse bem gerido, e as estruturas fossem resistentes, a maioria poderia não ter ardido.

4.2.2 Fourmile Canyon, setembro de 2010

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Graham *et al.* (2012), onde podem ser consultados mais detalhes.

O incêndio de *Fourmile Canyon* teve início a 6 de setembro de 2010, na região Sul das Montanhas Rochosas, no estado do Colorado (*Rocky Mountain Front Range*). Trata-se de uma região montanhosa com declives acentuados, ocupada maioritariamente por resinosas (*Pinus ponderosa* e *Pseudotsuga menziesii*). Na altura fazia-se sentir vento forte (24 km/h, com rajadas até 64 km/h) e humidade relativa muito baixa (<7%). No primeiro dia, o mais complicado, este incêndio queimou cerca de 2300 ha, destruindo 162 casas de habitação. À semelhança do que acontece noutros sítios do Mundo, Portugal incluído, as primeiras ações das forças de combate centraram-se em proteger as comunidades, sobretudo na evacuação de residências. Apenas no final do dia 6 os meios aéreos conseguiram levantar voo para proceder a manobras de extinção. O incêndio durou mais 3 dias, mas queimando pouco mais. Não houve vítimas a lamentar.

O incêndio iniciou por volta das 10h00, no final de uma série de dias com temperatura acima do normal. Nesta altura o teor de humidade dos combustíveis finos foi estimado em 5%, descendo até um valor extremamente baixo de 2 % perto das 17h00. A velocidade de propagação inicial foi elevada, com valores estimados de quase 1 km/h, de intensidade elevada e com projeções de partículas frequentes a distâncias até cerca de 1 km. O fogo progrediu sobretudo pela superfície, ocasionalmente subindo a algumas copas em povoamentos mais densos. Por volta das 20h00 desse mesmo dia 93% da área tinha já ardido.

Dentro do perímetro do incêndio, ou a menos de 30m do mesmo, contavam-se 474 casas, das quais 168 (35%) foram destruídas. De um modo geral foi possível associar a destruição de 29 (17%) a fogos de copas, mas a maioria (139 ou 83%) originou em fogo de superfície. As condições de propagação muito rápida e intensa ultrapassaram a capacidade e os esforços dos meios de extinção, e o fogo propagou para uma região com inúmeras habitações dispersas, ameaçando-as quase todas ao mesmo. Efetivamente, num curto espaço de tempo, ocorreu ignição simultaneamente em várias casas, favorecendo a ocorrência de um desastre na IUF, conforme a sequência descrita na Figura 1. Esta situação é comum em incêndios onde ocorre comportamento extremo do fogo na IUF, e normalmente, por muitos meios de combate que existam, eles nunca serão suficientes para proteger todas as estruturas. Apesar de a maioria das estruturas ser de madeira, não houve ignições casa a casa, pois a sua densidade era reduzida e os incêndios nestas foram lentos, inclusivamente iniciando ou continuando muito depois do incêndio passar. A decisão das autoridades foi de evacuar todas as 474 casas ameaçadas pelo fogo, acreditando-se que muitas delas arderam completamente por não terem ninguém por perto que as protegesse, ou apagasse pequenos focos de incêndio. Isto pode ser comprovado pelas inúmeras casas que foram completamente destruídas em zonas onde a vegetação envolvente praticamente não ardeu. Ou seja, as casas arderam porque algum pequeno foco de incêndio se manteve perto ou em contacto com elas o tempo suficiente. Veja-se por exemplo a Figura 10, onde uma casa foi totalmente destruída, mas a vegetação circundante não.



Figura 10. Exemplo de uma casa completamente destruída, cercada por vegetação não ardida (fotografia retirada de Graham et al.(2012))

Neste incêndio a percepção dos investigadores foi de que a insuficiência de recursos, descrita na sequência da Figura 1, aliada à ausência dos proprietários, que tinham sido retirados, teve como consequência a destruição total de muitas estruturas por não haver ninguém para extinguir os incêndios numa fase inicial. Os autores recorrem frequentemente ao conceito de *Home Ignition Zone* descrito (Cohen, 1995) para explicar o sucedido. Neste caso específico, bem como em outros referenciados no trabalho de Graham et al. (2012), a destruição de casas ocorre com maior frequência com incêndios de intensidade baixa a moderada perto das casas. Frequentemente os fogos de copas descem à superfície quando entram em zonas de IUF, onde a existência de estradas, passeios, vias de acesso, jardins, etc., quebram a continuidade da vegetação, diminuindo a intensidade de incêndios de superfície e de copas.

No entanto, os fogos de superfície não param, e em conjunto com as projeções de partículas do fogo principal (que pode estar a centenas de metros de distância) continuam a possibilitar a ignição das estruturas. Isto explica, segundo os autores, que a destruição de 83% das casas em *Fourmile Canyon* não esteja associada a fogos intensos. Foram encontradas casas intactas dentro de zonas onde a vegetação ardeu completamente, casas destruídas em áreas com vários graus de combustão da vegetação e, com maior frequência, casas destruídas rodeadas de vegetação não consumida. Isto é claramente indicativo de deficiências e vulnerabilidades na HIZ e na própria estrutura.

As conclusões da análise à destruição de casas em *Fourmile Canyon* referem claramente que a sobrevivência ou a destruição de casas expostas a chamas ou projeções de um incêndio, e deste em particular, não é determinada pelo comportamento geral do fogo ou pela distância das projeções, mas antes pelas condições em que se encontra a HIZ, nomeadamente o desenho, materiais de construção e manutenção da casa e a sua relação com a envolvente de 30m. A remoção de vegetação e de detritos no espaço contíguo à casa é fundamental para diminuir a probabilidade da sua ignição. Além disso, continuam os autores, se as árvores a menos de 30m de uma casa não são contínuas, ou são de folhagem caduca, o potencial para fogo de copas é mínimo e mesmo que árvores individuais ardam, a radiação a que a casa fica exposta será mínima.

O incêndio de *Fourmile Canyon* tinha sido o mais destrutivo (168 casas) e que causou maior prejuízo (200 milhões de dólares em perdas dos seguros) no Colorado desde 1976, altura em que começaram os registos estatísticos. Na mesma altura em que foi publicado o relatório de Graham et al. (2012), e no período de um ano (junho de 2012 a junho de 2013), outros três incêndios destruíram um total de 1.103 casas e quase 50.000 ha: *Waldo Canyon*, *High Park* e *Black Forest* (Maranghides et al., 2015).

4.2.3 Waldo Canyon, junho 2012

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Maranghides *et al.* (2015), onde podem ser consultados mais detalhes.

O incêndio teve início a 22 de junho de 2012, perto de *Colorado Springs*, no estado do Colorado, numa região com vegetação diversa, incluindo matos, herbáceas, carvalhos e diferentes resinosas. No final do dia seguinte ameaçou a pequena comunidade de *Cedar Heights*, mas sem causar a destruição de casas. No entanto, dois dias depois, a 26 de junho, destruiu 344 casas na comunidade de *Mountain Shadows* e danificou mais 103. A comunidade de *Peregrine* também foi atingida depois pelo fogo, mas sem destruição de casas. Até então o incêndio mais destruidor tinha sido o de *Fourmile Canyon*, descrito anteriormente. O incêndio de *Waldo Canyon* forçou a evacuação das 3 comunidades, obrigando à deslocação de mais de 3.0000 pessoas e tirando a vida a duas (Quarles *et al.*, 2013). Ao longo de 18 dias queimou cerca de 7.400 ha.

As condições de propagação nos primeiros dias originaram um incêndio de baixa intensidade, o que se refletiu na diminuta exposição das estruturas em *Cedar Heights* a projeções e impacto direto do fogo. Quando o fogo chegou à comunidade o vento variava entre 4 e 15 km/h, a temperatura entre 15 e 21 °C e a humidade relativa entre 21 e 31 %. Apenas uma casa foi atingida por fagulhas, mas sem consequências pois foi ativamente defendida. Além destes fatores, a contribuir para o baixo nível de impacto nesta comunidade esteve a atuação de equipas de combate indireto (com ferramentas manuais e *bulldozers*), uma faixa de interrupção de combustíveis nas imediações (1.300 m de extensão) e largadas aéreas de retardantes. Ainda que o fogo tenha passado a interrupção de combustíveis, a zona a jusante tinha a vegetação gerida, pelo que as equipas de combate com ferramentas manuais conseguiram extinguir o fogo, que continuou a progressão para nordeste.

O incêndio chegou a *Mountain Shadows* no final da tarde do dia 26, vindo das montanhas a Oeste onde exibia comportamento extremo e grande intensidade. O vento forte que se fazia sentir com a chegada do fogo (rajadas de 80-100 km/h) trazia incontáveis projeções, às vezes do “*tamanho de punhos*”. Ocorreram então condições extremas, com intensidades elevadíssimas trazidas pela convecção, mas também radiação do incêndio. A altura das chamas foi estimada em duas a três vezes a altura das árvores (25 a 30m). As evacuações dos bairros daquela comunidade foram feitas praticamente com o fogo a chegar. As estruturas começaram então a entrar em ignição, muitas em simultâneo e sem que houvesse capacidade de acorrer em sua defesa. A chuva de fagulhas causou dezenas de focos secundários por toda a comunidade, a diferentes distâncias do fogo, ignificando bolsas de vegetação e também casas.

Neste incêndio, ao contrário do anterior, observaram-se ignições de casa para casa, uma vez que a sua proximidade era maior. Os autores também constataram que em muitos casos a eficácia da HIZ foi muito baixa, uma vez que não encontraram uma relação clara entre o espaço defensável e a destruição de casas. No entanto, estas conclusões estão diretamente relacionadas com as avaliações que existiam pré-incêndio, e elas não foram feitas numa considerável parte das estruturas destruídas que não se encontravam na periferia da comunidade. Estas estruturas completamente inseridas dentro do espaço urbano foram muito provavelmente incendiadas por fagulhas, e aqui a gestão periférica de combustíveis não tem tanta influência. Refletindo sobre estes resultados, os autores referem que nestes casos, em que há uma elevada densidade de estruturas perto de espaços florestais, ou de matos ou ambos, com configurações topográficas que tornam expectável o comportamento extremo do fogo, torna-se necessário o uso de faixas de interrupção de combustível no exterior das comunidades, em complemento das ações de redução de vulnerabilidade das estruturas.

O incêndio atingiu ainda a comunidade de *Peregrine*, mas sem causar ignição nem destruição de casas. Mais uma vez o conjunto de ações defensivas, sobretudo com recurso a *bulldozers* e manobras de fogo tático, impediu que o incêndio impactasse na comunidade. Durante o período mais intenso do incêndio foram deslocados para aqui inúmeros recursos, terrestres e aéreos que contribuíram para a proteção das casas, e o desfecho positivo que se verificou no final.

No geral foram registadas 445 ignições em estruturas, sendo que os esforços dos meios de combate conseguiram salvar 101. Uma grande parte das ignições foi provocada por projeções que caíram em pontos

vulneráveis das casas ou da sua envolvente, à semelhança de muitos outros casos: alpendres, cercas, edifícios anexos, reentrâncias das paredes, telhados e coberturas e em zonas e telhados com materiais combustíveis. A ignição estrutura-a-estrutura teve também um peso importante na contabilidade final de casas destruídas.

4.2.4 Roaring Lion, julho de 2016

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Cohen (2016), onde podem ser consultados mais detalhes.

Este incêndio teve início a 31 de julho de 2016, por volta das 14h20, perto de *Roaring Lion Creek, Hamilton* no Estado de Montana, num dia com vento forte e humidade relativa muito baixa. A prevalência de resinosas em zonas de declive acentuado, com muito material morto no subcoberto, originou um incêndio rápido e de intensidade elevada, libertando inúmeras projeções que viajavam facilmente a 400m de distância da frente principal, originando novos focos de incêndio que em 5 a 10 minutos queimavam alguns hectares. O combate ao incêndio não foi possível durante algum tempo, até que a combinação de combustíveis, topografia e meteorologia se tornou favorável.

O maior impacto fogo ocorreu precisamente na tarde de 31 de julho, com 16 casas a serem destruídas e o fogo a queimar cerca de 1500 ha. Apesar do fogo propagar por longos períodos em fogos de copas ativos, na chegada ao espaço residencial ele desceu à superfície, ocasionalmente queimando algumas árvores isoladas. Na realidade, a maioria das casas da comunidade resistiu (36 em 52), 15 foram destruídas dentro do perímetro do fogo, e outra localizada a quase 150m do incêndio. Se se utilizar esta distância para contar as estruturas, então o número aumenta para 74 expostas, mantendo as 16 destruídas.

Este foi mais um caso em que a sequência de desastre na IUF, ilustrada na Figura 1, se verificou. As condições gerais de propagação eram extremas, e com múltiplas estruturas em combustão numa pequena comunidade com poucos recursos, a destruição ocorreu.

Mais uma vez se constatou a pouca influência do fogo principal na destruição das casas, com as ignições maioritariamente por projeções, e as casas destruídas a estarem rodeadas de vegetação não ardida (por exemplo a da Figura 11). Também neste caso as fagulhas viajaram a grandes distâncias, dando origem a ignições diretamente nas casas, ou provocando focos secundários no espaço residencial, que propagaram pela superfície levando o fogo às casas.



Figura 11. Exemplo de uma casa completamente destruída, cercada por vegetação não ardida (fotografia retirada de Cohen (2016)).

Para a ignição das casas contribuiu, mais uma vez, a gestão deficitária no espaço envolvente na HIZ, e, sobretudo, a fraca resistência estrutural das mesmas.

4.2.5 Os incêndios da Califórnia entre 2013 e 2018

A destruição nos últimos anos na Califórnia tem tido um caráter quase anual, mas a sua dimensão dificulta análises detalhadas mais ou menos rápidas, como nos casos anteriormente descritos. Por exemplo, só no *CampFire* (2018), 88 pessoas morreram e quase 19.000 estruturas ficaram destruídas (Keeley and Syphard, 2019). Mas analisando a uma escala global, Syphard & Keeley (2019) apresentam um estudo interessante sobre os principais fatores que estão associados à perda de estruturas nestes incêndios, no período entre 2013 e 2018. Para além das centenas de vidas humanas perdidas (o maior dos impactos), arderam ao longo destes anos milhares de estruturas. Este estudo incidiu sobre mais de 40.000 estruturas (ardidas e não ardidas) expostas a incêndios florestais e que foram alvo de relatórios de inspeção aos edifícios acerca da aplicação de medidas de mitigação dos impactos de eventuais incêndios florestais. Com base nestes relatórios acerca do espaço defensável (HIZ), e deixando de parte outros fatores como a topografia, os combustíveis ou a disposição das casas, os autores focaram-se em 3 questões que pretendiam ver respondidas:

- i. Quão importante foi a extensão do espaço defensável na distinção de estruturas destruídas e não destruídas?
- ii. Que características estruturais das casas foram associadas a uma maior suscetibilidade à destruição?
- iii. Estes padrões variaram por região?

Os relatórios de inspeção, base desta análise, focaram-se nas características das casas e da vegetação envolvente. Sem entrar em detalhes acerca da metodologia e resultados, que podem ser consultados no referido trabalho, apresentamos aqui as principais conclusões. A terceira questão não tem particular interesse aqui, mas podemos referir que apesar de algumas diferenças pontuais, os padrões não variam de região para região, pelo que referiremos apenas os resultados ao nível do Estado da Califórnia, pois são suficientemente representativos.

De 2013 a 2018 os inspetores examinaram 41.717 estruturas, com 90% danificadas ou destruídas pelo fogo em 36 Condados diferentes do Estado da Califórnia. A importância relativa de cada variável analisada é quantificada pelo desvio explicado, conforme observado na Figura 12.

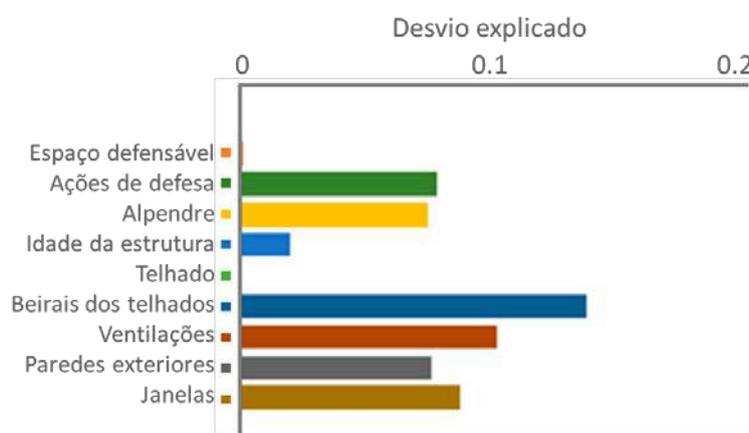


Figura 12. Desvio explicado por cada variável das inspeções a nível do Estado da Califórnia (adaptado de Syphard & Keeley (2019)).

Podemos observar que a importância do espaço defensável na destruição de estruturas é praticamente nula ao nível de todo o Estado da Califórnia. Ainda assim, dentro da variável “espaço defensável”, a maior sobrevivência foi associada a maiores distâncias médias, mas sem nunca passar os 35m. A distância média observada foi muito semelhante nas estruturas destruídas e não destruídas, (7 a 8 m), sendo ligeiramente superior nas não destruídas. Os autores referem que esta importância limitada do espaço defensável pode estar relacionada com as classes definidas nos relatórios de inspeção, que por terem sido definidas de uma forma muito ampla podem camuflar aspetos críticos que tenham tido algum impacto. Também não são tidos em conta aspetos importantes dos espaços defensáveis, como a existência de zonas irrigadas ou diferentes arranjos de vegetação.

Os aspetos construtivos das estruturas explicaram a maior parte da variação na destruição de estruturas. A existência de alpendres, sobretudo de madeira, telhados com reentrâncias (importante em algumas regiões, menos importante ao nível do Estado), beirais com reentrâncias e pontos vulneráveis, aberturas para ventilação desprotegidas, revestimento exterior vulnerável nas paredes ou a janelas menos resistentes explicaram a grande maioria da destruição observada em estruturas, conforme se observa na Figura 12. O aspeto mais importante foi a debilidade associada aos beirais, por onde entram muitas vezes as fagulhas provenientes dos incêndios, uma vez que o espaço entre as telhas e as estruturas dos telhados nem sempre se encontram bem vedados. As aberturas de ventilação sem a devida proteção anti-fagulhas é o segundo aspeto mais importante. Depois vêm as janelas de vidro simples, que cedem mais facilmente ao calor do que as de vidro duplo.

Um facto surpreendente, mas de grande relevância, é o de as estruturas que foram registadas com um espaço defensável superior a 30m terem sido praticamente todas destruídas. Tal sugere que a sobrevivência não está garantida quando o espaço defensável é muito grande, e que provavelmente é mais importante o espaço mais próximo das casas. Syphard *et al.* (2014) e Penman *et al.* (2019) abordam esta questão das distâncias que poderão maximizar a probabilidade de uma estrutura sobreviver a um incêndio florestal, e concluem que as distâncias ideais variam com aspetos locais e se situam entre 5 e 22m, longe dos 30 sugeridos nos EUA e muito longe dos 50m legislados em Portugal. Não encontraram ganho nenhum em criar espaços defensáveis superiores a esses 5 a 22m, antes sugerem que o foco deve estar em eliminar toda vegetação que está em contacto com a casa e as árvores ou ramos de árvores que se encontram pendentes sobre os telhados. À semelhança dos outros casos falados antes, também aqui se refere a importância que deve ser dada ao espaço adjacente às casas, sobretudo à separação física nos primeiros 1,5 a 2 m. É enfatizado o foco que deve ser dado à resistência à entrada de fagulhas dentro das casas, bem como a diminuição da probabilidade da sua deposição e ignição de materiais contíguos às mesmas.

Como reflexão final deste trabalho retemos o facto de que, na maioria das regiões englobadas na análise, as características das estruturas foram mais importantes para a sobrevivência da estrutura do que o espaço envolvente. A explicação mais provável é a de que a maioria das casas arde por deposição de partículas que normalmente vêm de fora do espaço defensável. Se as projeções dão em ignições ou não, depende largamente das características da estrutura.

4.3 Austrália

À semelhança dos EUA, a Austrália tem frequentemente anos catastróficos em termos de incêndios florestais, frequentemente associados a desastres na IUF. Os mais mortíferos e destruidores são normalmente no sudeste australiano, e frequentemente são eventos extremamente rápidos, de um dia ou algumas horas. Tradicionalmente, muitos destes complexos de incêndios ficam registados com o nome do dia da semana em que ocorreram. Resumiremos aqui o impacto na IUF de três dos mais marcantes eventos da história deste país: *Ash Wednesday* (1983), *Canberra* (2003) e *Black Saturday* (2009).

4.3.1 Ash Wednesday, fevereiro de 1983

A descrição resumida deste conjunto de incêndios e do seu impacto na IUF é retirada de Ramsay *et al.* (1987) e Blanche *et al.* (2006), onde podem ser consultados mais detalhes.

Os incêndios que ficaram conhecidos como *Ash Wednesday* (literalmente quarta-feira de cinzas, sem ligação com o evento católico) ocorreram no dia 16 de fevereiro de 1983, nos Estados da Austrália do Sul e Vitoria. Neste impactante evento contabilizaram-se 75 pessoas mortas, mais de 24.000 casas e cerca de 2.000 outras estruturas destruídas, 32.000 cabeças de gado mortas, entre outros prejuízos que totalizaram cerca de 400 milhões de dólares Australianos e mais de 300.000 ha arditos em pouco mais de 12 horas (Ramsay, 1985; Ramsay *et al.*, 1987; Blanche *et al.*, 2006; Australian Institute for Disaster Resilience, 2021).

O ano de 1982 e o início de 1983 viram a Austrália atravessar um período de seca que ia já em 10 meses, quando o complexo de incêndios devastou o Sudeste Australiano. Este período de seca culminou num dia com mais de 40°C, humidade relativa de 15 % e vento de 55 km/h (rajadas até 80 km/h), registando-se o mais elevado valor até então do índice de perigo de incêndio usado na Austrália, o *McArthur Forest Fire Danger Index* (FFDI, McArthur, 1967) que atingiu o valor recorde de 145 (Blanchi *et al.*, 2014).

Nas dezenas de incêndios que simultaneamente ardião por largas centenas de hectares atingiram-se velocidades de propagação em mato e herbáceas extremamente elevadas e alturas de chama de quase 200m (Alexander *et al.*, 2017).

Ramsay *et al.* (1987) avaliaram o impacto destes incêndios em 1.153 casas (ardidas e não ardidas) na região onde a destruição foi maior, *Otway Ranges*. Foi feita uma avaliação cobrindo 85 aspetos diferentes, incluindo muitos dos aspetos mencionados em outros trabalhos já descritos atrás (e.g. Ribeiro *et al.*, 2020), como por exemplo, o grau de dano, o tipo de construção, de telhado, de paredes ou de janelas, a existência de deques ou escadas em madeira, aberturas de ventilação, combustíveis nas imediações, declive, etc. (Ramsay, 1985).

Das casas analisadas, 720 ficaram destruídas ou muito danificadas, enquanto 433 tiveram danos ligeiros ou não foram afetadas. Os investigadores catalogaram os impactos do fogo nas casas em 6 classes de gravidade: não danificadas, danos superficiais, leves, médios ou avultados e por fim destruídas. Apenas 8% das casas foi classificada como “danificada, mas reparável”, indicando eles que quase todas as casas se encontravam ou num extremo ou no outro da escala.

Esta análise foi das primeiras a descrever as bases para a identificação dos mecanismos de ignição das estruturas originados em incêndios florestais. Na altura não foi possível realizar nenhuma análise estatística para quantificar a importância relativa de cada mecanismo, pois não era esse o objetivo do trabalho. Antes foi utilizada a opinião de especialista dos investigadores que produziram o trabalho. Não encontraram muitos indícios de que o contacto de chamas ou a radiação tivessem tido um papel importante na destruição das casas. No entanto, a radiação pode partir janelas ou danificar outros componentes frágeis das estruturas, abrindo caminho à entrada de fagulhas.

A principal conclusão a que chegaram foi que as projeções de partículas incandescentes de diferentes formas e tamanhos, trazidas pelo vento do incêndio, são o principal mecanismo de ignição das casas. Também acrescentam que os elementos combustíveis adjacentes contribuem para aumentar o risco de ignição. Na realidade identificaram uma correlação entre as árvores nas proximidades das casas e a propensão para a perda das mesmas, mas pouca diferenciação entre a presença de erva e arbustos nessa zona. Os resultados sugerem que a probabilidade de perda aumenta quando árvores e arbustos estão adjacentes ou sobre as casas, que a sobrevivência aumenta quando nenhuma vegetação está perto de casas, e que plantas bem localizadas e selecionadas que são mantidas podem reduzir o risco (Ramsay *et al.*, 1987; Blanchi *et al.*, 2006). Quando há ramos de árvores por cima das casas pode ocorrer a deposição de grande quantidade de combustíveis finos em cima e ao redor das mesmas, aumentando a probabilidade de ignição. Em alguns casos detetaram árvores adjacentes a casas que arderam intensamente, apesar de estarem isoladas de outra vegetação. Esta combustão, demorada, pode também provocar a ignição das casas contíguas.

4.3.2 Canberra, janeiro de 2003

A descrição resumida deste conjunto de incêndios e do seu impacto na IUF são retiradas de Leonard & Blanchi (2005), onde podem ser consultados mais detalhes.

Mais uma vez uma série de incêndios sucede a um período de seca prolongada e temperaturas elevadas (2 a 3 graus acima da média no final de 2002).

Na tarde de 18 de janeiro de 2003 descargas elétricas provenientes de uma tempestade seca estiveram na origem de uma série de incêndios, quatro dos quais foram responsáveis por grande parte dos danos ocorridos: *Bendora*, *Stockyard Spur*, *Mount Gingera* e *McIntyres Hut*, todos no estado de Nova Gales do Sul na zona Oeste de Camberra. O seu desenvolvimento foi extremamente rápido e ao final da tarde atingiram os subúrbios da zona Oeste e Sudoeste de Camberra, destruindo 519 casas. A área total destes incêndios foi

superior a 160.000 ha (McLeod, 2003). Um aspeto particular destes incêndios foi o aproximar dos incêndios de *McIntyres Hut* e *Bendora*, intersectando e formando um ângulo entre si, e que motivou no CEIF a abertura de uma linha de investigação dedicada a este tipo de “frentes convergentes” (Viegas *et al.*, 2012; Raposo *et al.*, 2014; Raposo, 2016). Conforme relatado por Viegas *et al.* (2012), a propagação extremamente violenta observada originou velocidades anormalmente elevadas e a formação de um tornado à frente da cabeça do fogo, no espaço entre os dois incêndios.

Poucos dias depois do incêndio (entre 21 de janeiro e 4 de fevereiro), Leonard & Blanchi (2005) analisaram 229 casas no subúrbio de *Duffy*, o primeiro a ser atingido e também o mais afetado. As casas foram catalogadas como intocadas, danificadas superficialmente, pouco danificadas ou destruídas. Um dos aspetos principais da investigação foi a recolha de informação acerca da causa da ignição de cada casa. Para este efeito foi dada particular atenção às casas danificadas, mas não destruídas, e que tinham ocupantes na altura da chegada do incêndio. Mais de 70 itens relativos às casas foram inventariados, alguns deles idênticos aos dos casos anteriormente descritos. Um dos primeiros aspetos mencionados neste trabalho é o facto de as condições ambientais terem um papel importantíssimo em todo o processo, pois o grau elevado de danos na IUF e dentro das áreas urbanas está diretamente relacionado com a existência de condições meteorológicas extremas (em particular a combinação de vento forte e secas). Estas condições, aliadas à falta de chuva, humidade relativa baixa ou mesmo restrições ao uso de água podem tornar a vegetação à volta dos edifícios muito seca e inflamável.

Este é mais um relatório em que são identificados os principais mecanismos de ignição das estruturas (fagulhas, chamas, ou convecção e radiação), sendo reafirmado que em estudos passados dos autores e da Instituição que representam (CSIRO), a maioria das casas destruídas usualmente sobrevivem à passagem do incêndio principal, mas acabam por arder nas horas que se seguem devido a pequenas ignições causadas por projeções de partículas incandescentes.

O nível de destruição observado neste caso, num ambiente urbano, é raro e a proporção de casas destruídas é muito elevada. A análise efetuada permitiu constatar que nenhuma casa em *Duffy* foi diretamente impactada pelas chamas da frente de fogo. Em 50 % dos casos, o mecanismo de ignição foi apenas a deposição de fagulhas e em 35 % a deposição de fagulhas combinada com alguma radiação proveniente da combustão de vegetação e/ou estruturas perto.

Um dos exemplos dados neste estudo enfatiza o aumento da probabilidade de sobrevivência das estruturas quando há gente dentro para as defender. Numa das casas o proprietário, que ficou a defendê-la, manteve-se atento durante o impacto do fogo. Algumas janelas partiram-se por causa da forte radiação vinda da casa vizinha, que estava a arder. Ao partirem deixaram entrar fagulhas e a radiação começou a danificar as componentes interiores (cortinas, mobília, carpetes). O morador conseguiu apagar todos os pequenos focos secundários dentro e fora da casa, e a estrutura sobreviveu sem danos de maior. Este e outros casos confirmam o que antes foi dito, acerca da utilidade de existir gente a proteger as casas.

Nestes incêndios a ignição estrutura-a-estrutura teve um papel importante após a passagem da frente de fogo. Durante muitas horas a combustão de estruturas e vegetação dos jardins foi libertando partículas e emitindo radiação suficiente para provocar ignição noutras estruturas, sobretudo a favor do vento que se fazia sentir. Veja-se o exemplo da Figura 13, onde a casa na parte superior (*31 Cargelligo*) foi a primeira a entrar em ignição devido a projeções. Mais tarde tornou-se a fonte de ignição das 3 casas em baixo. Todas elas estão cercadas de casas e vegetação não ardida.



Figura 13. Fotografia aérea de casas destruídas dentro do espaço urbano (retirado de Leonard & Blanchi, 2005)

Os residentes da casa *10 Somerset* ficaram durante o fogo, tentaram apagar todos os focos secundários na sua propriedade e na vizinha nº12. Não conseguiram evitar que esta última ardesse, mas salvaram a sua.

Das casas analisadas, a maioria tinha sido construída nos anos 70 do século passado (85 %), com 73 % tendo apenas um piso. Quase todas eram construídas em alvenaria (82 %), muito mais próximo da realidade portuguesa que os casos descritos nos EUA. Foram encontrados inúmeros pontos fracos, semelhantes aos casos anteriores, com o particular destaque de quase nenhuma das janelas terem sistemas de persianas (83 %).

Outra observação interessante diz respeito à vegetação próxima das estruturas, nomeadamente o uso de algumas espécies como as do género *Cupressus*, quer em árvores isoladas, quer em sebes vivas. À semelhança dos resultados obtidos no projeto WUIVIEW (Ribeiro & Almeida, 2020), em que o CEIF participou (www.wuiview.org), constatou-se que estas espécies produzem e acumulam grandes quantidades de material fino morto no seu interior, e em caso de incêndio ardem com intensidade muito elevada, podendo provocar ignições em estruturas contíguas.

4.3.3 Black Saturday, fevereiro 2009

A descrição resumida deste conjunto de incêndios e do seu impacto na IUF são retiradas de Leonard *et al.* (2009), onde podem ser consultados mais detalhes.

Os incêndios iniciados a 7 de fevereiro de 2009, no Estado de Vitória, são provavelmente dos mais mortíferos e destruidores a nível mundial, sobretudo tendo em conta o curto espaço de tempo em que estiveram ativos.

As condições meteorológicas extremas traduziram-se num novo record do índice de perigo de incêndio, FFDI, que terá atingido valores de 155, segundo Blanchi *et al.* (2014) e pontualmente de 180 na região de *Kilmore* (Leonard *et al.* (2009). Temperaturas de 45 °C e vento perto dos 90 km/h inviabilizaram quaisquer esforços de combate durante uma boa parte do dia. Em cerca de 10 horas o conjunto de todos os incêndios queimou mais de 400.000 ha, tirando a vida a 173 pessoas e destruindo milhares de casas e outras estruturas, particulares e privadas.

Foram inúmeras as ocorrências neste dia, sendo neste trabalho analisadas algumas das mais importantes: *Kilmore East*, *Murrindindi*, *Churchill*, *Maiden Gully (Bendigo)* e *Bunyip*. Os detalhes acerca do impacto humano e estrutural podem ser consultados na Tabela 16. Apesar de no total das fatalidades serem referidas apenas 171, a contabilidade final ficou em 173.

Tabela 16. Resumo das consequências dos incêndios de 7 de fevereiro de 2009 (adaptado de Leonard et al., 2009).

Incêndio	Número estimado de casas no perímetro do incêndio	Casas destruídas	Casas com danos leves	Casas sem danos	Casas analisadas	Fatalidades	Área florestal ardida (ha)
<i>Bunyip</i>	240	35	21	184	14	0	180.000+
<i>Churchill</i>	359	133	86	140	140	11	150.000+
<i>Kilmore East</i>	3.540	1.244	530	1.766	705	121	32.800+
<i>Maiden Gully</i>	172	48	21	103	56	1	500+
<i>Murrindindi</i>	1.064	590	74	400	150	38	24.500+
<i>Total</i>	5.375	2.118	832	2.593	1.065	171	390.000+

O trabalho de Leonard *et al.* (2009) consistiu na análise destes 5 incêndios, procurando recolher dados e testemunhos (mais de 110 itens relacionados com 11 temas diferentes) que permitissem identificar i) as vulnerabilidades das casas relativamente à intensidade do fogo observada, ii) a eficiência dos diferentes mecanismos de prevenção (espaço defensável, sistemas de *sprinklers* e outras medidas identificadas durante o trabalho), iii) o impacto do planeamento urbano e do controle da construção e iv) outros assuntos relevante que surgissem durante o trabalho. Ao todo analisaram 989 parcelas cadastrais, sendo que algumas continham mais que uma casa (ao todo 1065 estruturas). Ao todo 58 % das casas ficaram totalmente destruídas e 25 % sem qualquer dano. As restantes tiveram danos de ordem diferente. As causas dos danos são maioritariamente relacionadas com o fogo (seja qual for o mecanismo), mas 13 % das casas danificadas ou destruídas foram-no numa combinação de fogo e vento.

Relativamente aos mecanismos de ignição, cerca de metade das casas analisadas (52 %) entrou em ignição por causa de projeções apenas (19 %) ou numa combinação de projeções e alguma radiação (33 %). Apenas 24 arderam simplesmente por causa da radiação (5 %) e 67 por contacto das chamas e convecção vinda da vegetação adjacente a arder (13 %). Houve um número relativamente elevado de estruturas cuja causa de ignição não foi apurada (cerca de 22 %). Os relatos das entrevistas realizadas a residentes falam da existência de muitas casas a arder após o fogo ter passado, normalmente por causa de pequenos focos que não foram apagados. Houve também testemunhos de que o calor intenso tornava impossível estar fora de casa aquando da passagem do fogo, mas dentro de casa estiveram em segurança, durante 30 a 45 minutos, em alguns casos mais.

Quanto aos sistemas de proteção, foram encontradas e analisadas 82 casas que tinham sistemas de *sprinklers* instalados. Destas, 27 % foram destruídas e 37 % não tiveram qualquer dano. As restantes sofreram distintos graus de dano.

Em alguns casos concretos foram analisadas as distâncias das estruturas afetadas ao espaço florestal. Por exemplo em *Marysville*, cerca de 40 % das estruturas destruídas estavam a menos de 10m dos combustíveis florestais. Usando dados de LiDAR, e considerando espaço florestal aquele que tem árvores maiores que 8m, constatou-se que na zona Oeste de *Murrindindi* as distâncias nas casas destruídas variavam entre 7,27m e 38,7m, mas as sobreviventes existiam a pouco mais de 12m do espaço florestal (Tabela 17).

Tabela 17. Distâncias das casas à floresta, estimadas com recurso a LiDAR (adaptado de Leonard et al., 2009).

Distâncias em metros	Casas não danificadas	Casas com danos leves	Casas com danos severos	Casas destruídas
<i>Número de casas</i>	137	61	29	361
Mínima	12,8	10,6	6,72	7,27
Média	30,2	23,9	15,4	17,8
Máxima	64,1	48,5	36,5	38,7

De um modo global, a distância ao espaço florestal foi capaz de explicar apenas 20 % da variação entre sobrevivência e destruição das casas, mas há uma correlação entre o grau de coberto florestal nas imediações das casas e a probabilidade de elas arderem.

Algumas das conclusões deste relatório alinham com as observadas nos trabalhos anteriores, das quais salientamos:

- a possibilidade de defesa ativa das estruturas tem um impacto grande na sua sobrevivência;
- a qualidade da construção, a sua manutenção e a sua idade parecem ter influência na probabilidade de sobrevivência;
- o vento pode só por si danificar as casas, tornando-as mais vulneráveis ao fogo;
- as construções de alvenaria são as mais resistentes;
- a existência de vegetação adjacente às casas, ou de ramos encostados ou por cima dos telhados tem um impacto grande na probabilidade de destruição das casas;
- a existência de meios autónomos de defesa é importante na sobrevivência das estruturas, tendo em atenção que o abastecimento de água e eletricidade podem falhar a qualquer momento.

4.4 Canadá

À data deste relatório, o Canadá acaba de ultrapassar recordes de temperatura na zona Este. No passado dia 29 de junho de 2021 na cidade de *Lytton* (Columbia Britânica) os termómetros registaram 49,6 °C, batendo o recorde de 45 °C datado de 1937 (The Guardian, 2021). No mesmo dia ao final da tarde um incêndio atingiu a pequena cidade, e com ventos de quase 65 km/h e trovoadas a originarem mais de 700.000 relâmpagos, a sua velocidade foi tal que não houve tempo para emitir avisos de evacuação. O incêndio terá morto pelo menos duas pessoas e destruído a maioria das estruturas da cidade (Figura 14). Atente-se à localização de muitas casas, distantes do espaço natural, e à vegetação não ardida pelo meio delas. É muito provável que as debilidades construtivas das edificações e a falta de gestão pró-ativa das mesmas as tenha deixado vulneráveis às projeções vindas do incêndio. Este é apenas um exemplo, mas, apesar dos esforços que o País tem feito no apoio ao aumento da resistência e resiliência das comunidades (por exemplo com o programa *Firesmart Canada*), têm ocorrido nos últimos anos diversos casos de impacto de incêndios na IUF. Resumiremos aqui três deles, que foram até à data os que maior impacto económico tiveram. Dois deles são os piores desastres na IUF nos últimos anos, e outro um dos incêndios recentes mais mediáticos do país. A abordagem das análises encontradas para estes casos é diferente das anteriores, e o foco é na descrição dos incêndios como um todo, não havendo tanto detalhe de análise ao impacto na IUF. A exceção é feita ao incêndio de *Fort McMurray*.



Figura 14. Pormenor da cidade de Lytton, após a passagem do incêndio (retirado de CNN, 2021).

4.4.1 Okanagan Mountain Provincial Park, agosto de 2003

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Westhaver (2015), Hughes & Simak, (2019) e Porter *et al.* (2021), onde podem ser consultados mais detalhes.

O incêndio de *Okanagan Mountain Provincial Park*, na Columbia Britânica, teve início a 16 de agosto de 2003 perto da ilha de *Rattlesnake* e foi provocado por um relâmpago por volta das 4 da manhã. O verão desse ano foi um dos mais secos da história até então e, além das elevadas temperaturas, fazia sentir-se um vento extremamente forte. O incêndio consumiu 26.600 ha, sobretudo de floresta, no Parque Provincial de *Okanagan Mountain* e demorou 30 dias até ser extinguido. A maior parte da destruição de casas ocorreu nos primeiros sete dias.

Trata-se de uma zona montanhosa, com declives de 10 a 20 % e com múltiplas linhas de água a criar outros tantos desfiladeiros. O coberto é dominado por resinosas e vegetação herbácea. Uma vez que o incêndio começou de noite, quando havia vento forte e numa zona de difícil acesso, a sua progressão inicial foi extremamente rápida e não foi possível contê-lo. Nos primeiros quatro dias arderam 13.000 ha. O fogo progrediu sobretudo para norte e nordeste, pois no seu flanco oeste encontrava-se o Lago *Okanagan*, ameaçando uma série de casas isoladas aí localizadas. O vento forte empurrou o fogo até à cidade de *Kelowna*, onde chegou no dia 22 de agosto. Grande parte da zona sul da cidade estava ainda em desenvolvimento e havia muitos lotes ainda por construir, estando na sua maioria ocupados por herbáceas. Havia, portanto, situações de interface pura, mas também de *intermix*, com a vegetação selvagem misturada com as casas. O incêndio obrigou à retirada de cerca de 33.000 habitantes da zona sul da cidade (cerca de 20 % da população total) e acabou por destruir 238 casas na periferia e dentro do perímetro urbano (Goemans and Ballamingie, 2013). Estas casas no perímetro urbano estavam maioritariamente em grupos grandes, e terão sido afetadas em conjunto.

Apesar de não haver análises específicas aos mecanismos de propagação e vulnerabilidades das estruturas, todos os trabalhos analisados indicam a prevalência das ignições provocadas por projeções, havendo também alguns casos de ignição estrutura-a-estrutura. Beck & Simpson (2007) fazem uma análise detalhada ao potencial das projeções na destruição das casas neste incêndio. A Figura 15 mostra como o incêndio (linha vermelha) passou de modo diferenciado pelos bairros no sul da cidade. Apenas algumas casas arderam (pontos a preto) enquanto a maior parte sofreu danos ligeiros ou não sofreu danos (rosa escuro). A amarelo torrado apresentam-se os povoamentos florestais com elevado potencial para produzirem projeções, e cuja proximidade para as zonas de maior destruição é notória.

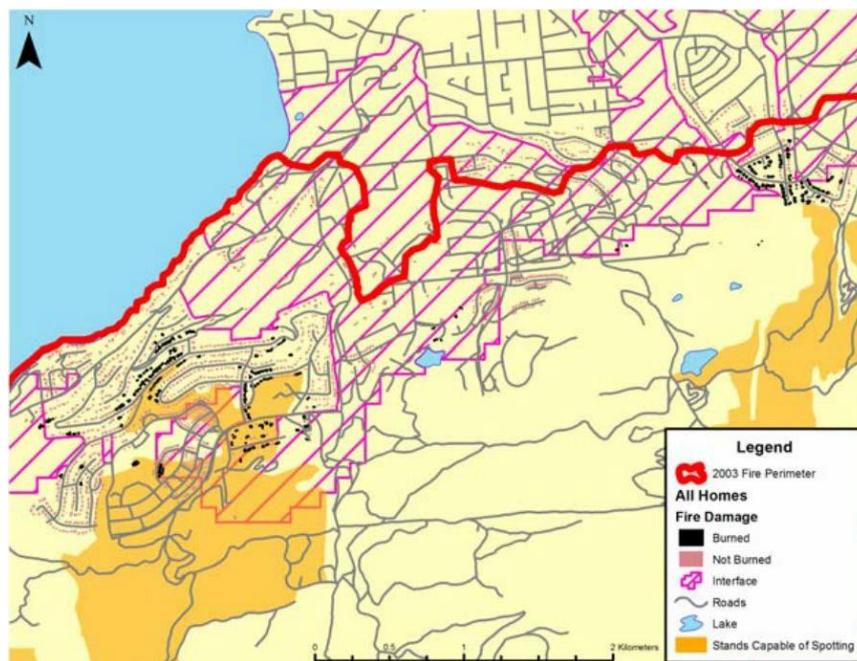


Figura 15. Mapeamento das estruturas destruídas e não destruídas pelo fogo, bem como da localização de povoaamentos florestais capazes de produzir projeções de partículas.

O incêndio teve um impacto económico muito grande, estimado na altura em mais de 200 milhões de Dólares Canadianos. As casas mais vulneráveis ao incêndio situavam-se nos bairros do Sudoeste de *Kelowna*, duas áreas com propriedades residenciais de alto valor que tinham gradualmente invadido o espaço florestal circundante à cidade. Nos cinco anos anteriores a 2003, os imóveis nestes bairros representaram aproximadamente 15% da construção de novas casas em *Kelowna*, com preços muito mais elevados que no resto da cidade (Goemans and Ballamingie, 2013).

Morreram neste incêndio 3 pessoas em acidentes relacionados com aviões de combate a incêndios (Ronchi *et al.*, 2021).

4.4.2 Flat Top Complex, maio de 2011

A descrição resumida deste complexo de incêndios e do seu impacto na IUF são retiradas de FTC-WRC (2012) Westhaver (2015) e Porter *et al.* (2021), onde podem ser consultados mais detalhes.

Este complexo de incêndios é composto por 3 ocorrências distintas, todas elas de origem humana, sendo duas delas as de maior relevo e impacto.

As ignições ocorreram a 15 de maio de 2011 na região de do Lago *Lake*, na Província de Alberta. Apesar de os combustíveis mais pesados não estarem muito secos, a humidade dos combustíveis finos foi estimada como muito baixa, e foram estes os responsáveis pela rápida progressão dos incêndios. A neve tinha desaparecido por completo da região há pouco tempo (WSDG, 2012) e a temperatura ainda não era muito elevada (cerca de 14 °C a 15 de maio), mas a humidade relativa muito baixa (29 %) e o vento muito forte (perto de 60 km/h, com rajadas superiores a 110 km/h) foram fatores preponderantes para o comportamento extremo do fogo. Havia na região florestas mistas de resinosas e folhosas, mas com grande continuidade. Ao todo arderam cerca de 22.000 ha.

As duas principais ocorrências originaram a destruição de 510 estruturas (entre habitações e outro tipo de estruturas) na pequena cidade de *Slave Lake* e nas comunidades vizinhas de *Canyon Creek*, *Widewater* e *Poplar Estates*. A maior parte dos danos ocorreu aproximadamente 31 horas depois da ignição praticamente simultânea de ambos. Os danos estimados atingiram 3 vezes o valor dos incêndios de 2003 (onde se inclui o descrito no ponto anterior), rondando os 700 milhões de dólares canadianos.

Também neste complexo de incêndios não há muitos detalhes sobre os mecanismos de ignição das estruturas ou outros aspetos detalhados em casos anteriores, mas é evidente em todos os relatórios a constatação da preponderância de casas destruídas devido à deposição de fagulhas vindas da vegetação a arder nas proximidades. O facto de as construções serem na sua maioria de madeira também ajuda a explicar parte da destruição.

Na manhã de 15 de maio, um dos dois incêndios tinha já danificado algumas casas na comunidade de *Poplar Estates*. As ações de combate e uma ligeira melhoria da meteorologia durante a noite impediram a propagação ativa do incêndio. Mas ao início da tarde, o vento forte fez com que o incêndio se desenvolvesse rapidamente, sobretudo por focos secundários que eram provocados pelas inúmeras projeções, que o mesmo transportava. Os meios aéreos conseguiram durante algum tempo impedir que o incêndio afetasse mais comunidades, mas as condições meteorológicas impediram que a sua atuação continuasse depois das 16h00, altura em que o fogo se começou a aproximar da cidade de *Slave Lake*. A cidade foi evacuada e as casas começaram a incendiar-se antes do fogo chegar, por causa da chuva de partículas incandescentes, mas também da ausência de pessoas para controlar as ignições que iam surgindo. Só nesta cidade arderam 428 moradias singulares, 7 moradias multifamiliares e 19 outras estruturas. A biblioteca municipal, a Câmara Municipal e o edifício do Governo da Província também foram destruídos.

Um aspeto interessante a destacar é que na região onde se insere a cidade de *Slave Lake* tinha havido, antes do incêndio, algumas iniciativas de gestão de combustíveis no âmbito do programa *Firesmart*, mas conforme refere a Comissão que analisou o incêndio (FTC-WRC, 2012), não só foram iniciativas isoladas, sem uma visão estratégica comum, como os próprios residentes não estavam completamente inteirados delas nem tão pouco tinham conhecimento das medidas de autoproteção e gestão que poderiam desenvolver individualmente.

Os incêndios pouco progrediram depois do dia 18 de agosto. Nota ainda para a morte de um piloto de helicóptero, a 20 de maio.

4.4.3 Fort McMurray (Horse River Fire), maio de 2016

A descrição resumida deste incêndio e do seu impacto na IUF são retiradas de Westhaver (2017), onde podem ser consultados mais detalhes.

O incêndio de *Horse River*, mais conhecido por *Fort McMurray* (a cidade mais afetada) foi detetado na tarde de 1 de maio de 2016, a sudoeste desta cidade (Província de Alberta), quando teria cerca de 2 ha. Só foi dominado a 13 de junho, quando a área ardida ultrapassava já o meio milhão de hectares (cerca de 590.000 ha). A região vinha sofrendo, nos dias anteriores ao incêndio, uma seca relativamente prolongada devido ao fenómeno do *El Niño*, acompanhada de temperaturas com máximos de 35 °C e vento até 43 km/h (Landis *et al.*, 2018).

O incêndio causou a destruição de 2.400 casas e obrigou à evacuação (obrigatória) de toda a cidade de *Fort McMurray*, num total de quase 90.000 residentes deslocados, em poucas horas.

Logo no seu início o incêndio teve uma velocidade de propagação muito rápida, que impediu o seu controle efetivo. Em pouco tempo ameaçou áreas urbanas propagando com fogos de copas intensos em povoamentos densos de resinosas ou mistos. Logo no final do primeiro dia começaram as evacuações nas áreas rurais perto de *Fort McMurray*. Cerca das 15h00 de 3 de maio o fogo, já com 3.000 ha, chegou à zona oeste da cidade, começando a incendiar algumas casas. Na manhã do dia 4 teriam já sido destruídas 1.600 casas e a área ardida estaria perto dos 10.000 ha. A destruição de estruturas durou mais alguns dias, até ao dia 5, quando o incêndio tinha já uma área ardida de 85.000 ha. As perdas registadas em termos de seguros rondaram os 4.000 milhões de dólares canadianos, muito acima de qualquer outro incêndio registado na história do país.

Westhaver (2017) realizou para o *Institute for Catastrophic Loss Reduction* Canadano um exame muito detalhado do impacto deste incêndio nas estruturas, tentando obter respostas para a questão que dá título ao seu relatório: “Por que é que algumas casas sobreviveram: aprender a partir do desastre na Interface Urbano-Florestal de *Fort McMurray*”.

"O desastre na Interface Urbano-Florestal de Fort McMurray proporcionou uma oportunidade sem precedentes de aprender em primeira mão sobre a sobrevivência e ignição de casas. Os resultados de evidências no terreno, combinados com observações relativas ao arranjo de casas, combustíveis florestais e intervenções entre eles levaram à conclusão de que a grande maioria das ignições iniciais das casas dentro desta zona de transição foram provavelmente causadas por projeções do incêndio florestal. Com base nos locais visitados, não foram observados casos em que a ignição das casas pudesse ser atribuída com confiança ao contacto direto com as chamas do incêndio principal, e havia muito poucas observações em que a ignição se deveu apenas ao calor da sua radiação."

A análise apresentada é exaustiva, talvez ao nível dos trabalhos apresentados para Pedrógão Grande, ou alguns dos casos dos EUA, e pode ser consultada em detalhe no referido trabalho. Retemos aqui as principais conclusões, sendo que a primeira delas praticamente responde à mencionada questão, colocada pelo próprio autor:

- A sobrevivência das casas não foi aleatória. As que sobreviveram ao incêndio com pouco ou nenhum dano eram menos vulneráveis à ignição (por projeções ou radiação) e isso deveu-se à ausência ou baixo nível de fatores de risco que aumentam a probabilidade de ignição estrutural (relacionados com gestão de combustíveis, à abundância de locais propícios à ignição e às características estruturais da própria casa).
- Os princípios orientadores do programa *Firesmart*, quando cumpridos na sua globalidade, aumentam a probabilidade de sobrevivência das casas.
- Apesar do intenso calor (radiação) vindo do fogo que chegou à cidade, as casas da primeira linha não arderam por sua causa. Houve danos consideráveis em muitas casas, mas na maioria não houve destruição total provocada pela radiação. Para isso contribuiu a existência de gestão de combustíveis na periferia de *Fort McMurray*.
- O comportamento extremo evidenciado pelo fogo terá produzido incontáveis projeções de partículas, que foram transportadas por dezenas, centenas e até milhares de metros, atingindo a periferia e o interior da zona oeste da cidade muito antes do incêndio. A sua quantidade era de tal ordem que o autor refere que a dada altura não foi apenas uma chuva de partículas, mas antes uma "inundação de partículas".
- Estas partículas foram responsáveis pela maioria das ignições na periferia urbana de *Fort McMurray*, depositando-se sobretudo em vegetação residencial ou ornamental adjacente às casas (até 20m), em combustíveis artificiais acumulados nos quintais, deques, alpendres, varandas ou outros locais encostados às casas e em elementos estruturais das casas que eram combustíveis.
- Nas zonas fora da periferia houve muitos casos de ignição estrutura-a-estrutura, sem a influência direta do incêndio. Nestes casos a combustão era muito intensa e a libertação de partículas também. O autor afirma que a maioria das casas entrou em ignição deste modo.

Um outro aspeto importante abordado pelo autor refere-se ao conceito de "*Fire Pathways*", ou "Caminhos do Fogo", que retrata o percurso que o fogo segue desde o momento em que há uma ignição até ao momento em que o fogo destrói a estrutura. Nas casas em que foi possível reconstruir os incidentes, foram identificados seis caminhos:

- i. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam folhas secas no chão; as chamas propagam para as árvores adjacentes às casas, que por sua vez incendeiam os deques de madeira através da forte radiação que emitem, passando as chamas para a casa.
- ii. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam acumulações de resíduos vegetais (restos de madeira ou de ramos, por exemplo), as chamas incendeiam vegetação ornamental (resinosas), que por sua vez incendeia os deques por radiação, passando em seguida o fogo para a casa.
- iii. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam erva seca, as chamas propagam a cercas de madeira, que por sua vez incendeiam as árvores nas imediações, cuja radiação incendeia barracão de madeira anexo à casa. As chamas do barracão incendeiam a casa.

- iv. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam folhas secas no chão; as chamas propagam para pilha de lenha cortada acumulada, cuja radiação incendeia o combustível do corta-relva, que por sua vez incendeia a casa.
- v. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam acumulações de resíduos vegetais (restos de madeira ou de ramos, por exemplo), o fogo passa para pilha de madeira (em tábuas ou troncos sem ser cortados), cuja radiação incendeia deque de madeira que passa o fogo para a casa.
- vi. Fagulhas transportadas pelo vento que incendeiam erva seca e folhada junto de árvores ornamentais, que entram também em ignição, passando o fogo para a casa.

Este conjunto descritivo e intuitivo de 6 processos pode parecer quase repetitivo ou até redundante, mas explicou os processos de praticamente todas as ignições provocadas por projeções em *Fort McMurray*. Note-se que todos os caminhos do fogo começam com fagulhas transportadas pelo vento. Ainda que seja um conceito novo, e que carece de mais análise e desenvolvimento, olhando para cada sequência é possível identificar ou até escolher onde atuar para quebrar a cadeia e impedir a ignição das casas.

O relatório não analisa em detalhe as estruturas que arderam por ignição direta de outra estrutura em chamas. O facto de muitas casas serem de madeira facilita este processo, que acaba por ser mais um problema de incêndio estrutural.

4.5 Grécia

A Grécia tem características semelhantes a Portugal no que diz respeito a incêndios florestais. Do mesmo modo, tem tido anos particularmente destrutivos e mortíferos em termos de incêndios florestais. Apesar de não existirem estudos detalhados sobre o impacto destes incêndios nas estruturas, referimo-los aqui brevemente, sobretudo pela destruição que causaram.

Entretanto, já neste ano de 2021, houve uma vaga de incêndios avassaladora, mas até à data da realização deste relatório não existem estudos de análise ao seu impacto.

4.5.1 Artemida, agosto de 2007

Em 24 de agosto de 2007 mais de 270.000 ha arderam, afetando cerca de 110 localidades (destruindo mais de 3.000 casas) e matando 78 pessoas (Viegas *et al.*, 2009). Grande parte da destruição (e mortes) ocorreu na região de *Artemida*. Neste incêndio, a primeira localidade a ser afetada foi *Makistos* (Xanthopoulos *et al.*, 2009), onde morreram duas pessoas e 46 das 60 casas existentes sofreram danos. Muitas das casas foram salvas pelas poucas pessoas que ficaram na aldeia a protegê-las (quase toda a gente fugiu pouco antes do fogo chegar). A seguir o fogo chegou à povoação de *Artemida*, para onde os habitantes de *Makistos* tinha fugido anteriormente. Com a chegada do fogo aqui, estas, e a maioria da população de *Artemida*, fugiram em pânico, separadas em dois grupos. Um dos grupos foi apanhado pelo fogo, e quase todos morreram, num total de 23 pessoas. O outro grupo, bem como as pessoas que ficaram em casa, na aldeia sobreviveu. Xanthopoulos *et al.* (2009), numa análise ao acidente, referem que neste, e noutros casos semelhantes, a evacuação generalizada e obrigatória de localidades nem sempre é a melhor opção, e que muitas vezes a possibilidade de sobrevivência das estruturas, e em último caso dos próprios habitantes, é maior se as pessoas se mantiverem em casa. Também enfatizam a utilidade da gestão de combustíveis perto das comunidades, por proporcionar melhores condições de segurança na eventualidade de um incêndio florestal chegar perto.

Apesar do grande impacto destes incêndios, não encontramos estudos sobre o impacto do fogo nas edificações, apenas sobre a propagação do fogo e, sobretudo, os acidentes mortais.

4.5.2 Attica, julho de 2018

Em julho de 2018 ocorreu neste país o pior desastre (associado a incêndios florestais) das últimas décadas, a nível Europeu, em termos de perda de vidas humanas e o pior a nível Mundial depois das 173 vítimas do *Black Saturday* (ver secção 4.3.2). Falamos do incêndio de *Attica*, que praticamente destruiu a cidade de *Mati*, matando 102 pessoas (Xanthopoulos & Mitsopoulos, 2018; Caballero, 2019, 2020; Xanthopoulos & Athanasiou, 2019; Efthimiou *et al.*, 2020). O incêndio começou a 13 de julho, pelas 16h40 na zona este do

Monte *Penteli* (*Daou Penteli*, cf. Figura 16), 20 km a Nordeste de Atenas e a cerca de 5 km da costa este de *Attica*. A meteorologia geral da zona indicava vento muito forte nas primeiras horas do incêndio (entre 32 e 56 km/h, com rajadas de 50 a 89 km/h), mas a temperatura não excedia 31 °C e a humidade relativa estava entre 34 e 43 %. No entanto, dada a configuração do terreno e o vento catabático, ou descendente, (Kumar, 2011), que soprava em direção ao mar, os dados locais, medidos na região de *Mati*, indicavam 38 °C de temperatura, 17% de humidade e rajadas de vento até 120 km/h, formando condições para ocorrência de múltiplos fenómenos de propagação extrema do fogo. Houve uma série de fatores a contribuir para o desfecho trágico, incluindo a própria propagação do fogo dentro de uma área povoada, a falta de uma visão global das operações, falta de coordenação entre as agências e uma incorreta avaliação inicial, subestimando o potencial do incêndio (Xanthopoulos & Mitsopoulos, 2018).

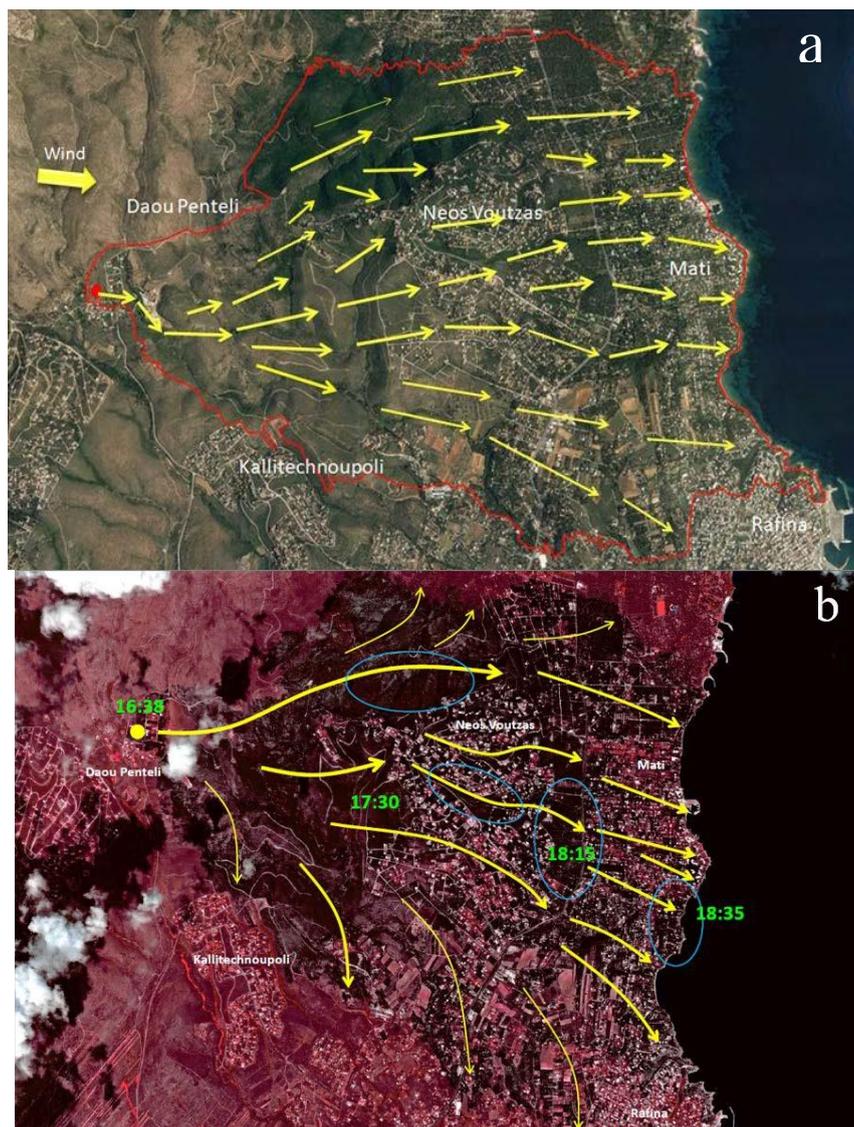


Figura 16. Imagens aéreas da região de Attica e do perímetro do incêndio (a - adaptado de Caballero, 2019), mostrando a sua propagação geral (b - adaptado de Caballero, 2020).

Em cerca de 2 horas o fogo percorreu 5 km, até chegar ao mar e terminar a sua propagação. As fotografias aéreas da Figura 16 (adaptada de Caballero, 2019 e Caballero, 2020) mostram a propagação estimada e o perímetro final do incêndio, que queimou menos de 1.500 ha de ocupação maioritariamente formada por matos, oliveiras e pinheiro do Aleppo, bem como terrenos urbanizados (Xanthopoulos & Athanasiou, 2019). Em ambas é possível ver a enorme densidade de estruturas, misturadas com vegetação, que existe na zona impactada. Tendo em conta a proximidade das casas, sobretudo na zona perto do mar, bem como a evidente ausência, aparentemente total, de gestão de combustíveis, não é de estranhar o trágico desfecho: 102 mortos,

quase 200 feridos, mais de 700 pessoas deslocadas das casas, mais de 4.000 afetadas diretamente pelo incêndio, 700 casas destruídas e 1.500 danificadas. O modo como o fogo destruiu as estruturas foi muito particular. Por causa da inusual intensidade do vento descendente, o fogo propagou de uma forma muito rápida, com a convecção originada pela combustão a levar os gases quentes à sua frente e provocando múltiplas ignições na vegetação e em componentes mais frágeis de estruturas ou materiais nos quintais. Há relatos de copas a entrar em combustão sem o fogo principal estar ainda sequer presente (fogos de copas independentes). Por causa da falta de ordenamento das casas, bem como da contiguidade da vegetação ornamental, a combustão simultânea de ambos provocou um efeito de cascata, incendiando cada vez mais casas adjacentes na direção da propagação principal, alimentando o próprio incêndio.

Caballero (2019) lista uma série de lições aprendidas neste incêndio, referentes à realidade Grega, mas com algum paralelismo com a situação vivida em Portugal. Destacamos aqui algumas, numa tradução livre:

- Cada vez mais pessoas vulneráveis, sem qualquer sentido de consciência de risco e despreparadas para a autoproteção, estão expostas a cenários cada vez mais perigosos de incêndios florestais na IUF. Apesar de termos casas construídas com materiais resistentes, o ambiente criado resulta fatal num evento de incêndio.
- Viver de costas voltadas para o risco de incêndio, ser permissivo com construções ilegais, permitir que o combustível circundante se acumule, não cuidar dos objetos e materiais acumulados, tudo isto pode custar vidas. E sem uma reação adequada, este é o primeiro de uma série dramática de eventos semelhantes no futuro.
- O tipo de IUF denominado “*intermix*” deve ser fortemente regulado e transformado. Como é hoje, o *intermix* oferece a melhor combinação de fatores para uma tragédia, como tivemos em *Mati*. Se as pessoas decidirem viver numa zona destas, a vegetação tem de ser transformada drasticamente, preservando o coberto de árvores numa dada densidade, removendo todo o subcoberto, mantendo o chão coberto de erva verde, proporcionando uma rede de acessos adequada e garantindo o acesso aos pontos de segurança. Em suma, o *intermix* deve parecer um parque de cidade.
- Nestes acontecimentos catastróficos com um desenvolvimento extremamente rápido (*Nota dos Autores: como aconteceu também em Portugal em 2017, sobretudo em Pedrogão Grande*), as operações de combate a incêndios são perigosas e ineficazes; por conseguinte, a população deve conhecer um conjunto básico de procedimentos de autoproteção, quer se trate de uma evacuação adequada e segura ou de um refúgio ativo no local. Fechar janelas e portas, por exemplo, é uma manobra básica para a sobrevivência da casa antes de sair para um lugar seguro.

5. A gestão de combustíveis na IUF – práticas e legislação internacionais

Neste capítulo é feita uma descrição resumida sobre as práticas legais e normativas de gestão de combustíveis na IUF que são seguidas em vários países em que o perigo de incêndios rural assume maior protagonismo, nomeadamente, França, Itália, Grécia e Austrália. Os Estados Unidos e o Canadá, sendo países com grandes desenvolvimentos nestas matérias, foram anteriormente abordados de forma exaustiva, pelo que neste capítulo irão ser apenas referidos na parte final, a qual se refere a uma análise comparativa das medidas seguidas nos diversos países. Foram ainda analisadas as práticas seguidas noutros países como o Brasil, mas, devido ao fraco desenvolvimento de políticas, normas e regulamentos, não serão reportadas no presente documento.

Este capítulo baseia-se igualmente em aspetos considerados relevantes que resultam de um estudo realizado no âmbito do Projeto *House Refuge*, designadamente no documento “*Legislação Estrangeira Aplicada à Interface Urbano-Florestal na Dual Casa/Envolvente*” (www.adai.pt/houserefuge/resultados).

5.1 Práticas legais seguidas em França

5.1.1 Considerações gerais

Segundo o *Code Forestier* francês, as normas gerais de prevenção de incêndios rurais aplicam-se apenas a situações em que a proximidade da construção à floresta seja inferior a 200m. Nestas situações, as faixas de gestão de combustíveis (FGC) na envolvente imediata a habitações devem ter uma largura mínima de 50m. Nos casos em que o uso do edifício for outro que não residencial, a largura da faixa de gestão de combustíveis poderá ser inferior, se o limite de propriedade intercetar a FGC. Existe ainda a possibilidade de a autoridade administrativa local impor servidões de gestão de combustíveis para a proteção de determinados edifícios, desde que tal tenha sido previsto no plano de prevenção de riscos naturais.

5.1.1.1 Ónus das operações de gestão de combustíveis

Sempre que a largura da FGC extravasar os limites da propriedade de implantação do edifício, é o proprietário do edifício quem acarreta com a responsabilidade e despesas das operações de gestão, mesmo que parte da FGC intercete outra propriedade que não seja da sua pertença. A responsabilidade e despesa destas operações apenas transita para o proprietário do terreno vizinho, caso este não autorize que o proprietário do edifício realize as operações de gestão de forma aceitável, i.e., no respeito pelo bem alheio e sem destruição de vegetação cujo corte não é imprescindível. As responsabilidades dos proprietários do edifício ou do terreno vizinho transitam para o titular dos poderes de administração de qualquer dos imóveis, caso existam.

Os proprietários ou os titulares dos poderes de administração podem solicitar aos municípios a realização das operações de gestão, a quem pagarão pelo custo das operações efetuadas.

Para facilitar a gestão de combustíveis pelos privados, foi criada a figura das “*associações livres de proprietários*” que, num regime de cooperação, asseguram a gestão de combustíveis dos imóveis dos seus associados. Se numa determinada região/departamento considerada como de grande propensão para o aparecimento de grandes incêndios rurais, no período de um ano, não tiver sido constituída uma associação livre de proprietários, “a autoridade administrativa competente do Estado pode promover a reunião dos proprietários numa associação comunitária”.

5.1.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis

- Largura mínima da faixa de gestão de combustíveis em torno das construções: 50m;
- Vegetação morta e sobrantes das operações de gestão de combustíveis: remoção ou eliminação obrigatória através de trituração *in loco* ou através do seu transporte para centros de eliminação de resíduos lenhosos e herbáceas; em determinadas regiões, a queima *in loco* é permitida em função do índice de perigo meteorológico de incêndio;
- Desramação e aparo de árvores: realizada para que a distância entre a extremidade da copa e o ponto mais próximo da edificação seja igual ou superior a 3m; a base da copa deve ter uma altura mínima de 2 ou 3m, dependendo da região/departamento, ou de um terço da altura da árvore;
- Distância entre árvores: na FGC, as copas devem encontrar-se afastadas de, pelo menos, 2m ou 3m, dependendo da região/departamento;
- Arbustos: os amontoados de arbustos devem estar separados entre si de uma distância mínima de 2m; como recomendação geral, a área ocupada por árvores e arbustos não deve exceder 1/3 da área total da FGC;
- Sebes: distanciamento mínimo de 3m entre as sebes e a parte mais próxima da construção;
- Rodovia: faixa de gestão de combustíveis com largura mínima de 10m, a contar das margens da estrada;
- Ferrovia: faixa de gestão de combustíveis com largura mínima de 10m, a contar das margens da linha férrea.

5.2 Práticas legais em Itália

5.2.1 Considerações gerais

Ao contrário do que acontece em outros países, como Portugal, em que o foco da gestão de incêndios rurais está na salvaguarda da vida das pessoas, animais e de bens construídos (e.g., casas de habitação), em Itália o foco da “*Lei Quadro em Matéria de Incêndio Florestal*” está centrado na floresta. Desta forma, cabe às regiões com autonomia administrativa e às autarquias produzir legislação de carácter local e regional que se adequem à gestão de incêndios que se desenvolvam na interface urbano-florestal.

A consulta à abordagem seguida pelas entidades regionais da Sardenha permitiu verificar que as obrigações dos proprietários ou titulares dos poderes de administração e imóveis de uso privado se encontram pouco desenvolvidas, restringindo-se quase em absoluto a material informativo e a recomendações a seguir no âmbito da prevenção, preparação (autoproteção) e atuação perante a ameaça de um incêndio rural. No entanto, as exigências relativas à gestão de combustíveis em torno de edifícios de utilização coletiva, sobretudo os edifícios com fins turísticos (e.g., discotecas, hotéis, alojamentos) são maiores e têm em conta o coberto vegetal e a topografia da área de implantação do edifício.

Destaca-se ainda a separação das responsabilidades de combate ao fogo que se desenrola em meio florestal, que é assumido pelo corpo florestal regional, e das responsabilidades das operações de combate ao fogo na IUF, que são coordenadas pelo corpo de bombeiros nacional.

5.2.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis – Sardenha

- Rodovia – faixa de gestão de combustíveis não inferior a 3m para cada lado do limite da estrada;
- Edifício de uso privado – faixa de gestão de combustíveis em torno da construção não inferior a 5m;
- Edifício de uso turístico – de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18 – Largura da faixa de gestão de combustíveis para edifícios de uso coletivo seguido na Sardenha (Itália).

Tipo de vegetação	Largura da Faixa de Gestão de Combustíveis (m)	
	Declive <15%	Declive >15%
Herbáceas	5	10
Mato <2,5m	8	15
Mato >2,5m	15	20
Floresta não densa*	15	20
Floresta densa*	20	30

* a floresta com uma cobertura superior a 70% é considerada densa

5.3 Práticas legais na Grécia

5.3.1 Considerações gerais

A abordagem legal seguida na Grécia não difere grandemente da abordagem Portuguesa, notando-se um confronto claro entre as exigências aplicadas às construções na IUF e a pressão urbanística promovida pelos setores turístico e da construção civil, confronto que se agudiza nas áreas com maior perigosidade de incêndio rural.

Na Grécia, a fiscalização do cumprimento das obrigações legais em termos da gestão de combustíveis na IUF é da responsabilidade dos municípios. Até 2018, em caso de incumprimento destas obrigações por parte dos proprietários ou dos titulares dos poderes de administração, cabia aos municípios substituir-se ao proprietário na realização das operações de gestão de combustíveis, com direito à posterior compensação pelos custos afetos. No entanto, face às grandes dificuldades que esta regra vinha a suscitar, esta obrigatoriedade passou a estar integralmente do lado do proprietário ou titular dos poderes de administração do imóvel.

5.3.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis

- Largura mínima da faixa de gestão de combustíveis em torno das construções: 50m;
- Largura mínima da faixa de gestão de combustíveis em torno dos aglomerados: 100 m;
- Largura da zona de proximidade imediata de habitações, de onde devem ser retirados quaisquer combustíveis mortos e é recomendada a inexistência de árvores e arbustos: 10m;
- Largura da zona de proximidade imediata de instalações industriais com maior risco de incêndio: 25m;
- Desramação de árvores: realizada para que a altura da base da copa não seja inferior a 3 m, salvo se o tipo de planta e a sua idade não o permitir;
- Distância entre árvores: na FGC, as copas devem encontrar-se afastadas entre si de, pelo menos, 3m.

5.4 Práticas legais na Austrália

5.4.1 Considerações gerais

A Austrália é seguramente um dos países em que o perigo de incêndio rural atinge um significado maior, o que leva a que os desenvolvimentos legais e técnicos sejam dos mais avançados em todo o Mundo. Em função da dimensão e heterogeneidade deste país, os diplomas legais de abrangência nacional são bastante generalistas, remetendo os seus aspetos mais específicos para legislação estatual. De entre os seis estados e dois territórios australianos, o Estado de Victoria destaca-se pelos grandes desenvolvimentos legais produzidos, sobretudo depois dos dramáticos incêndios de 2009, conhecidos por “Black Saturday”. Assim, várias das considerações produzidas referem-se a este estado.

Considerando os diferentes níveis de perigosidade de incêndio rural nas diferentes áreas deste estado, as exigências legais variam consoante se trate de uma área de perigosidade baixa, em que se aplicam regras gerais, perigosidade moderada ou alta, em que se aplicam os regulamentos de construção; e perigosidade extrema ou “*significant*”, em que é exigida a aprovação do projeto para novas construções ou comunidades onde constem medidas de prevenção e autoproteção, com incidência na construção e na envolvente (*defendable space zone*).

As normas de construção australianas (AS259-2018) elencam uma série de requisitos dos aspetos construtivos que são especificados em função do BAL (*Bushfire Attack Level*) a que a construção está exposta. A determinação do BAL tem em consideração vários fatores como o FDI (*Fire Danger Index*), que reflete a perigosidade de incêndio numa área, em função de parâmetros como o clima, e a separação entre o edifício e a vegetação, que compreende não apenas a distância, mas também o tipo de vegetação e o declive do terreno (descendente, plano ou ascendente) que separa estas duas componentes. Uma vez que as regras impostas por estas normas determinam requisitos construtivos, sendo a largura da faixa de gestão de combustíveis uma variável de entrada, a sua análise mais detalhada será realizada no relatório “*Regras para o edificado e envolvente nos territórios rurais*” que está a ser elaborado pelo ForestWISE, para entrega à AGIF.

Aos registos associados à compra e venda de terrenos localizados em áreas com alta propensão a incêndios é incluída uma declaração do vendedor notificando o comprador de que aquele imóvel está sujeito ao planeamento específico de prevenção e preparação para incêndios descrito anteriormente – considera-se que tal medida em Portugal poderia desvalorizar os terrenos do interior do país agudizando ainda mais as desigualdades de riqueza territorial.

5.4.2 Exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis (Victoria)

- Largura mínima da faixa de gestão de combustíveis em torno das construções localizadas em áreas de risco baixo a alto: 0-10 m sem qualquer tipo de vegetação; 10-30 m apenas com árvores (sem arbustos nem herbáceas) – regra 10/30
- Largura mínima da faixa de gestão de combustíveis em torno das construções localizadas em áreas de risco extremo e “*significant*”: 0-10 m sem qualquer tipo de vegetação; 10-50 m apenas com árvores – regra 10/50
- Largura máxima da faixa de gestão de combustíveis entre propriedades: 4m – esta separação máxima deve-se a questões ambientais para que não haja um corte exagerado da vegetação.

5.5 Práticas legais nos Estados Unidos

5.5.1 Considerações gerais

Tal como na Austrália, os incêndios florestais assumem nos Estados Unidos uma grande relevância, sobretudo em alguns Estados do norte e sudoeste. De entre estes Estados, a Califórnia tem-se destacado pelos grandes incêndios que têm atingido vastas áreas da IUF, causando impactos de grande extensão e dramatismo. Por este motivo, o peso da política legislativa estadual e local norte americana, sobretudo na Califórnia, tem vindo a ganhar maior força e especificidade.

Ao contrário do que acontece em Portugal em que se verifica um forte êxodo rural, a Califórnia tem vindo a registar uma grande tendência migratória das grandes cidades para as zonas mais rurais e mais florestadas. Esta movimentação tem sido acompanhada de um grande aumento no número de construções e comunidades em áreas anteriormente florestadas, criando situações de IUF com grande propensão para os incêndios rurais.

Ao longo deste documento foram já especificadas as exigências regulamentares no âmbito da gestão de combustíveis seguidas nos Estados Unidos. De forma a não repetir conteúdos já apresentados, a informação relativa aos Estados Unidos constará apenas da tabela final de resumo das distâncias regulamentares e normativas que se apresenta no final deste capítulo.

5.6 Análise comparativa das várias definições regulamentares ou normativas seguidas em diversos países

Para facilitar a análise conjunta das práticas seguidas noutros países relativamente às larguras das faixas de separação seguidas em vários países, deixa-se abaixo uma tabela resumo que congrega esta informação. Esta tabela não se apresenta completa face à dificuldade de angariação de todos os valores, em diplomas regulamentares ou normativos que nem sempre se encontram traduzidos noutra língua que não a nativa. Considera-se, no entanto, que, mesmo incompleta, esta tabela poderá suscitar uma análise de interesse. São incluídos outros países não descritos anteriormente, para os quais se encontraram dados que permitem enriquecer essa análise.

Tabela 19 – Tabela resumo com várias distâncias entre elementos da interface urbano-florestal regulamentadas ou normalizadas para diversos países

Norma regulamentar ou normativa		Distâncias seguidas nos vários países (m)						
		França	Itália (Sardenha)	Grécia	Espanha	Austrália (Victoria)	EUA	Canadá
Edifícios de uso habitacional	Largura da FGC	50	5	50	25	30 ou 50	~30	100
	Definição da zona 1			0-10		0-10	0-1,5	0-1,5
	Definição da zona 2					10-30/50	1,5-10	1,5-10
	Definição da zona 3						10-30	10-100 [€]
	Altura da base da copa	3		3	4,5	5	2	1,8-3
	Distanciamento entre copas*	2 ou 3		3	3,5	5	6 ⁺	
	Distanciamento entre copas e o edifício	3	10		5	10	2	
	Distanciamento entre arbustos	2			4	5	3	
	FGC na rodovia	10	10	3		5		
	FGC na ferrovia	10	10	3		5		

* normalmente de 1/3 da altura da árvore em situações de árvores mais baixas ou jovens.

€ dividido em 2 zonas: 10-30 m e 30-100 m

+ refere-se ao topo da copa e apenas à zona 2; esta distância diminui para 4m e 2m em função do afastamento ao edifício.

Para além das distâncias entre elementos das IUF, salienta-se outro aspeto de abordagem que é diferenciador entre os vários países. Enquanto na Europa, a maioria dos países opta por impor obrigações na forma de gestão de combustíveis, nos EUA, no Canadá ou na Austrália, a abordagem seguida vai mais de encontro a uma política de informação, treino e incentivos ao cumprimento das práticas que cada país considera como melhores.

6. O conhecimento científico atual acerca do impacto do fogo na IUF

6.1 A intensidade do fogo em diferentes tipos de combustível e topografia

Os incêndios florestais evoluem ao longo do espaço e do tempo de uma forma complexa, em resultado de um conjunto de fenómenos de natureza física e química que dependem de diversos fatores. O combustível (propriedades do leito combustível), a topografia (inclinação do terreno ou declive) e a meteorologia (sobretudo o vento) são fatores condicionantes que afetam a propagação do fogo (Countryman, 1972; Rothermel, 1972; Pyne *et al.*, 1996; Viegas *et al.*, 2011).

A intensidade linear da frente de fogo (***I***) é um parâmetro característico da propagação proposto por Byram em 1959 (Byram, 1959) e que tem um impacto direto na capacidade de supressão. Na Equação 1, a intensidade de propagação ***I*** representa a energia calorífica libertada pela frente de chamas, por unidade de tempo e de comprimento da frente, exprimindo-se por isso em kW/m.

$$I = R \times M_C \times H_C \quad \text{Equação 1}$$

A velocidade de propagação ***R*** é a velocidade em cada ponto da frente de chamas, exprime-se em m/s e pode atingir um valor de 8 m/s ou mais (Viegas *et al.*, 2011), sendo por isso o parâmetro que mais influencia a variação do valor de ***I***. A carga de combustível ***M_C*** representa a quantidade de combustível por área que participa na combustão durante a propagação do fogo e exprime-se em kg/m². O calor de combustão do combustível, ***H_C***, exprime-se em kJ/kg e assume-se como constante, variando normalmente entre 18.000 e 23.000 kJ/kg em combustíveis florestais (Viegas *et al.*, 2020) ou ajustando-se em função do teor de humidade do combustível morto. A intensidade da propagação pode relacionar-se, para cada tipo de combustível, com o comprimento médio das chamas ***L*** em metros, e também com a maior ou menor facilidade de combater a frente de chamas. Byram, 1959 propôs uma relação empírica (Equação 2) para estimar a altura das chamas ***L***, a partir do conhecimento da intensidade de propagação ***I***.

$$L = 0,0755 \times I^{0,461} \quad \text{Equação 2}$$

A Tabela 20 apresenta valores típicos da intensidade de propagação, comprimentos de chama e a sua interpretação relativamente às condições de supressão. Estes parâmetros foram classificados qualitativamente em cinco classes de intensidade frontal do fogo, de acordo com a maior ou menor facilidade de supressão da propagação de uma frente de chama: 1) Baixa, 2) Moderada, 3) Elevada, 4) Muito elevada e 5) Extrema (Viegas *et al.*, 2011 adaptado de Alexander & Lanoville, 1989).

Tabela 20. Valores de intensidade (*I*), comprimento de chama (*L*) e interpretação das respetivas condições de supressão (Viegas *et al.*, 2011 adaptado de Alexander & Lanoville, 1989)

Classe de intensidade	<i>I</i> (kW/m)	<i>L</i> (m)	Interpretação
1) Baixa	$I < 500$	$L < 1$	O fogo propaga-se lentamente e com chama de reduzidas dimensões. O combate ao incêndio é possível utilizando simplesmente meios manuais (material sapador) e pequenas equipas.
2) Moderada	$500 < I < 2.000$	$1 < L < 2$	A propagação do fogo apresenta velocidades médias, com chamas moderadamente altas. Um incêndio florestal pode ser contido em ataque direto por meios terrestres com recurso a água ou fogo tático.

3) Elevada	$2.000 < I < 4.000$	$2 < L < 3,5$	A velocidade de propagação do fogo é moderada a elevada. O comportamento do fogo depende muito da composição e arranjo espacial dos combustíveis, podendo em alguns povoamentos ocorrer fogo de copas e projeções de partículas incandescentes a curtas distâncias. O combate direto na frente do incêndio com meios terrestres é ineficaz. O combate indireto com abertura de linhas de contenção recorrendo a maquinaria pesada e combate direto com meios aéreos é recomendado.
4) Muito elevada	$4.000 < I < 10.000$	$L < 3,5$	A velocidade de propagação do fogo é elevada. Podem ocorrer fogos de copas com abundante projeção de partículas a distâncias moderadas. Combate direto apenas com meios aéreos pesados. Combate terrestre restringido aos flancos e retaguarda do incêndio. O combate da frente é ineficaz.
5) Extrema	$I > 10.000$	$L < 5$	Ocorrência de focos secundários aumentando a velocidade de progressão do incêndio. O combate direto na frente de fogo é impossível e o combate terrestre está limitado aos flancos e retaguarda do incêndio, ainda que com pouca probabilidade de sucesso.

Na Tabela 21 apresentamos um exercício simples de estimação das intensidades de propagação atingidas em diferentes tipos de combustíveis florestais. Nesta análise foi utilizado o *Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais na Região Centro de Portugal* desenvolvido por (Cruz, 2005) para identificação e classificação dos tipos de combustível que se encontram na floresta portuguesa, em especial na Região Centro de Portugal: herbáceas, arbustos, povoamento florestais (pinhal, eucaliptal ou floresta caducifólia) e resíduos de exploração. Cada um dos tipos de combustível é subdividido, sendo atribuído um código que reflete as características estruturais e comportamento do fogo potencial associado a cada um, conforme se apresentam na Tabela 21. A descrição de cada tipo de combustível é acompanhada por uma caracterização qualitativa do comportamento do fogo potencial em três situações que descrevem o “ambiente do fogo” (este conceito é desenvolvido na secção 5.3): baixo, médio e alto. Neste guia foi utilizado para cada tipo de combustível: o poder calorífico (H_C), a carga de combustível (M_C) e a velocidade de propagação média ($R_{Média}$) esperada num ambiente do fogo considerado médio (ausência de declive, velocidade do vento de aproximadamente 5km/h e teor de humidade dos combustíveis mortos finos, médios e grossos de 6, 7 e 8 %, respetivamente, e dos finos vivos de 100%). Com o conhecimento destes parâmetros, a intensidade de propagação média ($I_{Média}$) foi estimada para cada um dos tipos de combustível de acordo com a Equação 1, e foi atribuída a respetiva classe de intensidade de acordo com a Tabela 20. Os tipos de combustível e os referidos parâmetros são apresentados na Tabela 21 ordenados por ordem crescente de $I_{Média}$.

Tabela 21. Intensidade de propagação média ($I_{Média}$) para as condições de ambiente médio do fogo descritas, atingida em diferentes modelos de combustíveis e respetiva classe de intensidade. Parâmetros retirados de Cruz (2005)

Modelo de combustível e código	H_C (kJ/kg)	M_C (kg/m ²)	$R_{Média}$ (m/s)	$I_{Média}$ (kW/m)	Intensidade (cf. Tabela 20)
Herbáceas (HER-01)	18.000	0,30	0,03	158	1) Baixa
Eucaliptal jovem (EUC-01)	20.000	0,40	0,03	233	1) Baixa
Folhosas caducifólias (FOLC-01)	18.500	0,80	0,03	432	1) Baixa
Pinhal adulto (PPIN-05)	21.000	0,80	0,03	490	1) Baixa
Eucaliptal sem subcoberto (EUC-02)	20.000	1,00	0,08	1500	2) Moderada
Arbustos baixos - altura até 0,5m (MAT01).	22.500	0,90	0,08	1519	2) Moderada
Pinhal sem subcoberto arbustivo (PPIN-03)	21.000	1,00	0,08	1575	2) Moderada
Pinhal jovem não desbastado (PPIN-02)	21.000	1,30	0,08	2048	3) Elevada
Eucaliptal (EUC-04)	20.000	1,70	0,08	2550	3) Elevada
Pinhal com subcoberto arbustivo (PPIN-04)	22.000	1,80	0,08	2970	3) Elevada
Restos de corte (RES-01)	22.000	1,90	0,08	3135	3) Elevada
Arbustos médios - altura entre 0,5 e 1,3 m (MAT02)	22.700	1,40	0,10	3178	3) Elevada
Eucaliptal com subcoberto arbustivo (EUC-03)	22.000	2,10	0,08	3465	3) Elevada
Arbustos altos - altura superior a 1,3 m (MAT03).	22.700	2,10	0,10	4767	4) Muito elevada

Os valores de intensidade estimada para os diversos tipos de combustível dizem respeito ao referido “ambiente médio do fogo”, ainda assim a respetiva classe de intensidade varia entre a classe 1 e a classe 4, sendo o MAT-03 (arbustos com altura superior a 1,3 m) o modelo de combustível onde a propagação do fogo pode ocorrer com maior intensidade. A inclinação do terreno (declive) constitui uma das características da topografia que mais afetam a propagação do fogo (Viegas *et al.*, 2011; Raposo *et al.*, 2018).

Se a frente de chamas progredisse num leito combustível com declive positivo, a velocidade de propagação e intensidade seriam muito superiores e, conseqüentemente, a dificuldade de supressão seria acrescida (Classe 4 e Classe 5). Com uma intensidade de fogo superior a 4.000 kW/m (Classe 4 ou superior) existem condições para a ocorrência de fenómenos de salto e possível transição para fogo de copas com abundante projeção de partículas a distâncias moderadas (Viegas *et al.*, 2011 adaptado de Alexander & Lanoville, 1989). Estas manifestações de comportamento do fogo são importantes para a compreensão dos incêndios na IUF.

A velocidade básica de propagação, R_0 , é um dos parâmetros que também caracteriza a combustibilidade de um leito e é determinada num terreno horizontal e na ausência de vento (Viegas *et al.*, 2011).

A equipa do CEIF estudou a combustibilidade de diversos combustíveis florestais comuns em Portugal, medindo vários parâmetros característicos como a R_0 , a taxa de perda de massa ou o comprimento e altura das chamas em função da carga de combustível e do seu teor de humidade (Viegas *et al.*, 1998). Por exemplo, a relação entre a R_0 e o teor de humidade de combustíveis foi analisada (m_f) para alguns leitos combustíveis (Figura 17). Como se pode verificar, todos os combustíveis apresentam uma dependência muito grande em relação ao teor de humidade, em especial para a gama de valores mais baixos. O eucalipto e o pinheiro bravo têm resultados praticamente idênticos de R_0 para o mesmo valor de humidade.

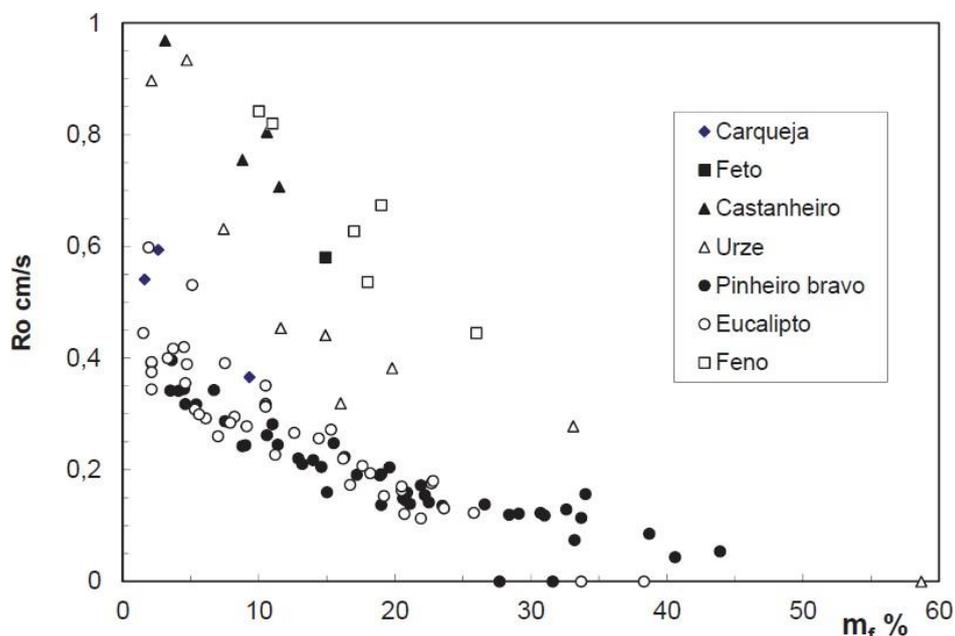


Figura 17. Valores de velocidade básica de propagação (R_0) de alguns leitos combustíveis, em função do teor de humidade dos combustíveis (m_f) (retirado de Viegas *et al.*, 2011)

Observou-se que para um dado valor de m_f , cada combustível apresenta em geral um valor de R_0 diferente. Os combustíveis herbáceos, representados nesta análise por partículas de feno, apresentam valores de R_0 duas vezes superior aos das agulhas de pinheiro bravo. As folhas de castanheiro apresentam valores de R_0 muito superiores aos da folhagem de eucalipto ou de pinheiro bravo. Este resultado contraria a convicção que existe de que a propagação do fogo não é bem suportada pelas folhosas (Viegas *et al.*, 2011). A velocidade de propagação poderá nestes casos ser mais baixa por força das condições locais de humidade, sombreamento e temperatura, mas em circunstâncias idênticas as diferenças são atenuadas.

A inclinação do terreno (α) constitui uma das características da topografia que mais afetam a propagação do fogo (Viegas *et al.*, 2011; Raposo *et al.*, 2018). A Figura 18 mostra um exemplo dessa relação, onde se apresenta a variação da velocidade de propagação de uma frente de chamas num leito de agulhas secas de *Pinus pinaster* (1 kg/m²) em função da inclinação. A variação da velocidade de propagação é representada pela sua forma adimensional, R' , que é determinada pela Equação 3.

$$R' = \frac{R}{R_0} \quad \text{Equação 3}$$

A velocidade é praticamente constante para valores negativos ou nulos de α (fogo a descer uma encosta ou em terreno plano) e aumenta para valores positivos de α (fogo a subir uma encosta), sobretudo para valores superiores a 20° (36,4 %). Para valores de α superiores 25° (46,6 %) a propagação deixa de ser estável, sendo a velocidade de propagação crescente, pelo que os valores apresentados possuem apenas um caráter indicativo (Viegas *et al.*, 2011).

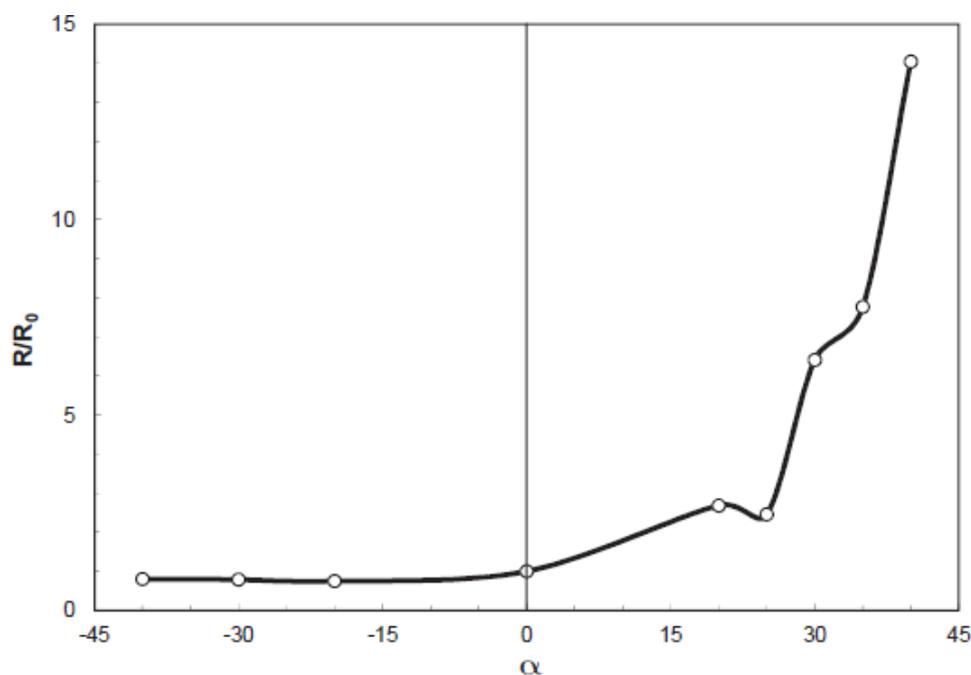


Figura 18. Variação da velocidade de propagação (R/R_0) de uma frente de chamas linear num leito de agulhas secas de *Pinus pinaster* (1 kg/m²), em função da inclinação (α) (retirado de Viegas *et al.*, 2011)

O comportamento do fogo assume um caráter dinâmico, o que significa que depende do tempo, mesmo quando os restantes fatores que o condicionam permanecem constantes (Viegas *et al.*, 2011; Viegas *et al.*, 2020). Baseados neste pressuposto, podemos considerar dois modos de propagação do fogo: i) comportamento normal, caracterizado por uma velocidade de propagação baixa e não muito dependente do tempo cronológico (Viegas *et al.*, 2011) e ii) comportamento extremo do fogo (CEF), caracterizado por ter uma velocidade de propagação ou uma taxa de libertação de energia muito elevadas e frequentemente crescentes com a passagem do tempo (Viegas, 2006; Viegas *et al.*, 2011; Viegas, 2012; Raposo *et al.*, 2018; Viegas & Raposo, 2019).

A libertação de partículas incandescentes provenientes de um incêndio florestal, pode dar origem a novos focos de incêndio, denominados focos secundários (Almeida, 2011), sempre que estas se depositem em leitos de combustível com boas condições de inflamabilidade. Esta é uma das manifestações de CEF (Viegas *et al.*, 2011) que mais preocupações traz no combate ou nas zonas de IUF. Na propagação de um incêndio por focos secundários ocorre o transporte aerodinâmico de uma partícula incandescente a distâncias curtas (poucos metros), contribuindo para o aumento da velocidade de propagação do incêndio, distâncias médias (dezenas ou centenas de metros), alterando o comportamento do fogo por interação entre os focos secundários e a frente de chama original, e distâncias mais longas, podendo constituir-se como um novo

caso de incêndio (Almeida, 2011). Esta projeção de partículas incandescentes, como se verá adiante, são o principal mecanismo de ignição de edificações (Viegas *et al.*, 2011), assumindo, portanto, particular importância na IUF.

Um outro fenómeno, característico do CEF, que se observa por vezes nos incêndios florestais consiste no rápido desenvolvimento de uma frente de chamas, cuja velocidade de propagação aumenta subitamente, designando-se por “comportamento eruptivo do fogo” (Viegas, 2005; Viegas, 2006). Tomando por referência R_0 (velocidade de propagação de uma frente de chamas se propaga em terreno horizontal e na ausência de vento), a velocidade de propagação numa encosta ou num desfiladeiro, em caso de erupção, pode ser cerca de 100 a 1.000 vezes superior a esse valor (Viegas, 2004). O fogo pode percorrer em poucos minutos uma extensão de terreno muito grande com uma capacidade destruidora acima do normal. O seu comportamento é induzido pela convecção produzida pelo fogo, manifestando-se pela ocorrência súbita de vento de grande intensidade (Viegas & Raposo, 2019; Viegas, 2006; Viegas *et al.*, 2011; Raposo *et al.*, 2018).

Quanto mais inclinada for a encosta e quanto mais fino e seco for o combustível, mais depressa se atinge a erupção. Este fenómeno de comportamento eruptivo do fogo depende do tipo de combustível em que se desenvolve. A Figura 19 apresenta a variação da velocidade de propagação da frente de um fogo numa encosta para diferentes combustíveis em função do tempo, numa escala logarítmica. A figura resulta da aplicação de um modelo matemático desenvolvido pelo CEIF (Viegas 2005, 2006).

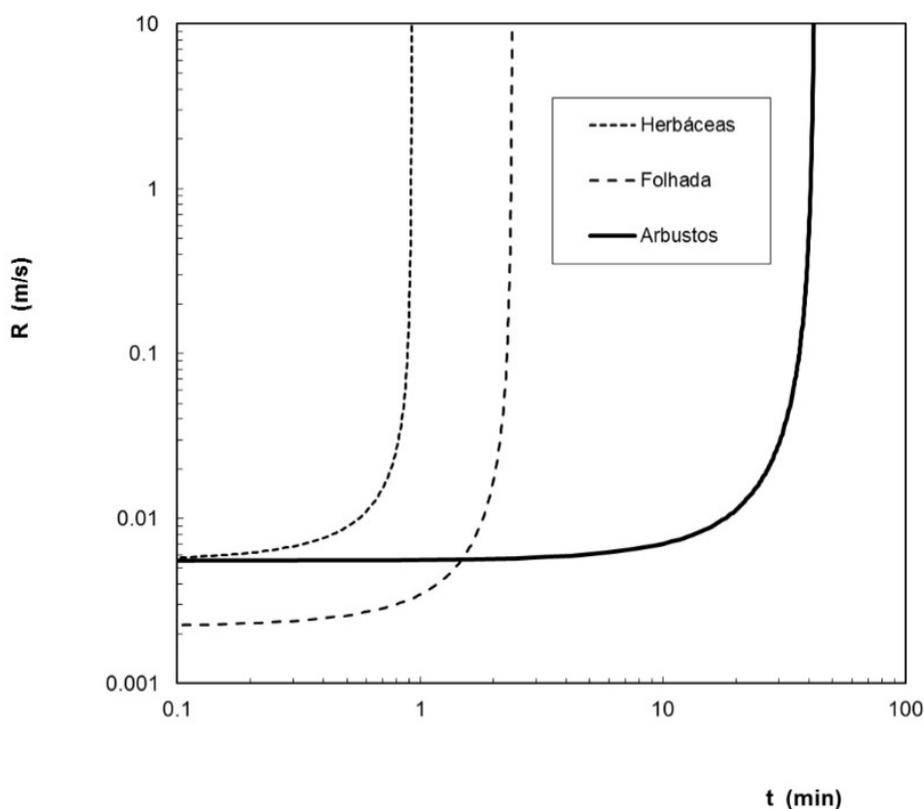


Figura 19. Variação da velocidade de propagação da frente de chamas numa encosta para diferentes combustíveis, em função tempo (retirado de Viegas *et al.*, 2011).

A escala temporal para se atingir a erupção do fogo varia com os combustíveis (Viegas & Raposo, 2019). Como se pode observar na figura, a vegetação arbustiva terá um tempo de reação superior à vegetação herbácea, mas o comportamento é semelhante. As herbáceas respondem muito rapidamente ao aumento de R , pelo que a função exponencial pode decorrer em alguns segundos. O tempo requerido a partir do qual se desenvolve a aceleração da velocidade para os arbustos poderá ser entre 15 a 30 minutos, nas mesmas condições. Nos casos dos leitos de folhada esse tempo é da ordem de alguns minutos.

6.2 Vulnerabilidade das estruturas e mecanismos de ignição

Muitos dos aspetos referentes a este tema foram sendo abordados à medida que se expuseram os casos de estudo. Complementamos aqui essa exposição com mais alguns conceitos que nos parecem merecer destaque.

A investigação existente acerca de como os desastres em zonas residenciais ocorrem (Figura 1) é praticamente unânime na identificação de que, mesmo em caso de condições de propagação extremas, as características das casas e da sua envolvente (HIZ de 30 metros, ou 100 pés na literatura estadunidense) são determinantes na respetiva probabilidade de ignição (Cohen, 1995; Cohen, 2000b; Cohen, 2000c; Cohen & Stratton, 2008; Graham *et al.*, 2012; Gollner *et al.*, 2015; Westhaver, 2017). Gibbons *et al.* (2012) referem 40 metros, após analisar uma série de casas destruídas em incêndios na Austrália. Nesta HIZ engloba-se o espaço de separação física contíguo à casa, bem como as faixas envolventes de gestão de combustíveis.

Na Europa, à semelhança do resto do Mundo, as casas inseridas em áreas de interface urbano-florestal são potencialmente vulneráveis à destruição (WUIWATCH, 2016), ainda que a sua construção seja mais robusta que em países como os EUA ou o Canadá. As componentes das edificações que mais as expõem ao perigo de incêndio na IUF (Leonard & Blanchi, 2005; Blanchi *et al.* 2006; Ribeiro *et al.*, 2020) são habitualmente:

A envolvente – a intensidade do impacto do fogo na envolvente é maior quando há elevada carga combustível presente. As partículas incandescentes transportadas pelo vento podem causar novas ignições nos objetos e materiais combustíveis em contacto com as fachadas.

O telhado e calhas – são uma parte vulnerável das casas devido à acumulação de folhas ou outros elementos combustíveis finos e onde as partículas incandescentes se podem depositar.

Respiradores e outras aberturas – podem permitir a entrada de partículas incandescentes, fumo e chamas para o interior da habitação, e eventualmente, causar ignições.

Portas e janelas – o vidro nas janelas parte facilmente com o calor e turbulência típicos dos incêndios, levando ao colapso e permitindo a entrada de partículas incandescentes, chamas e fumo para dentro.

Jardins e sebes – as plantas ornamentais são fontes potenciais de ignição. As espécies mais inflamáveis são mais propensas a entrar em combustão e a desenvolver chamas, especialmente se contiverem material seco no seu interior (ver **Capítulo 7**).

Tanques de GPL – outros riscos induzidos podem ameaçar o edifício, como a ignição de hidrocarbonetos inflamáveis ou a explosão de tanques de GPL (Scarponi *et al.*, 2020).

Estes elementos são particularmente afetados pela deposição de partículas incandescentes (Manzello *et al.*, 2012; Manzello & Suzuki, 2017, 2021). O seu nível de exposição está também ligado às características de inflamabilidade e combustibilidade dos elementos vizinhos, nomeadamente da vegetação ornamental (Ganteaume *et al.*, 2013).

Dentro dos elementos individuais que podem ser mais afetados pela passagem de um incêndio florestal (e que têm relação direta com a probabilidade de sobrevivência de uma casa) os telhados e as janelas são dos que apresentam maior vulnerabilidade (Ribeiro *et al.*, 2016), conforme foi demonstrado no estudo detalhado feito sobre o impacto do fogo nas estruturas afetadas pelos grandes incêndios de Pedrógão Grande (Viegas *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2020), mas também no dos incêndios de 15 de outubro de 2017 (Viegas *et al.*, 2019). Por exemplo, em Pedrógão Grande foi verificado que os vidros duplos utilizados nas janelas, as persianas de alumínio, os materiais dos telhados e as portas antirroubo e antifogo, entre outros, diminuíram o número de pontos vulneráveis, por onde as partículas incandescentes de um fogo podem entrar, ao mesmo tempo que aumentaram a resistência física da própria estrutura (Viegas *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2020).

Também foi observado que a idade e os materiais de construção são fatores importantes a ter em conta na análise da resistência das estruturas, mas são eles próprios dependentes do grau de conservação ou manutenção em que os proprietários os mantêm (Viegas *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2020). Relativamente à vulnerabilidade das janelas apresentamos algumas conclusões do estudo de Ribeiro *et al.* (2016) onde foi elaborado um conjunto de testes laboratoriais com o objetivo de avaliar as janelas e a resistência de diferentes tipos de persianas (PVC, madeira e alumínio com enchimento de poliuretano) ao impacto de uma frente de chamas. Observou-se que as persianas de PVC quase não têm resistência ao calor e as persianas de madeira proporcionaram uma boa proteção à janela, apesar de ter sido observada visualmente resina a sair das tábuas. A estrutura composta por uma persiana de alumínio e uma janela de vidro duplo indicou ser a mais eficiente na proteção de um incêndio nas condições testadas. Cohen (1995) refere que é frequente as janelas desprotegidas partirem quando expostas ao fogo.

Em ensaios laboratoriais, expondo diferentes tipos de janelas ao fogo, concluíram que as janelas de vidro temperado, simples ou duplo, são as mais resistentes, sendo o vidro duplo o que melhor respondeu aos ensaios, à semelhança do referido por Ribeiro *et al.* (2016). Estas e outras características relacionadas com os aspetos construtivos serão abordados detalhadamente no relatório do projeto “*Regras para o edificado e envolvente nos territórios rurais*”, que o ForestWISE também está a desenvolver.

Entre 1995 e 2001 realizaram-se nos Territórios do Noroeste do Canadá os *International Crown Fire Modelling Experiments* (Experiências Internacionais de Modelação de Fogos de Copas), juntando mais de 100 participantes representando 30 organizações de 14 países (Stocks *et al.*, 2004). Um conjunto de ensaios em particular foram desenhados para testar o impacto de fogos de alta intensidade em componentes estruturais de habitações, como as paredes de madeira (Cohen, 1998; Cohen, 2000b; Cohen, 2004). Uma das conclusões mais importantes, e que esteve na base da criação do HIZ, bem como da sua adaptação internacional (Portugal incluído), foi que estes fogos experimentais de alta intensidade expuseram as seções das paredes (de madeira) ao aquecimento direto das chamas por radiação e convecção, bem como a projeções de partículas, sem no entanto transferirem calor suficiente para satisfazer os requisitos de combustão a distâncias acima de 10m. Parte desta insuficiência deve-se à curta duração da combustão de um incêndio (mesmo de copas) num determinado local.

A radiação do incêndio pode provocar danos em componentes das estruturas (partes plásticas, de madeira, ou de outros componentes sensíveis), mas o seu impacto é relativamente curto, pois centra-se sobretudo no tempo de passagem do fogo, que é tipicamente de alguns minutos ou poucas dezenas de minutos (Leonard & Blanchi, 2005). No entanto, esta radiação (assim como a convecção e as fagulhas) podem provocar pequenas ignições no espaço envolvente das habitações, causando aí incêndios pontuais ou reduzindo a humidade dos combustíveis existentes, deixando-os mais suscetíveis à ignição (Gollner, 2020; Vacca *et al.*, 2020). Estes pequenos focos de incêndio são a principal razão pela qual, mesmo largos minutos ou até horas depois da passagem do incêndio, pode haver ignição nas estruturas.

As botijas de gás ou reservatórios de Gás de Petróleo Liquefeito (GPL) são um exemplo de combustíveis artificiais que podem contribuir fortemente para a ignição das edificações. O uso de garrafas de GPL é comum em zonas de IUF para confeção de alimentos e aquecimento, pois, sobretudo as zonas rurais, não costumam ter gás canalizado (Heymes *et al.*, 2013; Scarponi *et al.*, 2020). Muitas vezes as botijas ou os reservatórios são colocados próximos de combustíveis florestais.

Os reservatórios de GPL de diversos tamanhos são um perigo potencial e imprevisto tanto para os habitantes de edificações como também para os agentes de proteção civil. Os reservatórios de gás quando aquecidos tornam-se perigosos e eventos extremos podem ocorrer, como o *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* (BLEVE) e o *Jet fire*. O BLEVE é o que provoca mais danos, apresentando três principais perigos associados: sobrepressão, *fireball* e projeção de fragmentos que podem alcançar grandes distâncias (Planas-Cuchi *et al.*, 2004; Casal & Salla, 2006; Hemmatian *et al.*, 2017). Estes perigos podem causar danos severos a pessoas, construções, bombeiros (Tschirschwitz *et al.*, 2017, 2018) e a comunidades vizinhas.

A afetação potencial dos reservatórios e o conseqüente agravamento do risco para a habitação é um ponto importante na segurança e isso está diretamente relacionado com: a) a arquitetura residencial, b) o local onde o reservatório está colocado e c) a distância em relação aos combustíveis florestais. Uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade dos reservatórios foi proposta Scarponi *et al.* (2020) e desenvolvida por Ricci *et al.* (2021), sendo organizada em quatro etapas: a caracterização da frente de chamas, a definição da carga térmica que chega ao alvo, a estimativa para o tempo de falha e, por último, o cálculo da distância segura. No âmbito legal, não há uma normalização europeia em relação a este assunto. Os Estados-Membro da União Europeia com legislações distintas, diferentes usos da terra e diferentes climas (Pastor *et al.*, 2020), apresentam uma diferença significativa na legislação referente a distâncias seguras de reservatórios domésticos de GPL, inclusive entre países com perigos semelhantes. Nas normas dos países europeus, a distância de segurança é relacionada com o volume do reservatório. Por exemplo, Portugal exige uma distância mínima de 1 m para reservatórios de até 500 L, porém, quando comparado às normas do Reino Unido e Grécia, que possuem as distâncias mínimas de 2,5 m e 3 m, respetivamente, para reservatórios de igual volume (Scarponi *et al.*, 2020), percebe-se que não há uniformidade de critérios.

Os mecanismos de propagação de um incêndio florestal para as zonas urbanas são normalmente mal compreendidos pela população, e muitas vezes pelos decisores (Westhaver, 2017). Citando novamente Jack Cohen (2000b), o autor do conceito de *Home Ignition Zone*, “*um incêndio avança como um processo contínuo de propagação, não como uma massa em movimento*”. Esta propagação exige um conjunto de pressupostos para que possa existir, desde logo a disponibilidade de combustível e uma fonte de calor para que ele possa entrar em ignição. Nem sempre estes dois coexistem. Os mecanismos de ignição e posterior combustão das estruturas são unanimemente aceites na literatura especializada (e.g. Cohen, 2004b; Leonard & Bianchi, 2005; Mell *et al.*, 2010; Ribeiro, 2011; Bianchi *et al.*, 2012; Bianchi *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2020; Manzello *et al.*, 2020 ou Manzello & Suzuki, 2021):

1. Convecção, ou seja, por contacto direto das chamas e dos gases quentes provenientes da combustão de vegetação ou de qualquer tipo de material artificial que estejam próximos o suficiente. Na ignição por convecção é mais determinante o tempo de exposição da estrutura às chamas do que o tamanho destas.
2. Radiação, normalmente associada ao calor absorvido pelas estruturas mais próximas da vegetação ou de qualquer tipo de material artificial que esteja em combustão. A radiação de calor proveniente de um incêndio é proporcional à sua intensidade e comprimento das chamas. A probabilidade de ignição de uma estrutura por radiação aumenta quanto aumenta: i) a dimensão/intensidade da chama, ii) a área de estrutura exposta à chama, e iii) a duração da exposição.
3. Deposição de partículas incandescentes (fagulhas) geradas pelo incêndio, em elementos combustíveis perto ou nas próprias estruturas, ou mesmo em zonas sensíveis das mesmas (chaminés, aberturas, respiradouros, etc.). Este é o método que mais facilmente provoca ignição em edificações (Ribeiro *et al.*, 2020). Um dos maiores problemas relacionados com este tipo de ignição tem a ver com o facto de as projeções poderem ser originadas a longas distâncias e poderem transpor as medidas de gestão de combustíveis que tenham sido postas em prática (Viegas *et al.*, 2011).

Os mecanismos mencionados dão origem à ignição de uma edificação, no entanto existem outros fatores que contribuem para a sua ocorrência (Ribeiro, 2011), nomeadamente:

- Os combustíveis ditos artificiais que muito frequentemente se encontram perto de edificações (barracões, pilhas de lenha, deques de madeira, alpendres, cercas de madeira, botijas de gás, mobiliário de jardim, etc.).
- Em locais com declive acentuado, para além de mais intensas, as chamas apresentam-se inclinadas podendo mais facilmente atingir os combustíveis nas proximidades.

O vento pode ter um efeito semelhante ao da topografia na medida em que também inclina as chamas, aproximando-as da vegetação ou das estruturas. Durante a propagação de um incêndio, o vento é responsável pelo transporte de partículas em combustão que podem dar origem a focos secundários e/ou atingir

diretamente as edificações provocando-lhes danos.

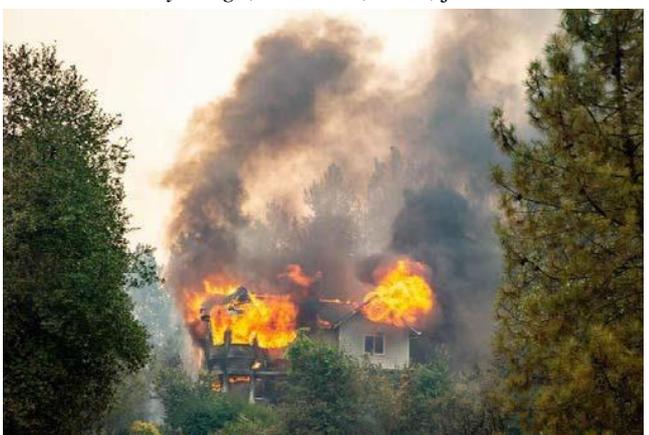
São inúmeros os exemplos, em estudos oriundos de vários países, que referem as projeções de partículas incandescentes como o fenómeno mais frequente de ignição de estruturas, por exemplo, Sullivan *et al.* (2003), Manzello *et al.* (2007), Cohen & Stratton (2008), Tolhurst & Chong (2010), Graham *et al.* (2012), Calkin *et al.* (2014), Maranghides *et al.* (2015), Cohen (2016), Maranghides & Mcnamara (2016), Westhaver (2017) ou Ribeiro *et al.* (2020). Estas fagulhas podem ter dimensões variadas e viajar dezenas, centenas ou mesmo milhares de metros a partir da frente de um incêndio (Almeida, 2011). Há inúmeras evidências deste facto, não só na bibliografia científica como também nos trabalhos de investigação pós incêndio, do qual o já mencionado Relatório “*O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*” de Viegas *et al.* (2017) é um dos melhores exemplos. Veja-se, a título de exemplo, as fotografias de casas a arder em diferentes incêndios, sem que o fogo principal estivesse perto (Figura 20).



Missionary Ridge, Colorado, EUA, junho de 2002



Colorado Springs, Colorado, EUA, junho de 2012



California, 2018



Grécia, 2018

Figura 20. Exemplos de casas em combustão, sem que o incêndio principal estivesse nas imediações (Fonte: Jack Cohen, USDA Forest Service).

As projeções de partículas incandescentes, ou fagulhas, podem provocar ignição de diversas formas (Leonard & Bianchi, 2005; Ribeiro, 2016), por exemplo:

- acumulando-se em materiais combustíveis utilizados ao nível do solo ou próximo, tais como fachadas, troncos, postes, portas de caves ou escadas;
- acumulando-se em materiais combustíveis usados para deques, varandas ou pérgolas;

- acumulando-se em aberturas ou fendas de materiais combustíveis usados no revestimento das casas, janelas ou portas;
- entrando para as casas através de janelas partidas pela radiação ou por objetos transportados pelo vento (e originando ignições nos componentes interiores da habitação);
- originando ignições em estruturas adjacentes às casas, que posteriormente as incendiam. Muitas vezes estas estruturas são cercas, ou pequenos barracões de apoio. Nestes casos a duração da radiação e exposição às chamas pode ser um período longo (uma hora ou mais), em comparação com a exposição ao incêndio em si (alguns minutos);
- acumulando-se em pontos vulneráveis dos telhados, seja por acumulação de combustíveis (folhas, ramos, etc.), seja por defeitos que deixam visíveis elementos sensíveis (telhas levantadas, respiradores partidos, buracos, etc.);
- quando o vento que se faz sentir durante o incêndio levanta os telhados ou parte deles, independentemente do seu estado de conservação, ou materiais de construção (telhas, chapas metálicas, madeira), abrindo caminho para as partículas incandescentes entrarem para dentro das casas.

Estes pontos estão diretamente relacionados com vulnerabilidades estruturais. Segundo Syphard & Keeley (2019) em mais de 40.000 casas expostas a incêndios na Califórnia, entre 2013 e 2018, as características estruturais foram determinantes para explicar a diferença entre as edificações que arderam e as que sobreviveram do que propriamente o espaço defensável, ou HIZ.

O facto de as fagulhas serem o principal mecanismo de ignição sugere que a presença de pessoas nas estruturas pode ser fundamental para extinguir eventuais focos secundários emergentes, quer dentro, quer fora do edifício. Alexander *et al.* (2017) fizeram um exercício de modelação da probabilidade de sobrevivência de uma casa com ou sem pessoas a protegê-la, em função da intensidade do fogo, utilizando quatro cenários diferentes:

- a) desrespeito total por qualquer regra de segurança contra os incêndios;
- b) precauções contra incêndios apenas ao nível da gestão de combustíveis à volta da casa;
- c) precauções contra incêndios apenas ao nível da própria casa;
- d) precauções relativas a todos os aspetos, seja da casa seja da envolvente.

O estudo é feito com base na análise de 455 casas destruídas, ameaçadas ou com danos ligeiros nos incêndios de 2003 na Austrália (descritos no **Capítulo 4**). Na Figura 21 podemos ver que para as mesmas classes de intensidade do fogo, e em qualquer dos cenários, a probabilidade da casa sobreviver é sempre muito maior quando há gente dentro ou por perto. A probabilidade em cenários de elevada intensidade chega mesmo a ser 7 a 8 vezes superior, dependendo do cenário. Estes resultados estão alinhados com os obtidos por Ramsay *et al.* (1987), Leonard & Bowditch (2003) ou Leonard & Blanchi (2005).

Scenario A: Total disregard for any fire safety precautions
 Scenario B: Fire safety precautions taken only in regard to fuels surrounding house
 Scenario C: Fire safety precautions taken only in regard to the house itself
 Scenario D: All reasonable fire safety precautions to and near the house taken

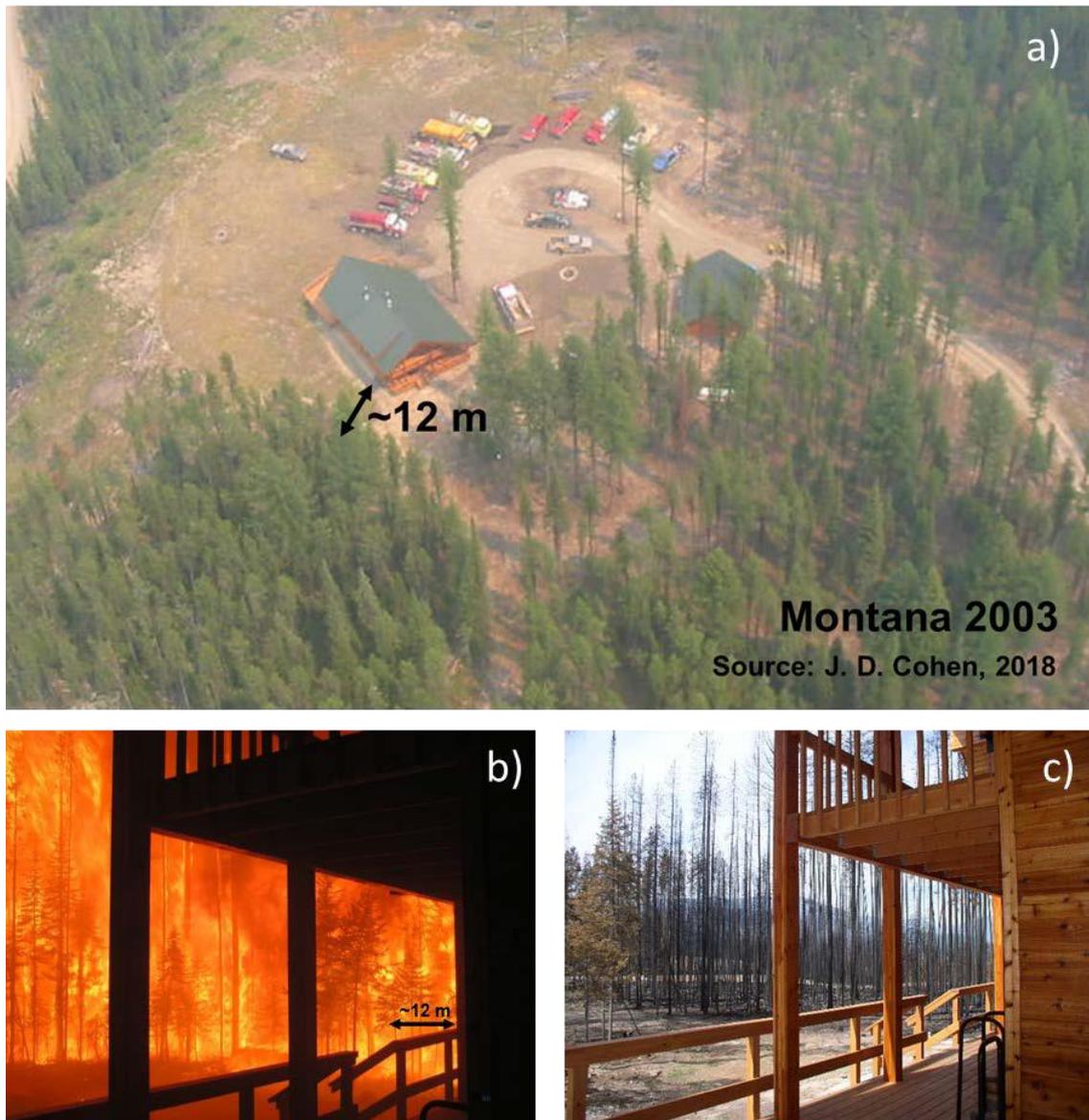
Scenario	Without Persons in Attendance Fire Intensity Class (kW/m)			Scenario	With Persons in Attendance Fire Intensity Class (kW/m)		
	500-1500	1500-10,000	10,000-60,000		500-1500	1500-10,000	10,000-60,000
A	14.4%	1.2%	0.3%	A	29.9%	10.3%	2.3%
B	16.0%	4.9%	1.0%	B	63.6%	32.1%	8.9%
C	26.1%	8.7%	1.9%	C	76.5%	46.8%	15.3%
D	59.1%	28.1%	7.4%	D	93.0%	78.2%	42.6%

kW/m × 0.29 = BTU/sec-ft
 The following attributes were considered in the above scenarios:

House and Surrounding Fuel Conditions	Scenario			
	A	B	C	D
Flammable objects nearby (e.g., firewood heap)?	Yes	No	Yes	No
Wooden shingle roof?	Yes	Yes	No	No
Nonwooden or nontile roof with pitch >10 degrees?	No	No	Yes	Yes
External walls made of brick, stone, or concrete?	No	No	Yes	Yes
Trees (5+ m high) within 40 m of house?	Yes	No	Yes	No

Figura 21. Probabilidades aproximadas de uma casa sobreviver a um incêndio florestal (retirado de Alexander et al., 2017).

Apesar de o calor proveniente de um incêndio (por radiação ou por convecção) não ser o principal modo de ignição, o seu impacto não é de menosprezar, pois pode danificar ou destruir inúmeros componentes de proteção das casas ou, por exemplo, partir vidros, criando pontos de entrada para o fogo, ou mesmo provocar ignição em componentes mais frágeis, que, se não forem apagados a tempo, podem provocar a destruição de toda a estrutura. Se o tipo de construção for resistente ao fogo, e for bem mantida, minimiza-se este fenómeno, mesmo em casas de madeira. Na Figura 22 podemos observar um exemplo: em cima pode ver-se a localização de uma casa relativamente ao espaço florestal (a) e em baixo um instante do intenso fogo de copas que esteve a 12 metros de distância (b) e o estado da estrutura depois de ele passar (c). A casa era altamente resistente à entrada de fagulhas e a ausência de combustíveis de superfície junto a ela impediram que o fogo propagasse para junto das paredes de madeira. Vários bombeiros (um dos quais tirou as fotografias) e um residente abrigaram-se na casa por segurança, como alternativa adequada a uma evacuação menos segura. A estrutura resistente à ignição foi julgada como fornecendo uma opção de segurança racional e foi a escolha preferida quando as condições do incêndio ao longo das rotas de fuga eram desconhecidas.



Apesar de a ignição em estruturas da IUF poder ter inúmeras causas, a mais comum é a combustão de vegetação, seja na frente principal do incêndio, de onde são libertadas as partículas, seja nas imediações (vegetação espontânea ou dos jardins). No entanto, a ignição também pode ter origem em material artificial, ou construído, como estruturas contíguas ou materiais não naturais depositados nas imediações (ainda que provavelmente a ignição dos primeiros ou dos segundos tenha origem em matéria vegetal).

Não podemos também deixar de referir que, em casos ou locais onde o comportamento do fogo seja extremo, a probabilidade de as estruturas serem danificadas por qualquer um dos mecanismos descritos é mais elevada, não podendo nenhuma estrutura ser assumida genericamente como sendo segura.

6.3 Comportamento do fogo em função do ambiente do fogo

O modo com um incêndio afeta um determinado aglomerado populacional está dependente de uma série de fatores relacionados, sobretudo, com a gestão do espaço e de comportamentos das pessoas

(Viegas *et al.*, 2017). A gestão de combustíveis nas imediações das estruturas reveste-se de grande importância na sobrevivência das mesmas, uma vez que tendem a diminuir o impacto com que um incêndio as atinge. Já vimos anteriormente a origem dos conceitos de espaço defensável (ou HIZ) e das diferentes dimensões associadas, sobretudo a questão dos 30m na envolvente (Cohen, 2000b; Cohen, 2008; Cohen & Butler, 1996; Mell *et al.*, 2010; Graham *et al.*, 2012). Este valor de 30m foi obtido através de extensa simulação computacional, relacionando as características do fogo, com as propriedades das estruturas, e também através dos referidos ensaios de campo (Stocks *et al.*, 2004). Mais recentemente, Graham *et al.* (2012) analisaram diversos casos reais e asseguraram que muito dificilmente uma estrutura entrará em ignição por contacto direto de um fogo que esteja a mais do que aquela distância, que é assumida como a do “pior cenário”, mas para terreno plano ou com declive suave. Podemos assim afirmar, com alguma certeza, que a probabilidade de ignição de uma estrutura pelo efeito direto do fogo (seja por radiação ou por convecção) pode ser drasticamente reduzida se forem eliminados ou modificados os combustíveis na sua envolvente, especialmente os primeiros 10m. Podemos também afirmar que estas regras podem ser alteradas por fatores tais como a topografia ou o vento (Viegas *et al.*, 2017). Por exemplo, num estudo realizado em laboratório, Ribeiro *et al.* (2019) verificaram que, quando uma frente de chamas se propaga a subir uma encosta (declive de 30°, ou 57,7%) e atinge a fachada principal de uma casa que se encontra num terreno horizontal (declive de 0°), a sua intensidade de propagação pode ser cinco vezes maior quando não há gestão de combustível nas imediações, em comparação com as casas que tinham gestão de combustível. Na mesma análise comparativa, verificou-se que a altura da chama diferia em, pelo menos, duas vezes.

À combinação dos fatores de topografia, meteorologia e combustíveis, das quais depende o comportamento do fogo, chama-se usualmente “*ambiente do fogo*” (Countryman, 1972). Apesar de a bibliografia sobre comportamento do fogo e a sua relação com estes parâmetros ser incrivelmente vasta, reconhece-se que existem ainda muitos aspetos que não estão inteiramente compreendidos, sendo que não existem presentemente modelos fiáveis para modelizar o comportamento do fogo, em particular a dinâmica da sua interação com a atmosfera. Por esse motivo os resultados de simulações que são apresentados, devem ser considerados como meramente indicativos. A análise aprofundada deste tema cai fora do âmbito deste trabalho. Focar-nos-emos aqui nos conceitos e parâmetros necessários ao estudo apresentado.

A gestão de combustíveis, seja à escala da paisagem, seja na IUFL, tem como principal objetivo modificar o comportamento do fogo por forma a minimizar os seus impactos negativos, diminuindo a magnitude das suas características (velocidade, intensidade, comprimento de chama, etc.), procurando preservar, tanto quanto possível os restantes objetos de gestão da vegetação, incluindo a preservação da paisagem, do equilíbrio ecológico e da produção económica. A bibliografia sobre o assunto é extensa, por exemplo, Hirsch & Pengelly (1998), Conard *et al.* (2001), Rigolot *et al.* (2003), Agee & Skinner (2005), Fernandes (2006), Xanthopoulos *et al.* (2006), Ager *et al.* (2010), Moreira *et al.* (2010), Bar Massada *et al.* (2011), Jain *et al.* (2012), Fernandes (2013), Martell (2015), Omi (2015), Oliveira *et al.* (2016), Salis *et al.* (2018), Observatório Técnico Independente (2019), Ribeiro *et al.* (2019), ICNF (2018), Mylek & Schirmer (2020) ou Benali *et al.* (2021), entre muitos outros. A sua planificação pode depender de diferentes fatores, consoante a escala e os objetivos da mesma.

Na gestão de combustíveis na proximidade de estruturas e infraestruturas, é difícil preconizar soluções gerais tendo em conta parâmetros variáveis. Por exemplo, o vento pode ter padrões característicos em determinadas regiões, mas o seu comportamento a nível local pode ser muito variável e apenas com uma análise caso a caso é possível incluí-lo na planificação. No entanto, a topografia, nomeadamente o declive, é um parâmetro estático fácil de avaliar, pelo que pode e deve ser tido em conta na definição de estratégias. Do mesmo modo, o tipo de vegetação existente no local a gerir também deve ser tido em conta, pois há diferenças significativas no comportamento médio do fogo entre distintas formações vegetais.

O modo mais simples de se perceber a influência da topografia e dos diferentes tipos de vegetação na variação do comportamento do fogo é recorrendo à simulação e apresentando de uma forma clara e sistematizada os resultados para três tipos de combustíveis, em função de diferentes condições de declive: i) herbáceas, ii) mato e iii) povoamentos florestais. Para o fazer recorreremos a uma ferramenta de simulação numérica denominada *BehavePlus Fire Modeling System* na sua versão mais atual, o *BehavePlus6* (Andrews, 2014).

O *BehavePlus* é um sistema de simulação do comportamento do fogo composto por uma coleção de modelos matemáticos semi-empíricos desenvolvidos nos EUA nos anos 70 e 80. Para um determinado ponto no espaço é possível simular, entre outros, a velocidade de propagação, intensidade do fogo, comprimento de chama, distância de projeção de partículas ou a mortalidade de árvores. O modelo de propagação principal, na base do sistema, foi desenvolvido por Richard Rothermel (1972) e calcula a velocidade de propagação do fogo de superfície, sendo suportado por outros modelos secundários para os mais distintos dados de saída. De uma maneira simplificada, para realizar simulações são necessários dados descritivos da meteorologia (vento), do terreno (declive) e da vegetação (modelos de combustíveis descritivos do tipo de vegetação e das suas características físicas). Quanto mais complexos forem os resultados pretendidos, mais exigentes serão os dados de entrada. Um modelo de combustível descreve fisicamente a vegetação com um conjunto de parâmetros numéricos requeridos pelo referido modelo de Rothermel (1972). Assume-se que a vegetação é homogénea numa determinada área, da mesma maneira que a meteorologia e a topografia o serão, permitindo que o fogo se mantenha com características constantes, que poderão então ser previstas.

Os modelos de combustível mais conhecidos são os chamados “*Modelos NFFL*”, um conjunto de 13 modelos agrupados em 4 classes: herbáceas, matos, povoamentos florestais e resíduos de exploração (Anderson, 1982). Estes modelos são utilizados um pouco por todo o Mundo, sendo-o também nos PMDFCI atualmente em vigor. Existem outros modelos desenvolvidos com a mesma metodologia, mas especificamente para Portugal, ainda que com menor grau de divulgação e uso, por exemplo:

- Modelos de Combustíveis Florestais para a Região Centro, desenvolvidos pelo CEIF no âmbito de um projeto de investigação cofinanciado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pela Comissão Nacional Especializada de Fogos Florestais (CNEFF). Estes modelos foram publicados num guia fotográfico, com o apoio da então Direção Geral dos Recursos Florestais, intitulado “Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais – Região Centro (Cruz, 2005).
- Modelos de Combustível Florestal para Portugal, desenvolvidos por Fernandes *et al.* (2009), para caracterizar os tipos de vegetação arbustiva e florestal mais característicos do País, e segundo os autores, calibrados com dados reais de incêndios em Portugal.

É importante salientar que estes modelos de combustível descrevem os combustíveis de superfície (e não as copas das árvores), pelo que apenas refletem o comportamento do fogo de superfície (e não os fogos de copas). Por esse motivo, quando se fala de modelos em povoamentos florestais, fala-se apenas dos combustíveis que se encontram na superfície, junto ao solo, e que sustentam a propagação de superfície, ou seja, a folhada e/ou formações arbustivas aí encontradas.

A simulação de fogos de copas requer dados mais complexos descritivos do estrato arbóreo, o que a torna difícil (Cruz *et al.*, 2003). No entanto, todas as medidas de gestão preconizadas para a IUF, nomeadamente a quebra de continuidade horizontal e vertical, associada ao espaçamento físico entre a vegetação (copas/arbustos, copas/copas, arbustos/arbustos), tendem a limitar a ocorrência deste tipo de propagação extrema. Por estes motivos, focar-nos-emos apenas no fogo de superfície, que usualmente governa a propagação nas zonas de IUF.

No entanto, é sabido que a existência de árvores influencia diretamente a velocidade do vento, sendo esta mais baixa em povoamentos densos. O *BehavePlus6* ajusta a velocidade do vento (usualmente medida a 10m de altura, em terreno aberto) com base no grau de cobertura do povoamento, na sua altura e no rácio de copa (relação entre a dimensão da copa e a altura total da árvore). Novamente, numa perspetiva de simplificação, assumimos nestas simulações que não existe coberto arbóreo, ainda que se contemplem os modelos de povoamento florestal. Note-se que para as simulações pretendidas, este coberto apenas influencia a velocidade do vento.

Os resultados das simulações do comportamento do fogo, como qualquer simulação de um fenómeno natural, não devem ser encarados como certezas, mas antes como aproximações da realidade, assumindo que os dados de entrada descrevem com a maior exatidão possível os fatores do ambiente do fogo. Não obstante ser virtualmente impossível esta descrição ser perfeita, estes resultados podem ser muito úteis em diferentes aplicações, por exemplo, para comparar situações semelhantes onde se pretende apenas variar alguns

parâmetros. A sua análise avançada requer alguma experiência na modelação do comportamento do fogo, mas alguns dos dados de saída mais diretos podem ser facilmente interpretados recorrendo a bibliografia especializada. Por exemplo, Alexander & Lanoville (1989) (ver Tabela 20) e mais recentemente Tedim *et al.* (2018) apresentam relações entre alguns descritores do comportamento do fogo (velocidade de propagação, intensidade da frente, comprimento de chama), o tipo de incêndio e a respetiva capacidade de extinção. A Tabela 22 apresenta uma adaptação por Viegas *et al.* (2019) da tabela originalmente publicada por Tedim *et al.* (2018), que por sua vez emprega parte do trabalho de Alexander & Lanoville (1989) para expandir as classes aí apresentadas, adaptando-as aos tempos correntes de mudança climática e de ocorrência de incêndios de cada vez maior dimensão e intensidade. Como se pode constatar, é relativamente simples retirar algumas orientações através da conjugação dos três descritores do comportamento do fogo referidos.

Tabela 22. Classificação do tipo de incêndio florestal e respetiva capacidade de controlo em função da intensidade (I), velocidade de propagação (R) e comprimento de chama (L) (imagem adaptada de Viegas *et al.*, 2019)

Tipo de fogo		I kW/m	R m/min				L m	Focos secundários		Tipo de comportamento	Facilidade de controlo
			a	b	c	d		Atividade	Distância		
									m		
Normal	1	<500	<5	<15			<1,5	Nula	0	Superfície	Fácil
	2	500-2.000	<15	<20			<2,5	Baixa	<100	Superfície	Moderadamente difícil
	3	2.000-4.000			<20	<50	2,5-3,5	Alta	≥100	Superfície e transição para copas	Muito difícil
	4	4.000-10.000			<50	<100	2,5-10	Prolífica	500-1.000	Superfície e possível de copas	Extremamente difícil
Extremo	5	10.000-30.000			<150	<250	10-50	Prolífica	>1.000	Fogo de copas e projeções	Virtualmente impossível
	6	30.000-100.000			<300		50-100	Massiva	>2.000	Caótico	Impossível
	7	>100.000			>300		>100	Massiva	>5.000	Tempestade de fogo	Impossível

Tipos de combustível: a) Arbustos e arvoredos; b) Herbáceas; c) Arvoredos e d) Arbustos e herbáceas.

Selecionámos para as simulações aqui realizadas um modelo de combustível para cada uma das classes referidas atrás (herbáceas, arbustos e povoamentos) dentro de cada conjunto de modelos identificados na Tabela 23. Os modelos selecionados são equivalentes, mas resultantes de processos de amostragem e calibração diferentes. Por esse motivo, os respetivos parâmetros descritivos não são iguais, o que se traduz em diferenças no comportamento do fogo.

Tabela 23. Modelos selecionados para as simulações.

Modelos	Grupo	Código	Descritivo
NFFL (Anderson, 1982)	Herbáceas	NFFL_1	Erva baixa, menor que 0,3 m
	Mato	NFFL_4	Mato denso até 1,8 m
	Povoamentos	NFFL_9	Povoamentos sem sub-bosque, com folhada pouco compacta
Região Centro (Cruz, 2005)	Herbáceas	Cruz_HER-01	Erva baixa, menor que 0,35 m
	Mato	Cruz_MAT-02	Mato com altura média entre 0,5 e 1,5 m
	Povoamentos	Cruz_PPIN-03	Pinhal sem subcoberto arbustivo
Portugal (Fernandes <i>et al.</i> , 2009)	Herbáceas	V-Hb	Erva baixa, menor que 0,5 m
	Mato	V-MAa	Mato com altura média entre 0,5 e 1 m de urze, tojo ou carqueja
	Povoamentos	F-PIN	Folhada de pinhais de agulha média a longa

* Ao nome original dos modelos desenvolvidos em Portugal adicionámos um prefixo indicativo dos respetivos autores (Cruz, de Cruz (2005) e Fern de Fernandes *et al.* (2009))

Para simplificar a análise, fixámos a humidade dos combustíveis e o vento em valores típicos de um dia com condições de risco de incêndio máximo. Assim, a humidade dos combustíveis foi definida como muito baixa e correspondendo a um cenário de vegetação “totalmente curada” (estado de maturação e secura máximos) do *BehavePlus*. O vento utilizado foi de 20 km/h (sempre alinhado com a direção da propagação, para simbolizar o “pior cenário”), frequentemente observado em incêndios florestais.

A Figura 23 apresenta os resultados das simulações para a variável “*velocidade de propagação*” referente aos combustíveis descritos na Tabela 23. O eixo central representa a situação sem declive. Para a sua esquerda estão representados declives negativos de 10 em 10 % até 100 % (45 °), ou seja, situações com o fogo “*a descer a encosta*”. Para a direita os declives são positivos e da mesma ordem de grandeza, referindo-se a uma situação “*a subir a encosta*”. A figura por baixo do gráfico esquematiza graficamente o referido, mostrando também a direção de incidência do vento (20 km/h), sempre a favor da propagação. A Figura 24 e a Figura 25 seguem o mesmo esquema, mas para as variáveis “*comprimento de chama*” e “*intensidade linear da frente de fogo*”.

Com declives negativos muito acentuados o modelo de cálculo tem alguma dificuldade em descrever com exatidão a propagação do fogo, pois esta deixa muitas vezes de ter condições de manutenção. Um ponto em comum aos três descritores do comportamento do fogo apresentados é o facto de, a partir de declives acentuados de cerca de 20 % os seus valores subirem consideravelmente. A explicação para este aumento foi já abordada anteriormente.

A velocidade de propagação, expressa aqui em metros por minuto, tem valores característicos para cada tipo de vegetação, sendo usualmente mais elevada em matos, seguida das herbáceas e por último da folhada de povoamentos. Na Figura 23 podemos constatar que os diferentes modelos de herbáceas e folhada de povoamentos têm comportamentos semelhantes entre si. Já nos matos, o modelo NFFL_4 (Anderson, 1982) é o que apresenta velocidades superiores, seguido do Cruz (2005) e depois o de Fernandes *et al.* (2009). Conforme já referimos, apesar de construídos com metodologias idênticas, os modelos refletem processos, locais de amostragem e calibrações diferentes. Assim, observamos que a folhada de povoamentos se mantém praticamente sempre com velocidades dentro da classe mais baixa (1) de classificação da capacidade de controle, sobretudo em declives até 50% (modelos de Cruz e Fernandes) e até 90% (NFFL). Fazemos a ressalva que o ajuste à realidade do modelo de declive usado no *BehavePlus* não é conhecido acima de declives de 30-40%.

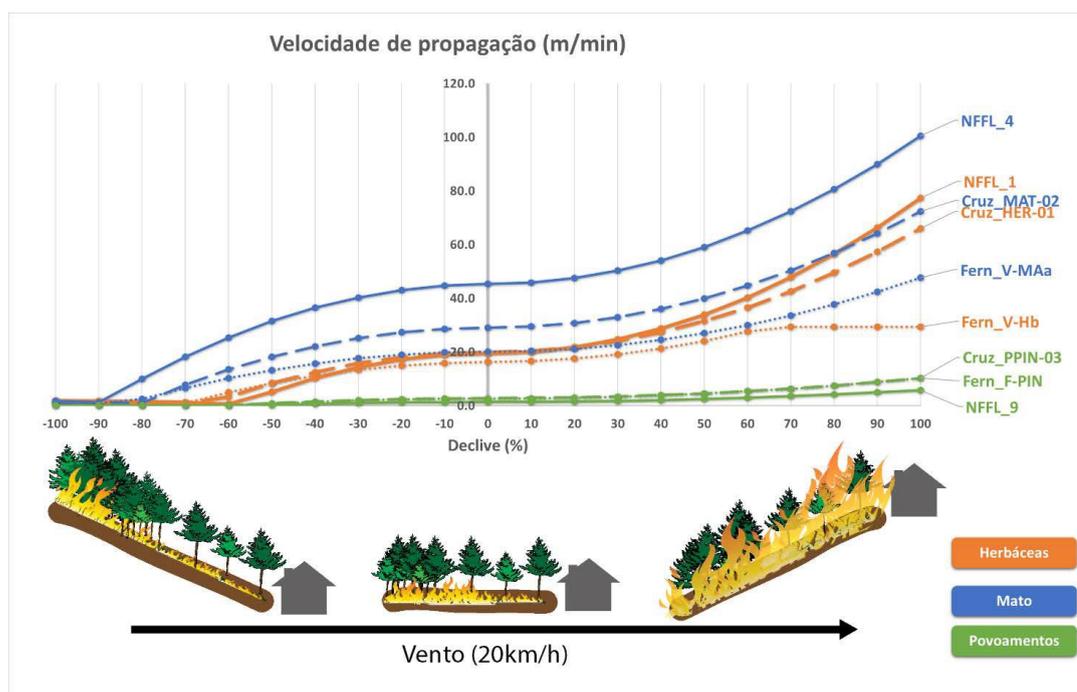


Figura 23. Comparação da velocidade de propagação, simulada no *BehavePlus6*, para diferentes combustíveis. Os códigos dos modelos foram definidos na Tabela 23.

Já vimos que a Tabela 22 dá indicação do potencial de um incêndio, tendo em conta os descritores do comportamento do fogo. A análise deve ser realizada aos três de uma forma integrada, mas o seu comportamento individual também pode ser analisado, como referência comparativa. Assim, observamos que a folhada de povoamentos se mantém praticamente sempre com velocidades dentro da classe mais baixa (1) de classificação da capacidade de controle, sobretudo em declives até 50% (modelos de Cruz e Fernandes) e até 90% (NFFL). Tal é indicativo de que a folhada só por si não traz perigo acrescido para as estruturas ou infraestruturas, desde que não leve a combustão até outros combustíveis, naturais ou artificiais, em contacto com as mesmas. Nas herbáceas o limiar da classe 2 da capacidade de controle situa-se nos 30 m/min, e ela nunca é atingida nos modelos de Fernandes, e apenas o é a partir de declives iguais ou superiores a 50 % nos outros dois modelos. A observação feita para a folhada de povoamentos também se aplica às herbáceas. Nos modelos de matos, para as condições de simulação testadas e sem ter em conta os outros dois descritores, até 30 % de declive, o fogo dificilmente poderá ser controlado (classe 4) e a partir deste valor o controle é “*virtualmente impossível*” (classe 5). Note-se que os modelos de Fernandes apresentam velocidades consideravelmente mais baixas que os outros dois e para declives menores que 10 % colocam mesmo o fogo na classe 3 (controle muito difícil).

Nos declives negativos, ou seja, nas situações em que o fogo desce a encosta, a velocidade de propagação é no máximo igual àquela em situação sem declive, sendo que a partir de -20 % os valores descem acentuadamente.

A Figura 24 apresenta os resultados para o descritor “comprimento de chama”. Mais uma vez, nos modelos de folhada de povoamentos, praticamente não saímos da classe 1 de controle (fogo de superfície com controle relativamente fácil).

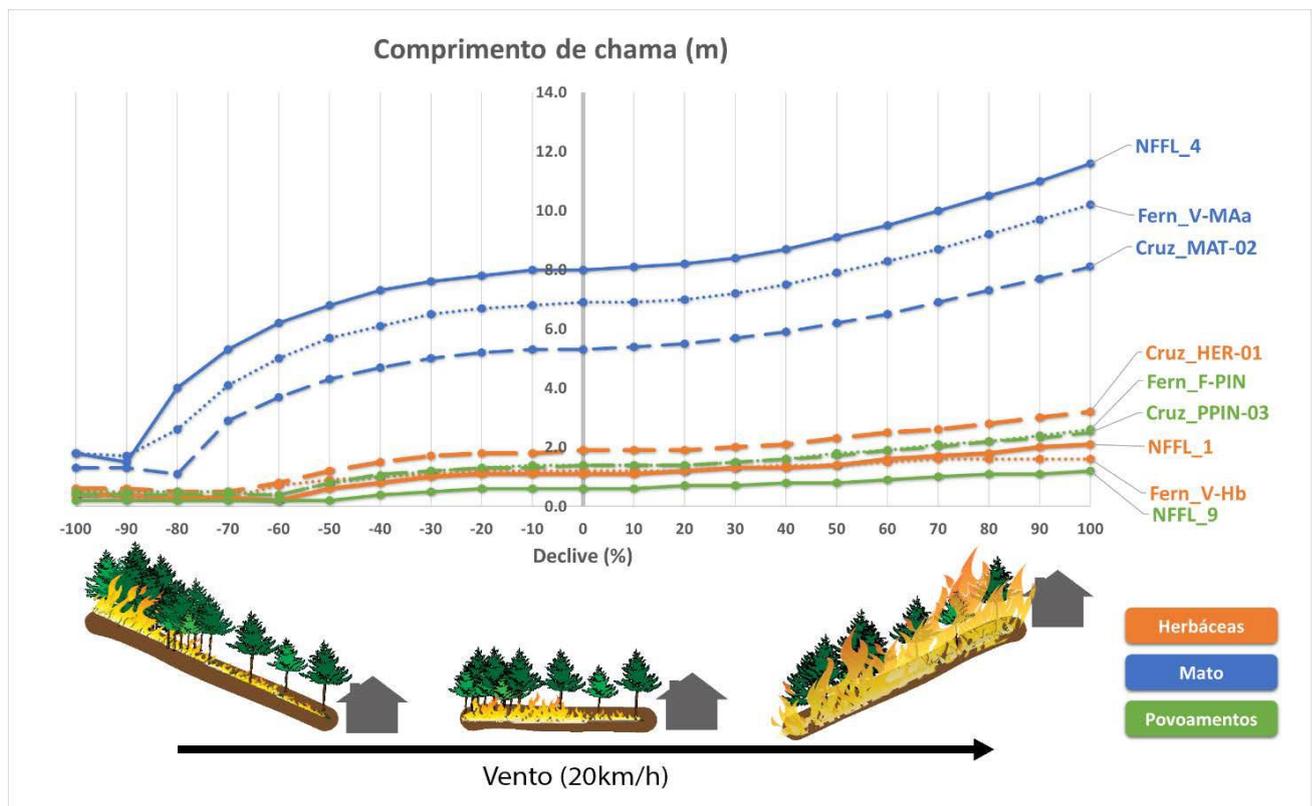


Figura 24. Comparação do comprimento de chama, simulado no BehavePlus6, para diferentes combustíveis. Os códigos dos modelos foram definidos na Tabela 23.

Nos modelos NFFL e de Fernandes, apenas em declives iguais ou superiores a cerca de 60 % se passa para a classe 2, com comprimentos de chama superiores a 1,5m. Se tivermos em conta as recomendações de criação de uma faixa de 1,5 a 2m completamente incombustível ao redor das habitações, vemos que estes comprimentos de chama também não são problemáticos por si só.

Nas herbáceas representadas pelos modelos NFFL e de Fernandes o resultado é idêntico, e até 50 % de declive a capacidade de controle mantém-se na classe 1, subindo pouco depois disso. No modelo de Cruz a classe de controle é sempre a 2, sendo o comprimento de chama sempre inferior a 2m para declives iguais ou inferiores a 30 % (mesmo para declives de 100 %, o limiar nas simulações, o comprimento de chama não ultrapassa os 3,2m). Logicamente a combustão em matos produz chamas maiores e a classe de capacidade de controle em qualquer dos modelos é maioritariamente a 4 (controle extremamente difícil), ultrapassando-a mesmo para declives superiores a 70 % nos modelos NFFL ou 100 % nos de Cruz e nos de Fernandes. Ainda assim, falamos de chamas quase sempre inferiores a 10m, ou mesmo 7m quando o declive é inferior a cerca de 20% (modelos Cruz e Fernandes). Nos declives negativos o comprimento de chama segue a tendência da velocidade de propagação, já mencionada anteriormente.

Por último, apresenta-se na Figura 25 a variação da intensidade linear da frente de fogo, que é talvez o parâmetro mais revelador, e que porventura, só por si, é capaz de dar indicações sobre a natureza de um incêndio e sobre a respetiva capacidade de controle. O gráfico da figura foi dividido em dois, isolando os resultados para o mato, pois a intensidade nestes complexos combustíveis é muito superior aos outros dois.

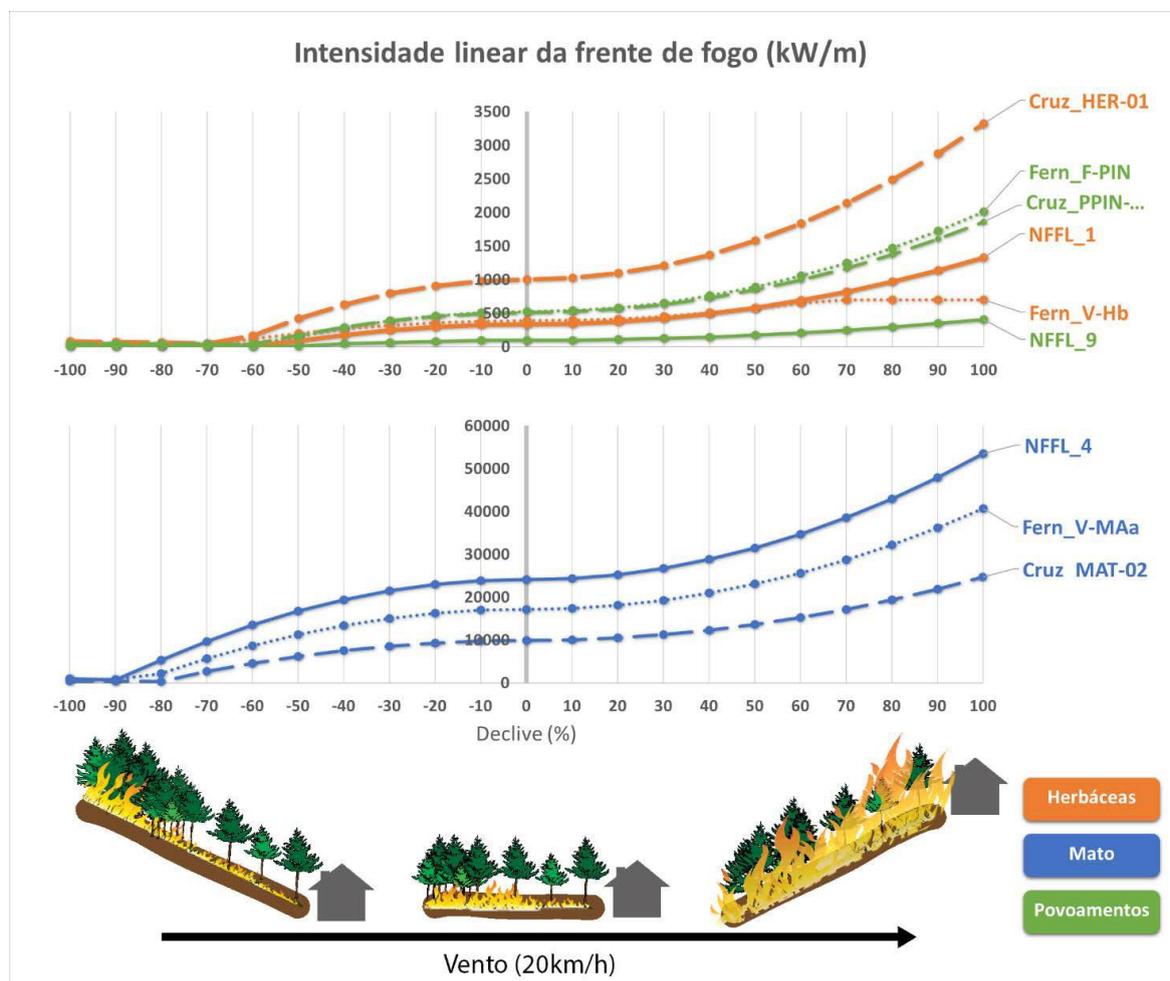


Figura 25. Comparação da intensidade do fogo, simulada no BehavePlus6, para diferentes combustíveis. Os códigos dos modelos foram definidos na Tabela 23.

Quer os combustíveis herbáceos, quer a folhada de povoamentos, para declives inferiores a 20 % (com exceção do modelo de herbáceas de Cruz), ficam sempre abaixo do limiar de 500 kW/m, situando-se na classe 1 de capacidade de controle. Se englobarmos o modelo de Cruz, até declives perto dos 70 % a intensidade mantém-se em valores abaixo dos 2.000 kW/m, ou seja, a classe 2 da capacidade de extinção.

Quando o combustível muda para mato, a situação é muito diferente, e qualquer dos modelos de combustível apresenta resultados de intensidade linear da frente de fogo fora da capacidade de extinção, considerada ser

o limiar de 10.000 kW/m. Ainda assim, estes resultados devem ser analisados em conjunto com os dois descritores anteriores. Esta análise conjunta é de grande importância ao analisar a microescala da IUF, pois apesar de intenso, o fogo pode não ter capacidade de afetar uma construção, por conjugação de outros fatores (ver exemplo da Figura 22).

Pode chamar a atenção o facto de, para certos declives negativos, a intensidade também colocar o fogo fora da capacidade de extinção. Lembramos que estamos a falar de um fogo descendente, mas com vento de 20 km/h afavorecer a propagação (descendente, portanto). Esta não é uma situação muito comum (o vento usualmente sobe a encosta) e se fizermos a mesma simulação sem vento, ou com vento a subir, a velocidade de propagação não passa os 2,5 m/min, o comprimento de chama os 2m e a intensidade os 1.000 kW/m, valores que voltam a colocar o fogo nas classes mais baixas de capacidade de controle.

Recuperando o conceito apresentado no **Capítulo 3**, de *Safe Separation Distance* ou “Distância de Segurança” de Butler (2018), apresentamos na Figura 26 os resultados do seu cálculo, para as condições das simulações descritas atrás. Estas distâncias servem como guia para as forças de combate apedadas terem uma noção da distância que têm que ter, entre elas e a vegetação, para terem hipóteses de sobreviver em caso de encurralamento pelo fogo. Evidentemente, são sobrestimadas para o caso de uma estrutura, pois a sua capacidade de resistência é muito superior à do organismo humano. Mas mesmo com esta sobreavaliação, vemos que para declives até 20 % a distância necessária no caso de herbáceas e folhada de povoamentos florestais não ultrapassa os 10m nos modelos NFFL, os 11,2m nos modelos de Cruz e os 16m nos de Fernandes. Note-se que a formulação apresentada no modelo de Butler (2018) não contempla declives negativos e a situação sem declive, não sendo explicitamente referida, fica englobada na classe de declive menor que 15 %. Daí o facto dos valores da distância sem declive e com declive de 10 % serem iguais.

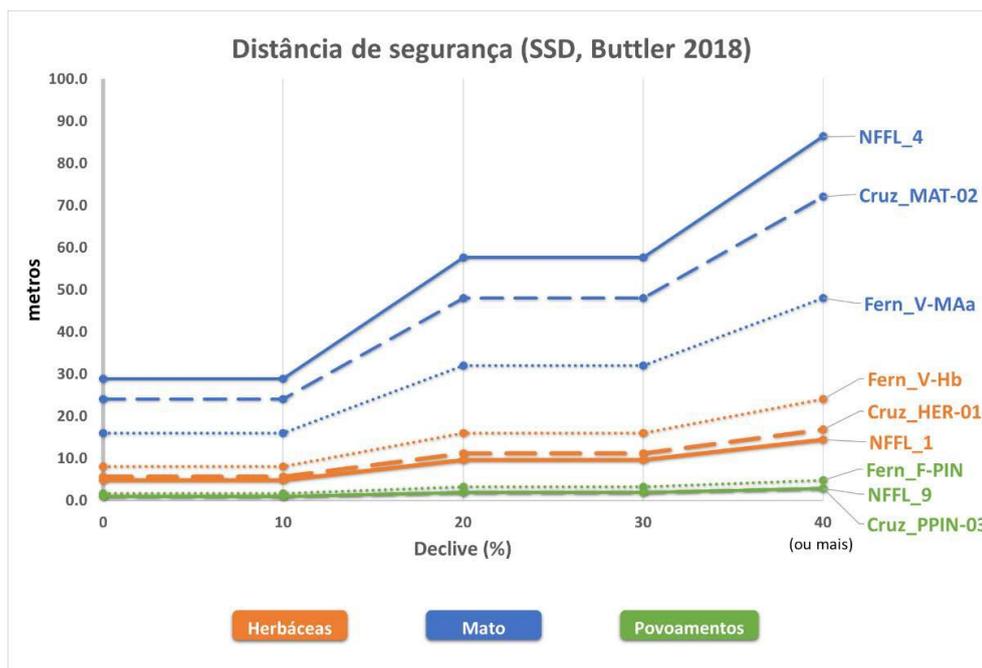


Figura 26. Cálculo da Distância de Segurança de Butler (2018), para as condições das simulações realizadas. Os códigos dos modelos foram definidos na Tabela 23.

Relativamente aos modelos de mato, os valores obtidos com os 3 modelos de combustíveis não são coincidentes. Para o mesmo limiar de 20 % de declive, os modelos NFFL 4 e MAT-02 de Cruz apresentam distâncias de segurança inferiores a 57,6 e 48m respetivamente. O V-MAa de Fernandes não passa os 32m. Considerando novamente o facto de não estarmos a falar de pessoas, mas sim de estruturas, seguramente poderíamos considerar que são sobrestimações.

Um facto importante a reter da Figura 26 é que ao duplicar o declive de 10 para 20 %, também duplicam as distâncias de segurança, seja qual for o combustível. Nos matos é particularmente importante, mas nas outras duas classes continuamos a falar de distâncias muito reduzidas (folhada de povoamentos) ou medianamente reduzidas (herbáceas).

Numa análise conjunta aos resultados das simulações e das distâncias de segurança, parece-nos não haver dúvidas da importância da gestão de combustíveis cuidada nos 10m contíguos às habitações, sobretudo a sua remoção completa nos primeiros 1,5 a 2m. No caso de declives superiores a 20 % estes 10m poderiam ser estendidos a 15 ou mesmo 20m, por forma a garantir um menor impacto do fogo nas estruturas. Já nos declives negativos a tendência é inversa, e não parece haver muito ganho em termos de proteção quando as faixas de gestão são muito grandes. As características de um fogo descendente, salvo casos excepcionais, serão sempre mais suaves, ou no máximo iguais a um fogo em terreno plano (para iguais condições dos restantes parâmetros). Sabendo que a convecção e radiação têm a tendência natural de subir (na atmosfera e na encosta), acreditamos que a partir de declives de -20 % (descendente, portanto) as dimensões da faixa de gestão podem ser diminuídas, devendo ser compensadas na outra vertente da casa que fica exposta a declive ascendente. A questão do isolamento numa faixa de 1,5 a 2m parece ser fundamental, pois não só não permite que o fogo entre em contacto direto com os elementos estruturais, como também elimina a possibilidade de fagulhas se depositarem em materiais combustíveis aqui existentes. O mesmo raciocínio pode ser aplicado às estruturas lineares, ou seja, em casos de declives superiores a 20 % as faixas de gestão podem ser diminuídas do lado do declive descendente, e compensadas do lado do declive ascendente.

Genericamente, podemos representar este conceito no esquema da Figura 27, sendo que no lugar da casa poderia estar uma estrada, ferrovia ou eventualmente uma linha elétrica, se bem que aí existem outros critérios a ter em conta, como a proximidade de copas de árvores aos cabos.

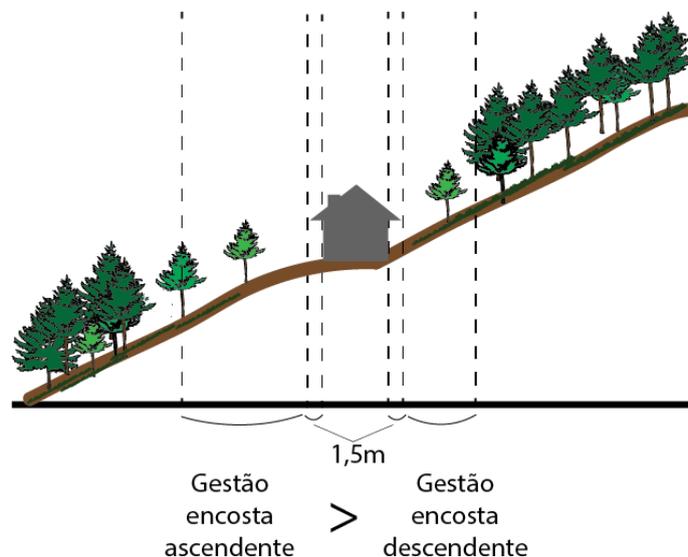


Figura 27. Exemplificação da diferença de gestão nas encostas ascendentes e descendentes.

Este conceito foi validado experimentalmente no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais do CEIF (Ribeiro *et al.*, 2019). Os resultados das simulações sugerem que o grupo de combustíveis cuja gestão deverá ser prioritária é o dos matos, sobretudo nas imediações (até 10m) das estruturas ou infraestruturas.

Para terminar esta secção resta-nos referir que realizámos simulações com intervalos de 1 % para os declives abaixo de 20 %, e verificámos que não há diferenças significativas nos descritores do comportamento do fogo, que justifiquem a adoção de mais classes abaixo deste limiar.

6.4 Dinâmica da vegetação

A questão da periodicidade das intervenções na gestão de combustíveis não é de análise simples. Os combustíveis têm ciclos de crescimento próprios de cada espécie, ainda que semelhantes dentro do tipo de vegetação. Por exemplo, pegando nos grupos identificados no ponto anterior, as herbáceas têm usualmente ciclos anuais, os arbustos crescem muito enquanto jovens, mas estabilizam depois em termos de biomassa ao fim de alguns anos, embora evoluam significativamente na proporção de material vivo ou morto, que pode ter um efeito muito importante no comportamento do fogo. Já as árvores têm períodos de crescimento de largos anos.

De um modo geral, podemos dizer que o clima Português é tipicamente mediterrânico, com alguma influência atlântica sobretudo no noroeste (Miranda *et al.*, 2006). É precisamente nesta zona que se registam anualmente dos valores médios mais elevados de precipitação acumulada, sendo nalguns locais superior a 3.000 mm. Poucos quilómetros a sul, no Alentejo, esta não ultrapassa os 500 mm (Miranda *et al.*, 2006). Ainda de acordo com os mesmos autores, “a precipitação apresenta variações interanuais muito acentuadas, tornando Portugal vulnerável a fenómenos extremos associados à falta (secas) ou ao excesso de precipitação (cheias)”. Este regime de precipitação têm uma influência preponderante no crescimento da vegetação, sobretudo nas herbáceas, cuja resposta vegetativa é extremamente rápida.

6.4.1 Vegetação herbácea

Na gestão da vegetação na IUF a regulamentação do corte da vegetação de crescimento anual, que designaremos de uma forma geral por herbáceas, é seguramente o grupo que mais preocupações causa. Trata-se de plantas cujo crescimento e secagem podem ser extremamente rápidos, e variar de ano para ano, em função das condições meteorológicas, em particular da precipitação, e do local ou região em que nos situarmos. Torna-se importante efetuar pelo menos um corte, durante a Primavera, para evitar que as plantas sequem e suportem a ignição e propagação rápida e intensa do fogo, durante o Verão. Dada a forte dependência do seu crescimento em relação à precipitação local, se a vegetação for cortada demasiado cedo, em março por exemplo, nalguns anos em que possa ocorrer precipitação abundante depois de efetuado o corte, pode ser necessário efetuar outro corte, com os encargos correspondentes. Por este motivo debruçar-nos-emos sobre este aspeto em particular.

A produção natural de plantas gramíneas ou herbáceas num dado local depende de um grande número de fatores (Moreira, 2002), entre os quais a localização do sítio (latitude, altitude, declive, exposição), propriedades do solo, clima (distribuição anual da temperatura, da precipitação, da insolação), e o período do ano. Dada a variação destes fatores ao longo de Portugal e a sua variabilidade inter-anual, não podemos pretender estabelecer leis ou regras precisas aplicáveis para cada local do País. Com base num estudo realizado pela ADAI, de amostragem de vegetação herbácea o longo das bermas da Autoestrada 1 (A1), com a colaboração da BRISA, iniciado em 1997, iremos apresentar alguns dados sobre o crescimento anual de vegetação herbácea, em função de alguns dos fatores estudados. Alguns elementos sobre este estudo podem ser encontrados em (Viegas *et al.*, 2002), mas neste trabalho incluímos dados mais recentes que ainda não se encontram publicados. Entre os anos de 1997 e 2021, com exceção dos anos de 2009 e 2015, foram recolhidas amostras de vegetação em 8 locais, situados nos km indicados na Tabela 24, entre o km 32 e o km 220 da A1, medidos de Sul para Norte, a partir do início da A1 em Lisboa. Algumas das parcelas situavam-se no lado ocidental (W) da A1, outros no lado oriental (E). Devido ao declive dos taludes em que algumas dessas parcelas se situavam, a exposição destas parcelas era respetivamente E e W. As duas parcelas, situados aos km 32 e 94, estavam localizadas em rotundas de acesso à AE e não tinham declive, pelo que o efeito de exposição não existia. Tendo em conta o traçado geral da A1 (ver Figura 28), dispomos de dados que cobrem um gradiente N/S de uma parte importante do Centro do País, mas não dispomos de um gradiente E/W, que seria igualmente importante. A amostragem era realizada anualmente, no final de maio ou no princípio de junho, quase sempre em dias seguidos, em todas as parcelas.

Tabela 24. Identificação das parcelas de amostragem e respetiva altitude na autoestrada AE1 em Portugal. As parcelas 32 e 94 localizam-se em rotundas sem uma orientação preferencial como acontece nas demais parcelas que se localizam em taludes.

Ref.	Parcela		Altitude
	Designação	km	m
1	32	32	10
2	61W	61	74
3	61E		
4	94	94	92
5	171W	171	85
6	171E		
7	220W	220	85
8	220E		

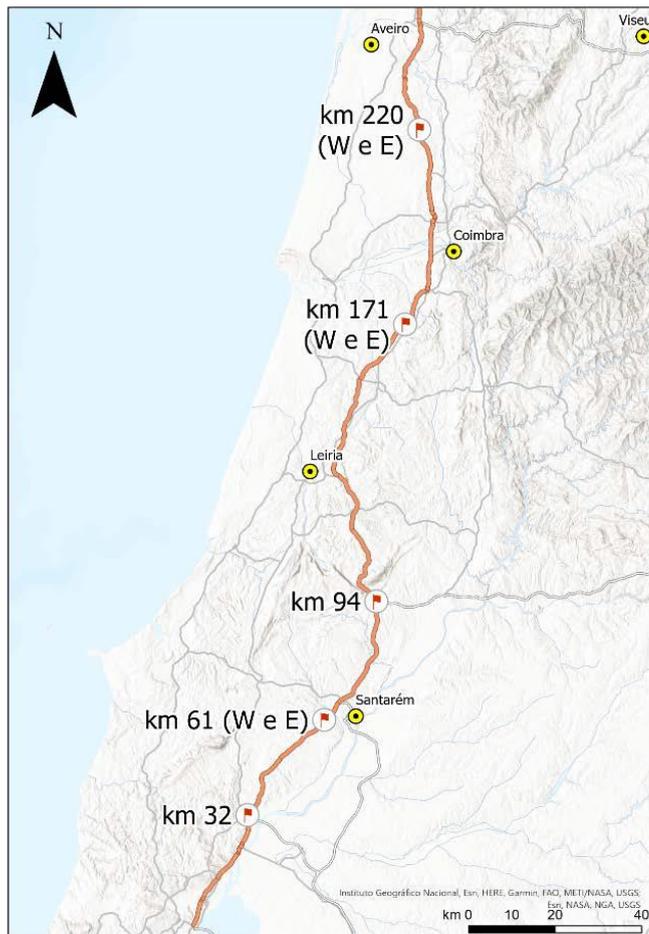


Figura 28. Localização das parcelas de amostragem na autoestrada AE1 em Portugal – as bandeiras na imagem indicam a parcela de amostragem.

Como se pode ver na Tabela 24, com exceção da parcela 32, todas as outras se situam a uma cota compreendida entre os 61 e os 94m de altitude, pelo que os dados disponíveis poderão não ser tão representativos das condições em maiores altitudes, nem em zonas mais interiores. Ainda assim, confiamos que poderá existir alguma semelhança nos padrões de crescimento em outras localizações.

6.4.1.1 Parâmetros estudados

De entre as diversas propriedades que foram medidas ao longo do programa de amostragem, iremos dar particular atenção aos seguintes parâmetros, pela sua relevância para o presente estudo:

- Biomassa anual na data de amostragem **Mc** (kg/m²)

O material recolhido nas parcelas era separado nas componentes morta e viva, que eram pesadas e em seguida colocadas numa estufa para secagem a 105°C durante 24h, para determinar a massa seca. Quando a quantidade era muito elevada a secagem era feita por amostragem.

A biomassa total, ou carga de combustível **Mc** em cada parcela era a soma das duas componentes, constituindo um dado importante para se poder avaliar o perigo associado à propagação do fogo em caso de incêndio. Os valores de **Mc** apresentados nesta secção são sempre referentes à sua base seca.

- Altura média da vegetação **H** (m)

A altura da vegetação era medida em cada ponto de amostragem de cada parcela, com a vegetação em pé, antes de se proceder ao seu corte e recolha. O seu interesse no âmbito deste estudo deriva do facto de se poder, em princípio usá-lo como uma medida da biomassa presente. Na legislação foi utilizada a altura da vegetação, como um indicador da biomassa que era permitido manter sem cortar.

Como veremos a relação H vs. Mc existe de forma definida para uma dada espécie, mas ao lidarmos com uma mistura heterogénea de espécies, como sucede na generalidade das parcelas, não é fácil estabelecer essa relação.

- Percentagem de mortos (*curing*) ξ (%)

Uma característica da vegetação herbácea é que vai secando ao longo do ano. Esta secagem não é uniforme, encontrando-se partes da planta que ficam mais secas e que podem ser visualmente identificadas pela sua cor mais amarelada ou castanha. Esta propriedade é designada na literatura por *degree of curing* (Viegas *et al.*, 2013) e iremos caracterizá-la pela proporção (percentagem) ξ de massa de matéria morta em relação à massa total. Neste caso não usamos a base seca.

Como é sabido a vegetação verde ($\xi = 0$) não suporta a combustão, mas quando $\xi > 40\%$ podemos ter condições de ignição e de propagação do fogo (Viegas *et al.*, 2013).

6.4.1.2 Parâmetros de controle

De entre os parâmetros condicionantes que analisámos iremos reter os seguintes:

- Dia da recolha *Dia* (dias)

Como se disse, a recolha das amostras foi realizada maioritariamente entre os meses de maio a junho de cada ano. Tendo em conta que a vegetação cresce diariamente, e estando em causa a definição de períodos do ano em que devem ser feitos os cortes de vegetação, não podemos deixar de ter em conta este parâmetro.

O dia da recolha d é medido em cada ano a partir do dia 1 de janeiro. Como se pode observar este parâmetro variou entre 118 e 178, correspondendo a cerca de dois meses de um período do ano em que a produtividade da vegetação herbácea é a mais elevada.

- Precipitação $R2$ (mm)

A precipitação condiciona de forma decisiva o crescimento e secagem da vegetação herbácea, pelo que foram considerados dois indicadores: $R1$ (mm) a precipitação registada em Coimbra no ano de amostragem desde 1 de janeiro a 31 de março, ou seja, a precipitação caída no mesmo ano; $R2$ (mm) idem, é a precipitação $R1$ somando o período de 1 de outubro da 31 de dezembro do ano anterior. Os valores de precipitação nesta análise são referentes à precipitação registada pelo Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC).

A Figura 29 estabelece a relação linear entre $R1$ e $R2$ observando-se que a diferença entre os parâmetros não é relevante. Por esse motivo optamos por utilizar o $R2$ pelo crescimento da vegetação começar maioritariamente a partir do final do ano anterior ao de análise. Poderiam considerar-se outros valores da precipitação, nomeadamente valores medidos em estações mais próximas dos locais de amostragem ou até mais próximo da data de amostragem, mas por simplificação retivemos $R2$ como parâmetro de controle.

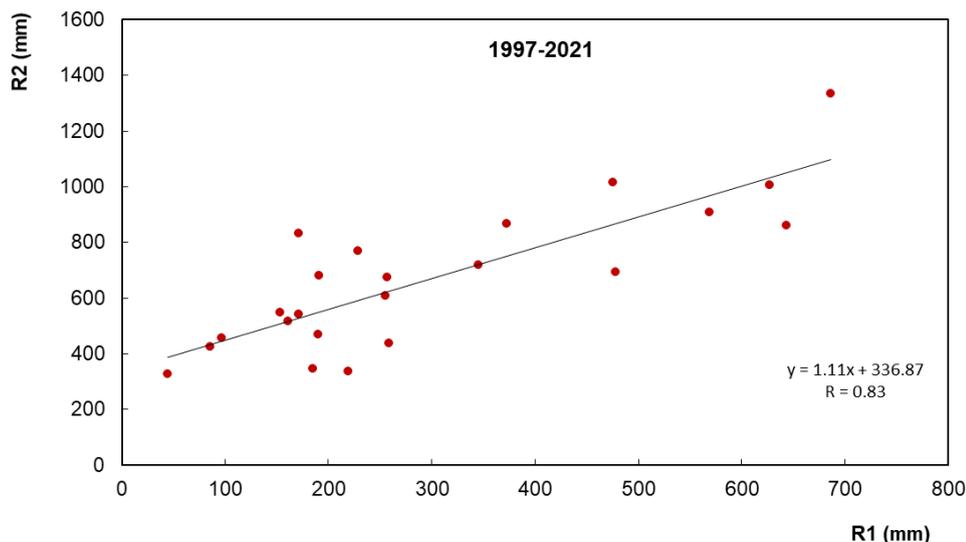


Figura 29. Relação entre **R1** (precipitação de janeiro a abril do ano em análise) e **R2** (**R1** somando a precipitação de outubro a dezembro do ano anterior ao ano em análise) entre 1997 e 2021. **R1** e **R2** são apresentados em mm.

- Índice de secura DC

O índice de secura DC, cuja designação oficial vem de *Drought Code*, é um dos índices de teor de humidade proposto no sistema Canadano *Fire Weather Index* (Van Wagner, 1987). Neste sistema, o DC requer como parâmetros de entrada para o seu cálculo a temperatura registada ao meio-dia e a precipitação acumulada nas últimas 24 horas, no fim o resultado dá uma estimativa do teor de humidade das camadas mais profundas do solo (10 a 20 cm) (Van Wagner, 1987). O seu valor numérico é tanto mais elevado quando menor for o teor de humidade da sua camada. O DC é um índice cumulativo, ou seja, tem em conta o efeito acumulado tanto da precipitação como da temperatura de meses anteriores, apesar disso é um índice que responde rapidamente à variação diária da meteorologia.

Por ser um índice representativo do défice de água no solo que influencia a percentagem de mortos da vegetação (*degree of curing* ξ), iremos usar na nossa análise os valores de DC registados em Coimbra no dia 31 de março de cada ano em estudo. Os valores de DC foram determinados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) para a estação meteorológica de Coimbra (548).

- Altitude e latitude do local x (km)

Embora a gama de valores da latitude não cubra o País inteiro, foi possível verificar que é relevante na presente análise. O mesmo não se pode dizer a respeito da altitude, dado a sua estreita gama de variação.

A latitude é descrita indiretamente por meio da distância x da parcela de amostragem a Lisboa.

6.4.1.3 Resultados

Efeito da latitude e da exposição

Nas Figura 30 à Figura 32 são apresentados os resultados médios dos parâmetros descritos (Mc , H e ξ) de cada parcela, em função do km de localização que nesta análise representa a latitude (cf. Tabela 24). A exposição das parcelas, quando aplicável, é diferenciada através de diferentes cores (azul: talude ocidental W , laranja: talude oriental E). Como se referiu, a parcela do km32 e a parcela do km94 não tinham declive, pelo que o efeito de exposição não variava (sem exposição).

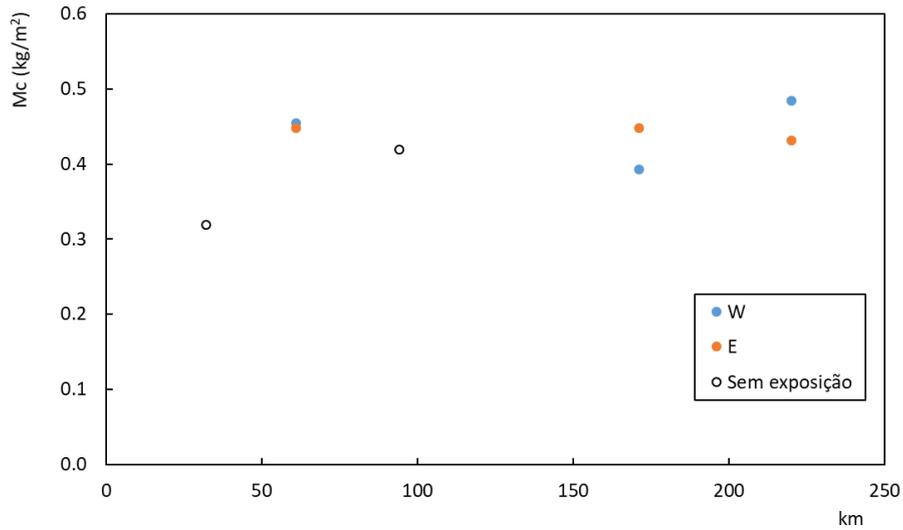


Figura 30. Carga combustível média (M_c) presente na parcela de amostragem de sul para norte na AI e a respetiva exposição (talude ocidental – W; talude oriental – E) quando aplicável.

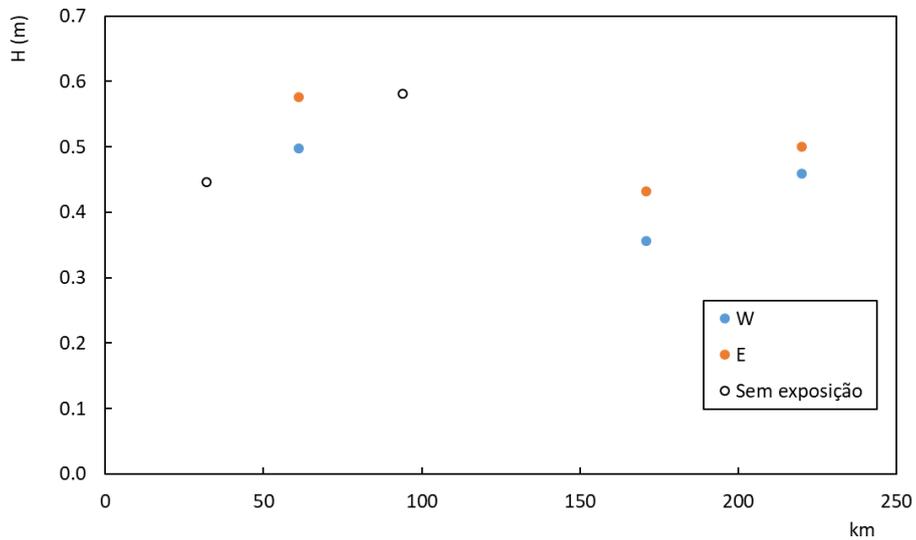


Figura 31. Altura da vegetação média (H) presente na parcela de amostragem de sul para norte na AI e a respetiva exposição (talude ocidental – W; talude oriental – E) quando aplicável.

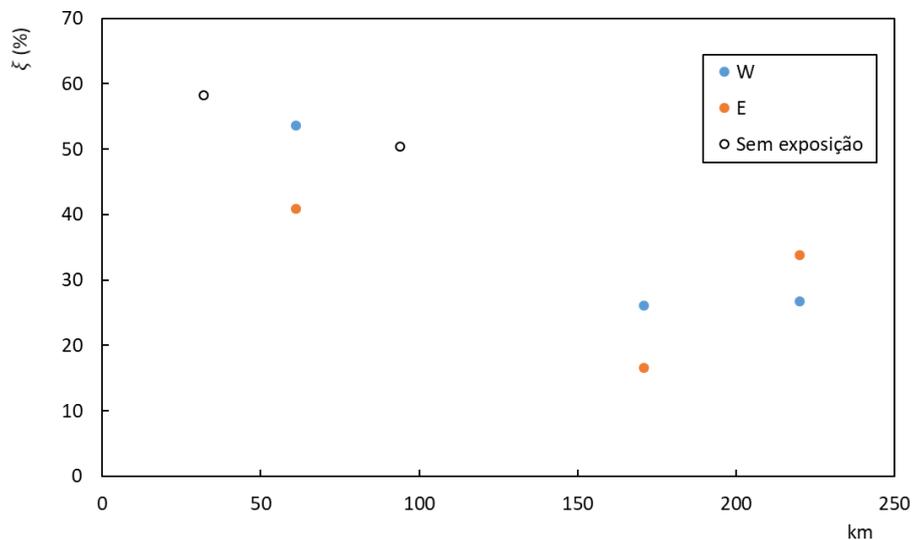


Figura 32. Percentagem de vegetação morta média (ξ) na parcela de amostragem de Sul para Norte na AI e a respetiva exposição (talude ocidental – W; talude oriental – E) quando aplicável.

Como se pode ver nestas figuras, quer a carga, quer a altura média de vegetação, não parecem depender do local de amostragem. O mesmo não se pode dizer da percentagem de mortos, que tende a reduzir-se quando nos deslocamos do sul para norte do País, o que pode ser indicativo de que num dado dia de primavera, será de esperar que vegetação estará relativamente mais seca, em média, a sul, do que a norte.

Parece existir algum efeito da exposição E e W, mas os resultados de que dispomos não são conclusivos. No caso de se tratar de uma exposição S seria de esperar uma secagem maior da vegetação num dado dia, em relação a uma encosta virada a Norte.

Efeito do dia de amostragem

Nas figuras seguintes mostram-se os resultados em função do dia de amostragem. Em cada figura é apresentada a linha de tendência ($y=a.x+b$) entre os parâmetros analisados. Na Tabela 25 (no fim desta secção) apresentam-se os parâmetros da equação e o respetivo coeficiente de correlação (R) de cada figura.

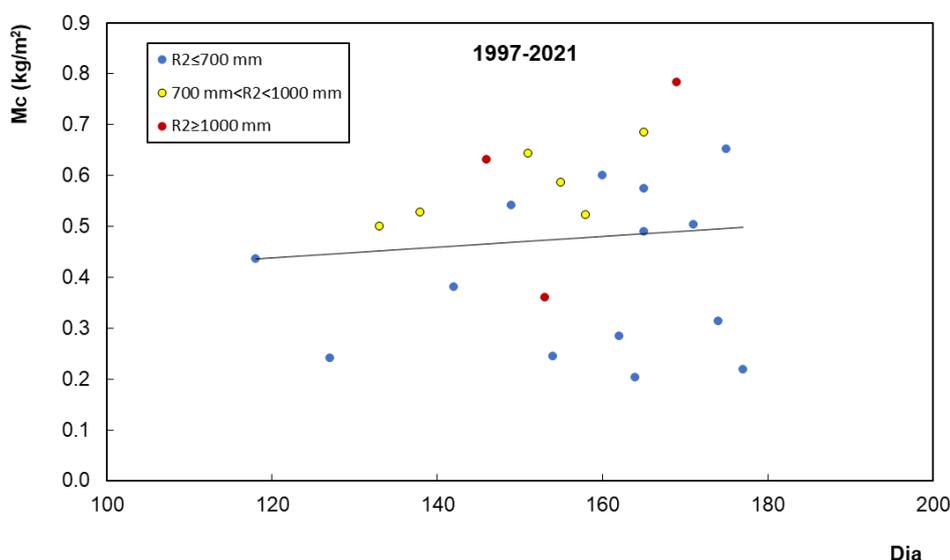


Figura 33. Carga de combustível média anual (Mc) de 1997 a 2021 em função do dia de recolha da vegetação. Na legenda, $R2$ representa a precipitação registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano dividida em três classes: $R2 \leq 700$ mm, $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm e $R2 \geq 1000$ mm.

Na Figura 33 mostra-se a carga média anual (1 de janeiro até ao dia da recolha) do conjunto das oito parcelas, em função do dia de amostragem. Como é sabido o crescimento da biomassa varia com a estação do ano e com a precipitação, por isso é de esperar que quanto mais tarde se recolha a amostra, maior seja o valor da biomassa (Ver **Discussão** adiante). Para ter em conta o efeito da precipitação, os dados foram agrupados por três intervalos de valores da precipitação $R2$ registada em Coimbra, nesse ano:

- Baixa precipitação $R2 \leq 700$ mm
- Média precipitação $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm
- Elevada precipitação $R2 \geq 1000$ mm.

Como se pode observar, dos três anos com precipitação Elevada, dois registaram valores relativamente elevados de biomassa ($0,63 \text{ kg/m}^2$ e $0,78 \text{ kg/m}^2$). Em relação aos anos com precipitação Média observa-se um aumento de Mc com $R2$. Para a restante classe, a relação não é muito clara, embora se verifique que em anos com Baixa precipitação (pontos azuis abaixo e próximos da linha de tendência), os valores de Mc foram relativamente baixos.

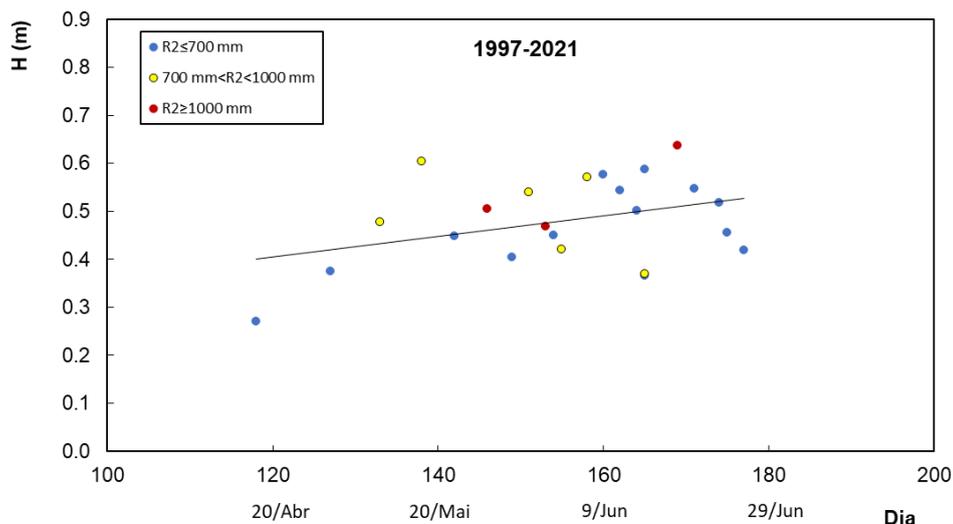


Figura 34. Altura da vegetação média anual (H) de 1997 a 2021 em função do dia de recolha da vegetação. Na legenda, $R2$ representa a precipitação registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano dividida em três classes: $R2 \leq 700$ mm, $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm e $R2 \geq 1000$ mm.

Na Figura 34 apresentam-se os dados referentes à altura média da vegetação H em função do dia de recolha. As observações e os comentários são análogos aos que foram feitos para o parâmetro anterior, embora neste caso se verifique existir uma menor dispersão de dados.

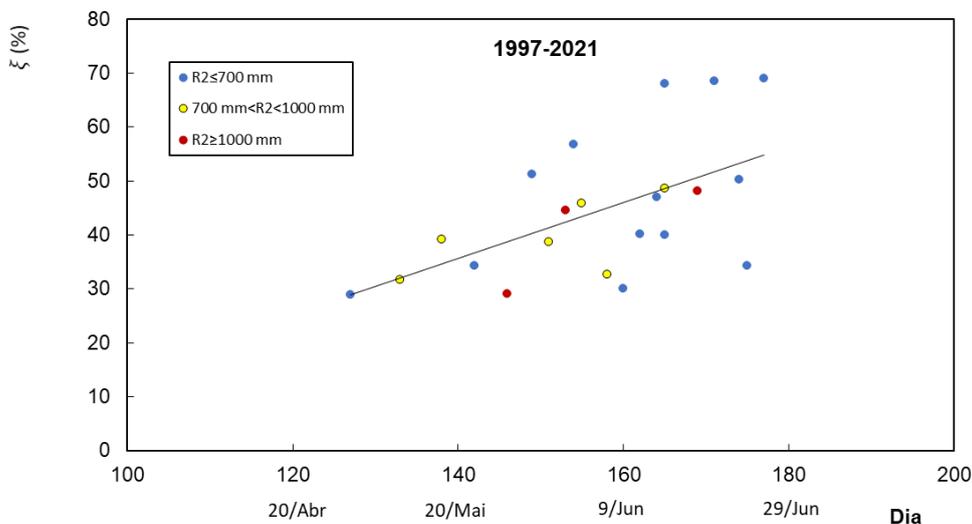


Figura 35. Percentagem de vegetação morta média anual (ξ) de 1997 a 2021 em função do dia de recolha da vegetação. Na legenda, $R2$ representa a precipitação registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano dividida em três classes: $R2 \leq 700$ mm, $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm e $R2 \geq 1000$ mm.

Na Figura 35 mostram-se os dados médios da percentagem de mortos em função do dia de amostragem. Neste caso, é possível verificar um claro aumento de ξ com a passagem dos dias. O efeito da precipitação é aparente nalguns casos, dado que os três anos com precipitação Elevada apresentam valores locais mais baixos de ξ , ao passo que um conjunto de cinco anos com Baixa precipitação, apresenta valores relativamente mais elevados de ξ . Por outro lado, os anos com Média precipitação situam-se a meio da distribuição, como seria de esperar.

Tabela 25. Valores que definem os parâmetros da equação linear e o respetivo coeficiente de correlação (R) para a Figura 33, Figura 34 e Figura 35.

Equação linear: $y=ax+b$					
Figura	x	y	a	b	R
Figura 33	Dia	Mc	$1,1 \times 10^{-3}$	0,312	0,099
Figura 34	Dia	H	$2,1 \times 10^{-3}$	0,149	0,371
Figura 35	Dia	ξ	$5,2 \times 10^{-1}$	-37,252	0,568

Efeito da precipitação e do índice de secura DC

Nas figuras seguintes mostram-se os resultados em função da precipitação **R2** registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano e o efeito do índice de secura DC registado em Coimbra a 31 de março.

Em cada figura é apresentada a linha de tendência ($y=a.x+b$) entre os parâmetros analisados. A Tabela 26 (no fim desta secção) apresenta os parâmetros da equação e o respetivo coeficiente de correlação (R) de cada figura.

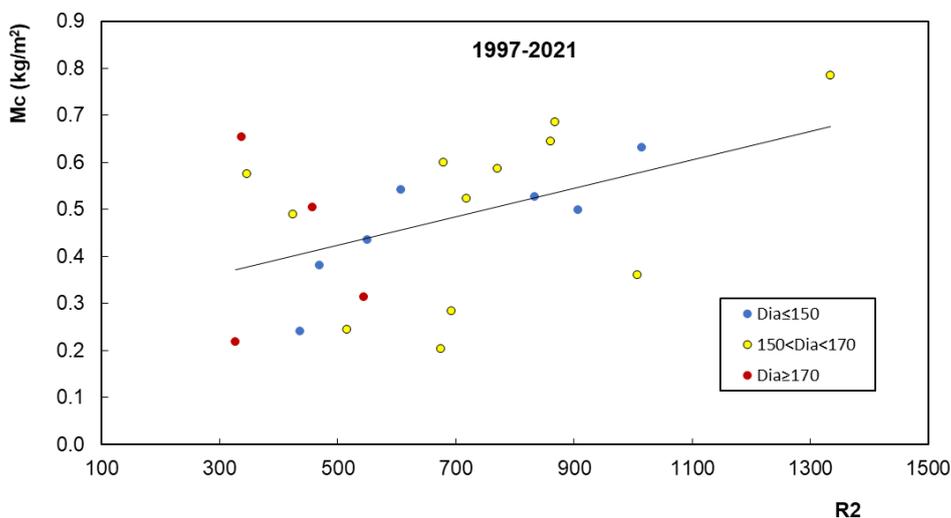


Figura 36. Carga de combustível média anual (**Mc**) de 1997 a 2021 em função da precipitação (**R2**). Na legenda, **Dia** representa o dia da recolha da vegetação dividido em três classes: $Dia \leq 150$, $150 < Dia < 170$ e $Dia \geq 170$.

Na Figura 36 mostram-se os valores de **Mc** em função da precipitação **R2**, já definida, parecendo existir uma tendência de aumento do valor de **Mc** com **R2**, como é evidenciado pela reta representada naquela figura. A fim de analisar qualquer efeito do dia de recolha, os valores estão agrupados nos seguintes conjuntos:

- Antes de 31 de maio $Dia \leq 150$
- Entre 1 e 20 de junho $150 < Dia < 170$
- Depois de 21 de junho $Dia \geq 170$.

Neste caso não se encontra um efeito claro do período de recolha, parecendo ser dominante o efeito da precipitação, como já se vira acima, dada a dispersão dos valores de **Mc** com **Dia**.

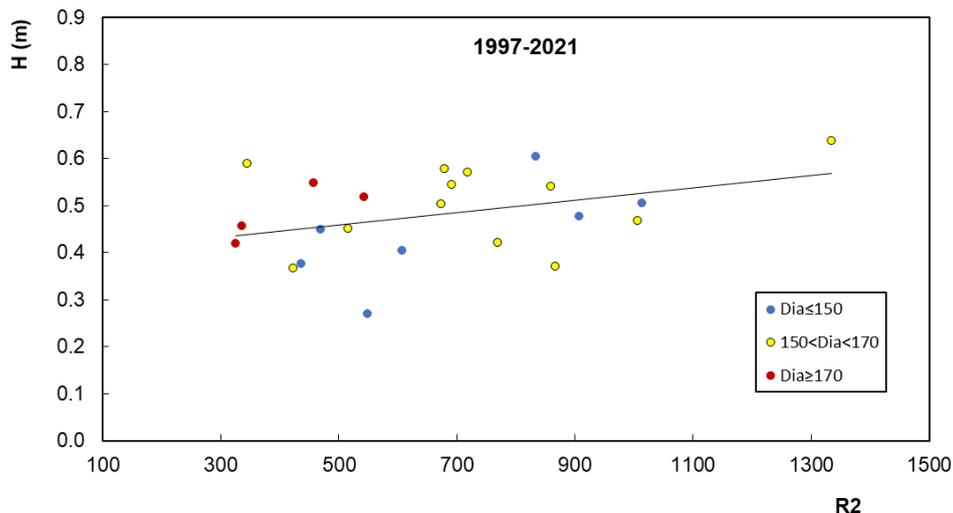


Figura 37. Altura da vegetação média anual (H) de 1997 a 2021 em função da precipitação ($R2$). Na legenda, Dia representa o dia da recolha da vegetação dividido em três classes: $Dia \leq 150$, $150 < Dia < 170$ e $Dia \geq 170$.

Na Figura 37 mostram-se os resultados da altura média da vegetação H em função da precipitação anual $R2$. Neste caso observa-se uma menor dispersão dos dados e um claro crescimento de H com $R2$. Por outro lado, verifica-se que o dia de amostragem parece não ter grande efeito na distribuição de H , prevalecendo o valor de $R2$, porquanto, ao contrário do que seria de esperar, os casos em que a amostragem foi tardia ($d > 170$) não correspondem a valores elevados de H .

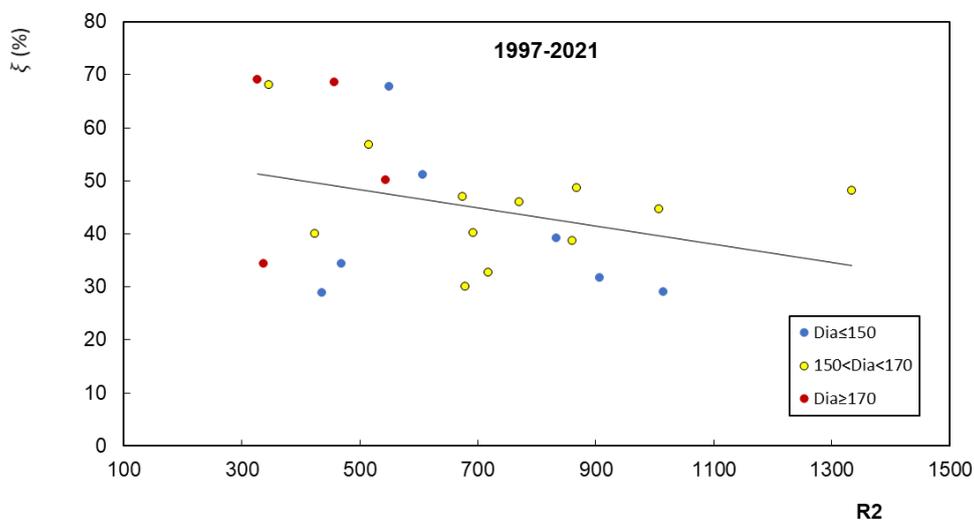


Figura 38. Percentagem de vegetação morta média anual (ξ) de 1997 a 2021 em função da precipitação ($R2$). Na legenda, Dia representa o dia da recolha da vegetação dividido em três classes: $Dia \leq 150$, $150 < Dia < 170$ e $Dia \geq 170$.

Na Figura 38 mostram-se os resultados da percentagem de mortos ξ em função da precipitação $R2$. É aparente que quanto maior for o valor da precipitação, menor é a percentagem de mortos. O efeito do dia de recolha é claro para as amostragens tardias, mas para as outras parece estar dominado pelo valor de $R2$.

O DC representa o conteúdo de água no solo o qual está relacionado com o teor de humidade dos combustíveis mortos entre 10 a 20 cm de profundidade, como tal iremos apenas relacioná-lo com a percentagem de mortos ξ , da vegetação presente nas parcelas de amostragem.

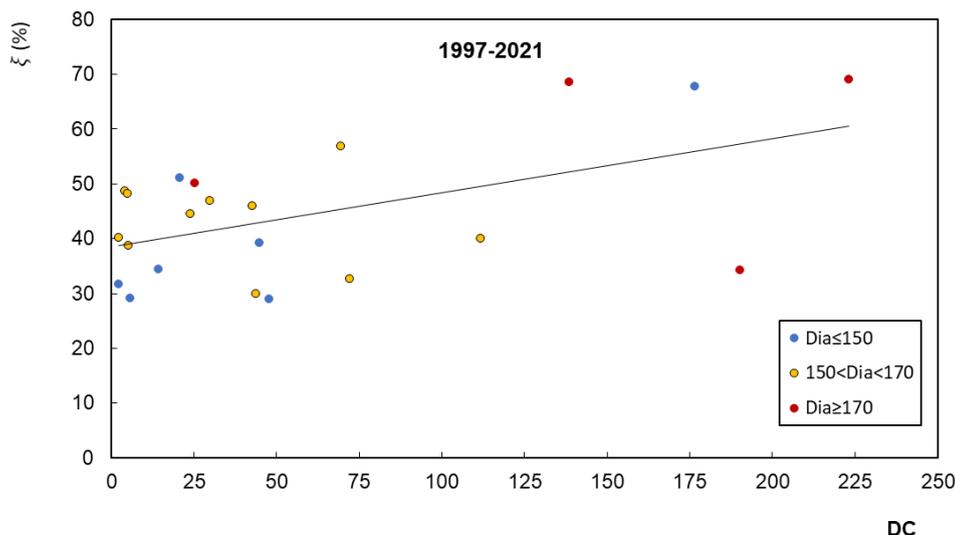


Figura 39. Percentagem de vegetação morta média anual (ξ) de 1997 a 2021 em função do índice de secura **DC**. Na legenda, **Dia** representa o dia da recolha da vegetação dividido em três classes: $\text{Dia} \leq 150$, $150 < \text{Dia} < 170$ e $\text{Dia} \geq 170$.

Na Figura 39 mostram-se os resultados da percentagem de mortos ξ em função do índice de secura **DC**. Apesar de alguma dispersão de pontos, influenciada pela mistura heterogénea de espécies presentes nas várias parcelas, da diversidade de locais e de dias de recolha, observa-se na figura uma tendência crescente de ξ com **DC**. Em geral, os valores elevados de **DC** refletem uma maior presença de combustíveis mortos nas parcelas e conseqüentemente maior propensão para sustentarem a propagação inicial do incêndio. Assim, e reconhecendo as suas limitações para esta análise (índice que reage rapidamente à ocorrência de precipitação), consideramos que o índice de secura **DC** pode ser também um fator de apoio à decisão para avaliar o prazo e a frequência do corte da vegetação, em complemento ao valor da precipitação.

De um modo geral, observa-se também que esta tendência crescente ocorre à medida que avançamos nos dias: valores de **DC** menores ocorrem em anos em que a recolha foi feita mais cedo ($\text{Dia} < 150$) e valores de **DC** maiores ocorrem em dias mais tardios do ano ($\text{Dia} \geq 170$), o que é consistente com o facto de o **DC** ser um índice cumulativo, que aumenta com a passagem dos dias consecutivos sem precipitação.

Tabela 26. Valores que definem os parâmetros da equação linear e o respetivo coeficiente de correlação (*R*) para a Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39.

Equação linear: $y = ax + b$					
Figura	x	y	a	b	R
Figura 36	R2	Mc	$3,0 \times 10^{-4}$	0,274	0,461
Figura 37	R2	H	$2,0 \times 10^{-4}$	0,383	0,413
Figura 38	R2	ξ	$-1,4 \times 10^{-2}$	54,378	0,258
Figura 39	DC	ξ	$9,8 \times 10^{-2}$	39,602	0,522

Discussão

Na Figura 40 apresentam-se novamente os valores da carga combustível média anual, **Mc**, em base seca da vegetação, em função do dia de amostragem (conforme a Figura 33). Nesta figura incluímos as curvas de crescimento de pastagens de sequeiro ao longo do ano para o clima temperado húmido e para o clima mediterrânico. As curvas da produção de matéria seca em kg/ha/dia, em função de diversos climas são apresentadas em Moreira (2002) e foram convertidas nesta análise, por integração numérica, para as grandezas utilizadas neste trabalho, para definir a carga da vegetação (kg/m^2).

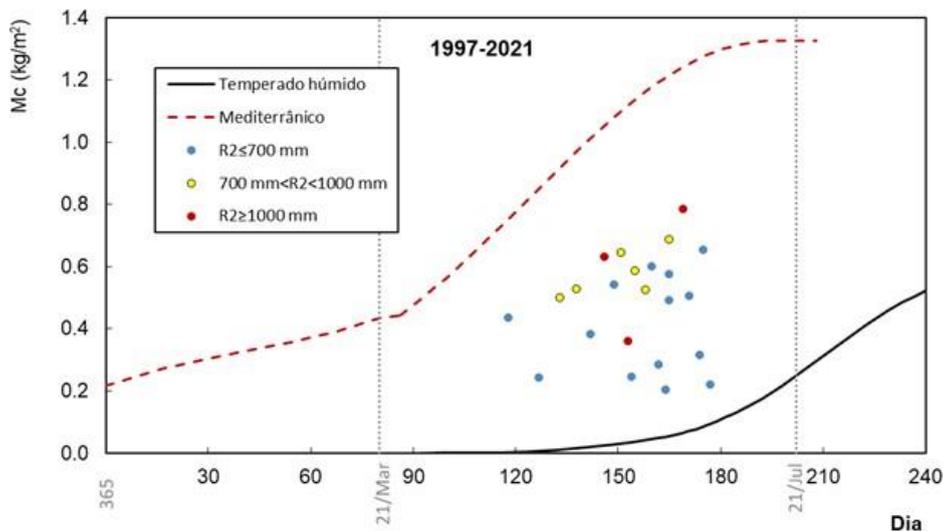


Figura 40. Carga combustível (Mc) entre 1997 e 2021 na A1 (CEIF-ADAI) e curvas de produção anual de matéria seca de pastagens de sequeiro para o clima temperado húmido (linha contínua) e para o clima mediterrânico (linha tracejada) retiradas de Moreira (2002).

Como se pode ver na Figura 40, os valores médios obtidos neste estudo, para um conjunto de 23 anos de amostragem, encontram-se enquadrados entre as duas curvas de crescimento da biomassa correspondentes aos dois climas considerados, indicando que as condições climáticas no conjunto dos locais de amostragem e dos vários anos do estudo, terão assumido características intermédias entre aqueles dois tipos de clima.

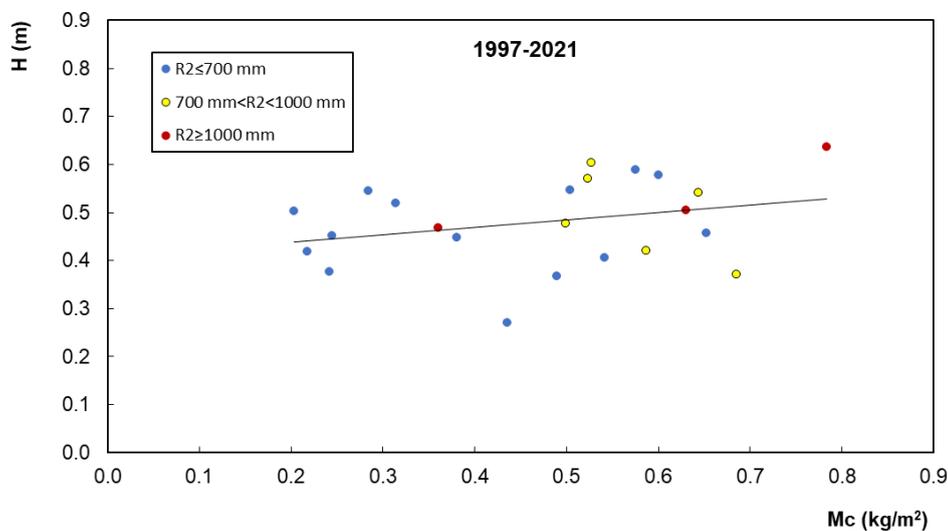


Figura 41. Relação da carga combustível média anual (Mc) com a altura da vegetação média anual (H) no período de 1987 a 2021.

Na Figura 41 apresentamos os valores médios da altura H da vegetação, em função da carga média Mc . Nesta figura lidamos com uma mistura heterogénea de espécies presentes nas várias parcelas, observando-se que não é fácil estabelecer uma relação entre Mc e H .

Se fizermos a mesma análise para parcelas homogéneas vemos que a relação entre estes dois parâmetros é mais clara. As Figura 42 e Figura 43 apresentam dois exemplos da relação entre Mc e H na parcela do km 171E e na parcela do km 220W, respetivamente.

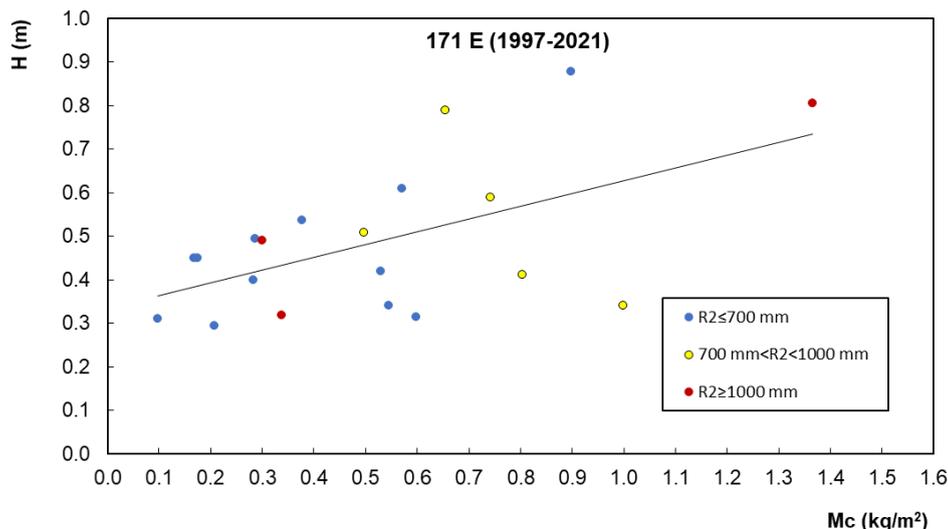


Figura 42. Relação da carga combustível média anual (Mc) com a altura da vegetação média anual (H) para a parcela no km 171E no período de 1987 a 2021. Na legenda, $R2$ representa a precipitação registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano dividida em três classes: $R2 \leq 700$ mm, $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm e $R2 \geq 1000$ mm.

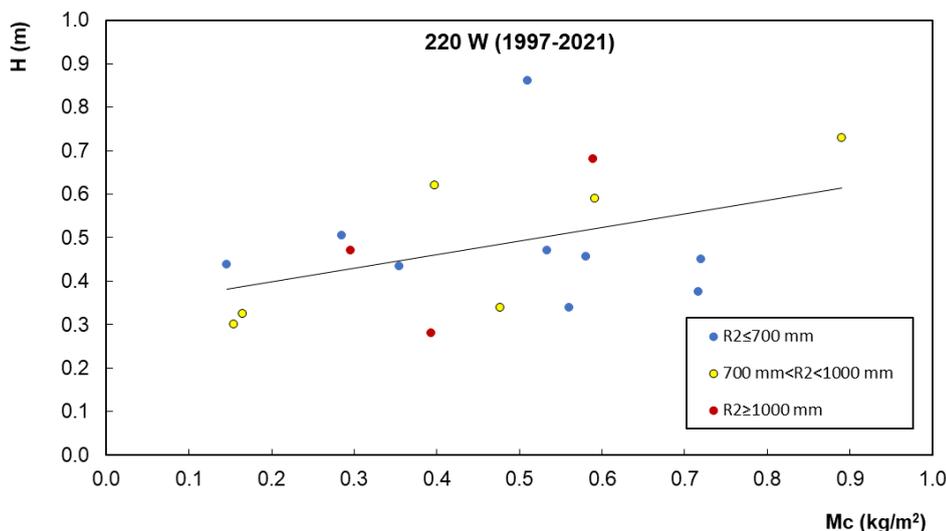


Figura 43. Relação da carga combustível média anual (Mc) com a altura da vegetação média anual (H) para a parcela no km 220W no período de 1987 a 2021. Na legenda, $R2$ representa a precipitação registada em Coimbra desde o mês de outubro (inclusive) até dezembro do ano anterior e de janeiro a fim de abril do próprio ano dividida em três classes: $R2 \leq 700$ mm, $700 \text{ mm} < R2 < 1000$ mm e $R2 \geq 1000$ mm.

Apesar da dispersão, devida à diversidade de espécies presentes - como se vê principalmente na Figura 41, é possível verificar uma relação linear de crescimento da altura com a carga, suportando a recomendação de se utilizar a altura média H da vegetação – que é um parâmetro objetivo e relativamente fácil de estimar - com a carga Mc .

Tendo em conta que valores de carga Mc inferiores a 0,5 ou 0,6 kg/m² correspondem a leitos em que a propagação do fogo decorre com dificuldade – em condições médias, ou seja, com baixo declive ou baixos valores da velocidade do vento, será aceitável utilizar a regra de que a altura da vegetação herbácea não deve exceder 0,2m (DL n.º 10/2018), para evitar situações de perigo elevado de incêndio.

A Tabela 27 apresenta os parâmetros da equação e o respetivo coeficiente de correlação R da Figura 41, Figura 42 e Figura 43.

Tabela 27. Valores que definem os parâmetros da equação linear e o respetivo coeficiente de correlação (R) para a Figura 41, Figura 42 e Figura 43..

Equação linear: $y=ax+b$					
Figura	x	y	a	b	R
Figura 41	Mc	H	$1,53 \times 10^{-1}$	0,409	0,281
Figura 42 (km 171E)	Mc	H	$2,92 \times 10^{-1}$	0,335	0,547
Figura 43 (km 220W)	Mc	H	$3,14 \times 10^{-1}$	0,336	0,411

6.4.2 Vegetação arbustiva (mato)

A vegetação arbustiva (ou mato) existente em Portugal é constituída por diferentes espécies com características adaptadas às condições edafoclimáticas aqui encontradas. Falamos sobretudo da vulgarmente chamada vegetação mediterrânica, que se adapta relativamente bem a solos pobres em nutrientes (Fernandes *et al.*, 2014) e cresce no ciclo de invernos suaves e chuvosos e época estival extensa (Kalabokidis and Palaiologou, 2019). Genericamente, as encostas com exposição sul são as que recebem mais radiação solar, favorecendo a maior secura do combustível. Pelo contrário, nas encostas viradas a norte existe mais humidade e temperaturas menores, e tipicamente as condições de crescimento da vegetação são mais favoráveis (Fernandes, 2007), embora a sua secura seja normalmente retardada.

A modelação do crescimento da vegetação arbustiva é usualmente feita numa perspetiva de gestão de povoamentos florestais, para planear a periodicidade cíclica expectável de intervenção. Por exemplo, Fernandes *et al.* (2002) referem que, em amostragens realizadas no Alto Minho, para vegetação arbustiva dominada por tojo (*Ulex minor*) e por carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) em 14 anos alcança-se 95 % de 14 t/ha, considerado pelos autores o valor médio máximo, mas dentro de uma gama de variação alargada (8 a 18 t/ha). Este tipo de informação permite planear no tempo as ações de gestão de combustíveis em povoamentos com sub-bosque desta natureza. Em termos de gestão de combustíveis arbustivos na IUF, faz pouco sentido fazer distinção entre espécies, pois esta abordagem apenas dificultaria a criação, compreensão e cumprimento da legislação, para além de tornar impraticáveis as ações de fiscalização. Reconhecendo isto, é também importante entender que há de facto diferenças entre espécies, nomeadamente no que diz respeito à sua estrutura e respetiva influência no comportamento do fogo. Ainda que os padrões de crescimento sejam semelhantes entre as diferentes espécies arbustivas, a biomassa varia, conforme se pode constatar na Figura 44.

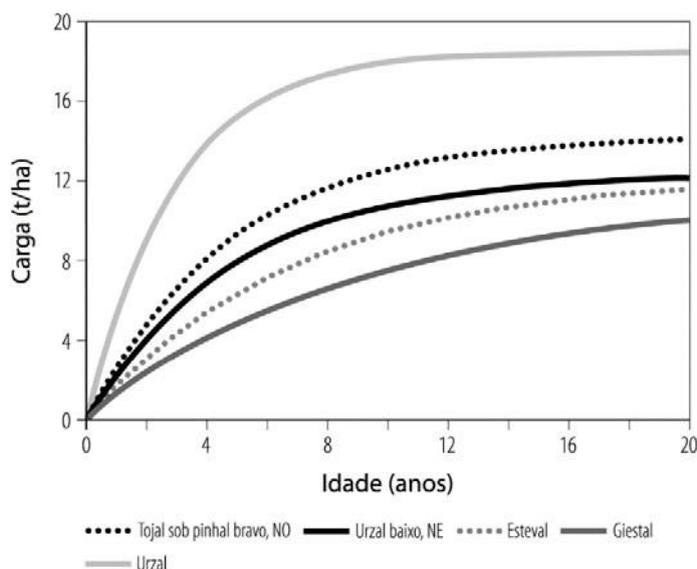


Figura 44. Acumulação de combustível fino (< 6 mm) em formações arbustivas do Norte e Centro de Portugal (figura retirada de Fernandes, 2006)

Por exemplo, a carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) típica em muitas regiões de Portugal tem uma elevada percentagem de combustível fino morto, que facilmente alimenta a combustão. Fernandes & Rego (1998) referem que metade dos combustíveis finos da sua copa (<2,5 mm) está morta até aos 8 anos de idade das plantas, contrastando com os 20 % de uma das espécies de urze (*Erica umbellata*). A Figura 45 apresenta a dinâmica de crescimento semelhante destas duas espécies. Podemos observar que existem genericamente dois períodos de crescimento (acumulação de combustível), à semelhança das outras espécies arbustivas: um mais rápido enquanto as plantas são jovens e outro de estabilização, a partir de uma determinada idade em que atingem a maturidade (Trabaud *et al.*, 1985), neste caso por volta dos 8 anos.

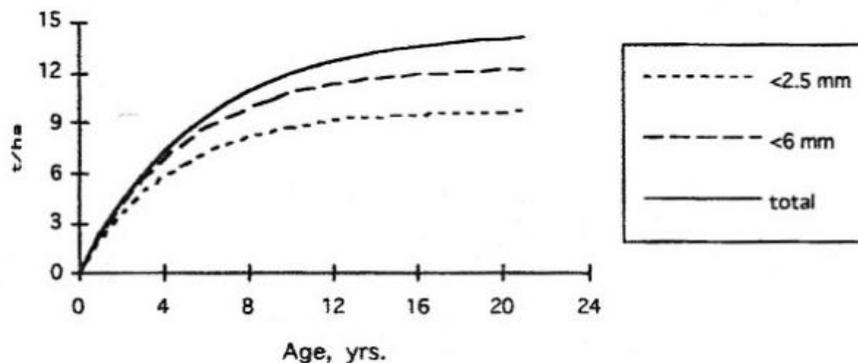


Figura 45. Dinâmica de comunidades arbustivas de *Chamaespartium tridentatum* e *Erica umbellata*. A classe <6 mm refere-se aos combustíveis finos, e a classe <2,5 mm aos combustíveis muito finos da copa dos arbustos, tendo esta última sido adicionada neste trabalho devido ao seu papel importante no comportamento do fogo (retirado de Fernandes & Rego, 1998)

Ainda de acordo com Fernandes & Rego (1998), um fogo neste tipo de combustíveis, naquilo que consideram condições “normais” de verão, é expectável ter baixa intensidade até aos 8 anos de idade da vegetação, ou seja, até cargas inferiores a 8-10 t/ha e no período em que a vegetação se encontra na fase mais vigorosa de crescimento. A partir dos 13 anos é improvável a possibilidade de controlo com ataque direto (ver Tabela 22). Numa perspetiva um pouco mais conservadora, Fernandes & Rigolot (2007) referem que o sucesso do ataque direto à cabeça de um incêndio é limitado quando a carga de combustível fino excede 8-10 t/ha pelo que sugerem uma periodicidade ideal de 2-4 anos para a gestão.

Ascoli & Bovio (2010), para comunidades dominadas pela espécie de urze *Calluna vulgaris*, observam o aumento significativo da carga de combustível vivo após o fogo (de 3,4 t/ha a 12,6 t/ha em parcelas com 1 a 3 e 13 a 15 anos após o fogo, respetivamente), mas curiosamente não encontram diferenças significativas na carga de combustível fino morto. Uma das notas interessantes neste estudo é a afirmação que o fogo controlado nestas parcelas é eficaz na redução da carga combustível até 3 anos depois da sua execução, mantendo a carga abaixo de 5 t/ha. Implicitamente assume-se que uma carga até 5 t/ha é aceitável na manutenção de níveis baixos do risco de incêndio na região em estudo.

Numa análise mais simples, Rego (1992) refere que o crescimento não é igual no País todo e que, em média, para floresta e mato será inferior a 0,5 t/ha/ano para o Alentejo e entre 1 a 2 t/ha/ano para o resto do País.

Num outro estudo acerca das emissões atmosféricas de incêndios florestais, Rosa *et al.* (2011) baseia-se num modelo original de Olson (1963) para propor a seguinte relação entre o número de anos após uma perturbação na vegetação arbustiva (corte, fogo, etc.) e a sua biomassa:

$$W_{shb} = 18,86(1 - e^{-0,23t}) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- W_{shb} é a biomassa total da vegetação arbustiva acima do solo, expressa em t/ha
- t é o número de anos desde a perturbação (corte, fogo, etc.)

A relação obtida neste estudo apresentou um erro associado relativamente elevado, pois há muita variação entre os dados usados para a estimação dos parâmetros do modelo. Aparentemente o modelo sobrestima a carga de combustível, mas, mesmo com a incerteza associada, pode ser útil para estimativas do crescimento da vegetação arbustiva. Por exemplo, Fernandes *et al.* (2014) usam-no numa análise às dinâmicas dos combustíveis e do fogo nas florestas públicas portuguesas. Usando o modelo diretamente, com a parametrização de Rosa *et al.* (2011), obtemos a acumulação de combustível que se mostra na linha azul da Figura 46. Os valores de acumulação de biomassa são superiores aos estudos referenciados anteriormente, o que mostra a grande variedade que existe entre espécies, bem como a dificuldade que há ao generalizar um modelo de crescimento. A linha laranja da mesma Figura 46 representa os valores da velocidade de propagação do fogo simulada, em função da biomassa estimada pelo modelo de Rosa *et al.* (2011), para terreno plano e vento de cerca de 20 km/h (a 10m de altura do solo), conforme apresentadas por Fernandes *et al.* (2014).

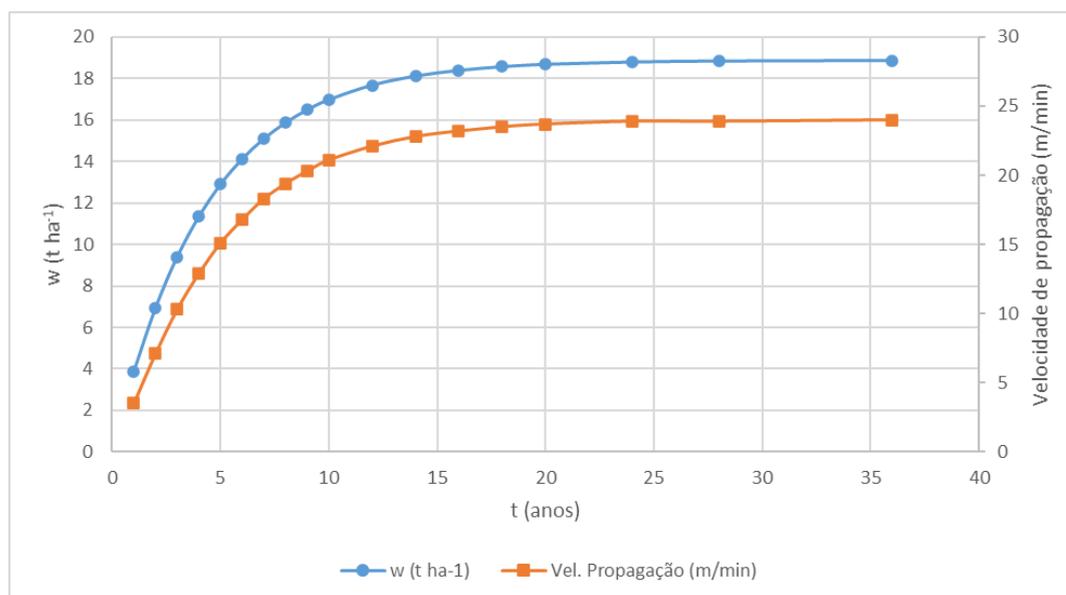


Figura 46. Acumulação de biomassa após perturbação (de acordo com o modelo da Equação 4, adaptada por Rosa *et al.*, 2011) e velocidade de propagação correspondente. Figura realizada a partir de dados de Fernandes *et al.* (2014).

Usando como referência a classificação da Tabela 22, observamos que até aos 5 anos de crescimento da vegetação, em terreno plano, o fogo se mantém dentro das 2 primeiras classes, correspondendo a fogos de intensidade baixa a média.

Com base na análise de parcelas de dois Inventários Florestais Nacionais (4º e 5º), Botequim *et al.* (2014) desenvolveram também modelos preditivos da acumulação de biomassa, mas tendo em conta não só as características dos combustíveis arbustivos (e.g. se o tipo de regeneração é seminal ou vegetativa), como também as características dos povoamentos florestais onde eles crescem e os respetivos fatores ambientais (e.g. a sua localização e o clima da região). Quando o número de amostragens é elevado, como é o caso, e sendo realizadas em Portugal, a expectativa é que a modelação seja mais aproximada da nossa realidade. Mais uma vez, a variação entre espécies e dentro das mesmas é muito grande, e, à semelhança do que foi dito atrás para os modelos de previsão do comportamento do fogo, é também extremamente difícil modelar o crescimento da vegetação, quando ele depende de um tão grande número de fatores. Este estudo focou-se nos arbustos que crescem nos povoamentos florestais, estando por isso também dependentes das suas características. Por estarem sob coberto, a sua taxa de crescimento é mais lenta, e os modelos refletem isso mesmo. A Figura 47 apresenta o resultado da aplicação de um dos modelos desenvolvidos (o que melhor representou a realidade), onde constatamos que efetivamente a taxa de crescimento inicial é menor, mas a longo prazo a biomassa atinge os mesmos valores que os outros estudos referem.

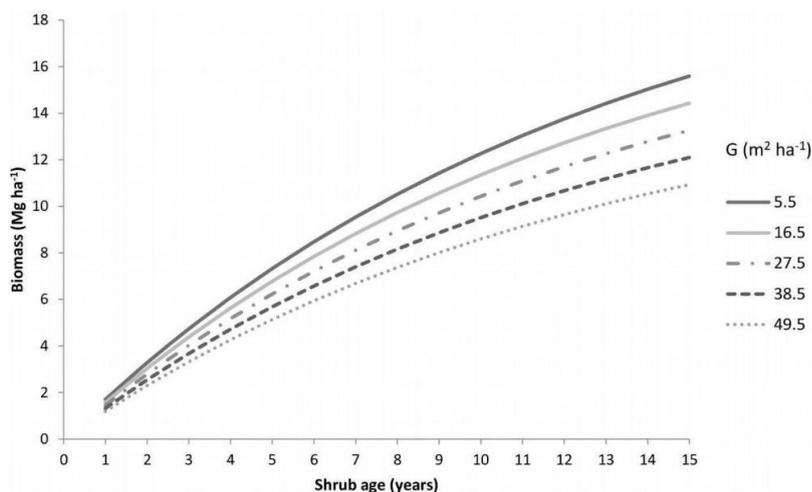


Figura 47. Acumulação de biomassa arbustiva em função da área basal (G) num povoamento florestal com condições de temperatura de $14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $39,3\%$ de vegetação com reprodução vegetativa (figura retirada de Botequim *et al.*, 2014). Na figura, Mg (megagrama) equivale a tonelada.

Existem mais estudos e modelos para Portugal, usando diferentes metodologias e aplicados a diversos locais (e.g. Fernandes *et al.*, 2002; Fernandes, 2002; Viana *et al.*, 2009; Aranha *et al.*, 2012; Enes *et al.*, 2020), mas as dinâmicas apresentadas são semelhantes. Do mesmo modo, noutros ecossistemas e com espécies diferentes, como por exemplo espécies endógenas da Austrália, encontramos dinâmicas semelhantes, com o mesmo padrão de acumulação e rondando as 10 t/ha de biomassa total por volta dos 8 a 10 anos de idade (Plucinsky, 2006). Numa outra perspetiva, Mirra *et al.* (2017) avaliam a dinâmica da vegetação arbustiva em povoamentos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) após diferentes tipos de intervenção, enquanto que os estudos apresentados anteriormente o fazem em relação ao tempo decorrido desde o último fogo. As intervenções (tratamentos) foram categorizadas em “baixo impacto” (herbicidas, corte manual) e “alto impacto” (gradagem de discos, corte mecânico), sendo o perigo de incêndio imediatamente a seguir aos tratamentos avaliado como maior nos primeiros que nos segundos, mas acabando por se inverter a tendência no período de 3 a 4 anos. Apesar de existir uma heterogeneidade muito grande entre parcelas e entre povoamentos, os autores concluem que a periodicidade ótima de gestão, que permite minimizar o perigo de incêndio nestes povoamentos, estará no intervalo de 2 a 6 anos. O tratamento preferencial para chegar a este resultado é a gradagem de discos.

Deixamos uma nota final lembrando que a maioria, senão a totalidade, dos estudos e modelos se referem a espaço natural (floresta ou mato), e não à IUF. É normal que as condições edáficas da IUF, em média, favoreçam mais o crescimento da vegetação. No entanto, uma vez que a vegetação nestas zonas é sobretudo herbácea, ela apresenta um ciclo anual de crescimento e não de acumulação interanual, como nos povoamentos.

O conteúdo destes dois subcapítulos (6.3 e 6.4), serve de base para a definição de critérios apresentados de forma compilada no Capítulo 7.

6.5 Rede viária, ferroviária, gasodutos ou linhas de energia elétrica (ou outras infraestruturas lineares)

Comparativamente com a gestão de combustíveis, genérica ou especificamente nos edifícios, a bibliografia científica sobre a gestão de combustíveis em infraestruturas lineares é praticamente inexistente. Ainda assim, faz-se aqui uma breve descrição sobre alguns aspetos considerados relevantes para o presente trabalho.

6.5.1 Rede viária

A densidade da rede viária, a largura das vias, o estado do pavimento ou a visibilidade são fatores que podem

ser determinantes na facilidade com que um incêndio na IUF é debelado ou com que as medidas de evacuação podem ser levadas a cabo com sucesso. A rede viária pode também servir como elemento de descontinuidade do combustível. Por exemplo, estradas que circundam urbanizações ou povoações podem permitir a separação física do espaço florestal, ao mesmo tempo, que permitem a defesa do espaço urbano por parte das forças de combate ao incêndio. De acordo com o Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho, com todas as suas alterações, nos espaços florestais previamente definidos nos Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) é obrigatório que a entidade responsável pela rede viária providencie a gestão do combustível numa faixa lateral de terreno confinante numa largura não inferior a 10m. Utilizando como referência a bibliografia atrás referida para as casas e as distâncias de segurança para os bombeiros, poderíamos dizer que estes 10m não serão garantia absoluta de segurança para pessoas ou viaturas presas num incêndio florestal nem tampouco serão eficazes para parar a progressão de um incêndio florestal. Poderão em determinadas circunstâncias atenuar o efeito da passagem do fogo, diminuindo a sua intensidade e velocidade, permitindo, por exemplo, um combate mais eficaz, e poderão ter um impacto considerável na redução do número de ignições (Molina *et al.*, 2019) relacionadas com o tráfego que nelas circula. Por outro lado, independentemente da gestão enquadrada na prevenção de incêndios florestais, estas vias têm já os seus próprios planos de gestão, orientados para a segurança rodoviária. Por exemplo, nas operações de gestão de combustíveis, a ASCENDI (uma das entidades responsáveis pela gestão e manutenção de redes viárias em Portugal) segue a orientação do seu “*Manual de manutenção do revestimento vegetal, limpeza da via e drenagem*”, que é parte integrante do “*Manual de operações e manutenção*” que define e regulamenta a sua atuação em matéria de operação e manutenção dos “*Empreendimentos Concessionados*” (Viegas *et al.*, 2017). Os procedimentos identificados neste manual têm que ver com a limpeza periódica da vegetação herbácea, nos separadores, bermas, zonas laterais, taludes e outras áreas onde perturbem a visibilidade.

6.5.2 Linhas férreas

As considerações feitas para a rede viária também se aplicam às ferrovias. No entanto, no caso destas vias, a sua utilidade no combate é mais limitada, pois os meios terrestres normais não conseguem circular nelas. Ainda assim, e como naquelas, também as linhas férreas e as respetivas faixas de gestão podem ser importantes na minimização do impacto de um incêndio florestal, ao funcionarem como linhas de descontinuidade horizontal da vegetação, desde que corretamente geridas (Lourenço & Rocha, 2010).

De acordo com o mesmo Decreto-Lei n.º 124/2006, nos espaços florestais previamente definidos nos PMDFCI é obrigatório que a entidade responsável pela rede ferroviária providencie a gestão do combustível numa faixa lateral de terreno confinante contada a partir dos carris externos numa largura não inferior a **10m**. A entidade Comboios de Portugal (CP/REFER) para além da legislação, segue também o seu *Plano Ferroviário de Defesa da Floresta Contra Incêndios*. No entanto, e pelo que se pode apurar, este não se encontra divulgado publicamente.

Nos incêndios de 15 de outubro de 2017, ocorreram constrangimentos na circulação de comboios nas zonas que estavam a ser atingidas por incêndios florestais. Na linha do Norte, Beira Alta e Minho, verificaram-se diversas ocorrências em que as composições ferroviárias, muitas delas com passageiros, circularam no meio do fumo, ou de chamas (Viegas *et al.*, 2019). Houve composições que tiveram de parar ou mesmo recuar na via. Estes incidentes afetaram a normal circulação dos comboios, provocando impacto na segurança de várias composições, sendo mesmo necessário, em alguns casos, a utilização de transbordo rodoviário. No decorrer dos incidentes, existiram comboios diretamente envolvidos, provocando impacto em várias outras circulações. De um modo geral, foram afetados 134 comboios e houve pelo menos duas composições com cerca de 800 passageiros que circularam com incêndio de ambos lados da via (Viegas *et al.*, 2019).

A criação de faixas de proteção em toda a ferrovia é financeira e operacionalmente muito difícil, no entanto podia ser garantida uma gestão cuidada em zonas de maior risco, e a existência de locais de refúgio que permitam a paragem de um comboio, separado por uma distância a definir em função da velocidade e volume de circulação (Viegas *et al.*, 2019). Naturalmente que as estações e apeadeiros devem estar preparados para servir de refúgio e que, as margens das ferrovias devem ser sujeitas a ações mínimas de gestão de combustíveis, independentemente da sua localização em zonas de maior ou menor risco (Viegas *et al.*, 2019).

6.5.3 Infraestruturas de transporte e distribuição de energia elétrica e de gás

Algumas infraestruturas, como por exemplo, as linhas elétricas, são, por vezes, apontadas como a causa de ignição de alguns incêndios rurais. A sua existência deve estar bem documentada e os meios de combate devem ter conhecimento da sua localização, para prevenir acidentes (por exemplo a rede de gás, tanques sépticos, rede elétrica enterrada, etc.) (Viegas *et al.*, 2011). Este tipo de infraestruturas apresenta características que, ao serem atingidas por um incêndio, podem originar episódios de grande perigosidade. Para além de serem críticas, muitas destas infraestruturas são igualmente estratégicas, uma vez que a sua afetação pode comprometer a resposta ao incêndio. As infraestruturas da rede elétrica, de alimentação de água e de gás natural são bons exemplos desta realidade.

6.5.3.1 Linhas elétricas

Ao longo dos anos, o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) tem classificado as causas das ocorrências de acordo com códigos de causa. Segundo a base de dados de incêndios do ICNF (2021), entre 2002 e 2020 observa-se que os incêndios cuja causa está atribuída às linhas elétrica (código 211) aumentou até 2011 e estabilizou a partir desse ano. Até 2011 este tipo de ocorrências registou o seu mínimo em 2002 com 11 ocorrências e o seu máximo em 2011 com 231 ocorrências. De 2011 a 2020 o número de ocorrências anuais associadas à linha elétrica variou entre 150 (valor registado em 2014) e 250 (valor registado em 2017), um intervalo ainda assim considerado alto no histórico nacional (Figura 48).

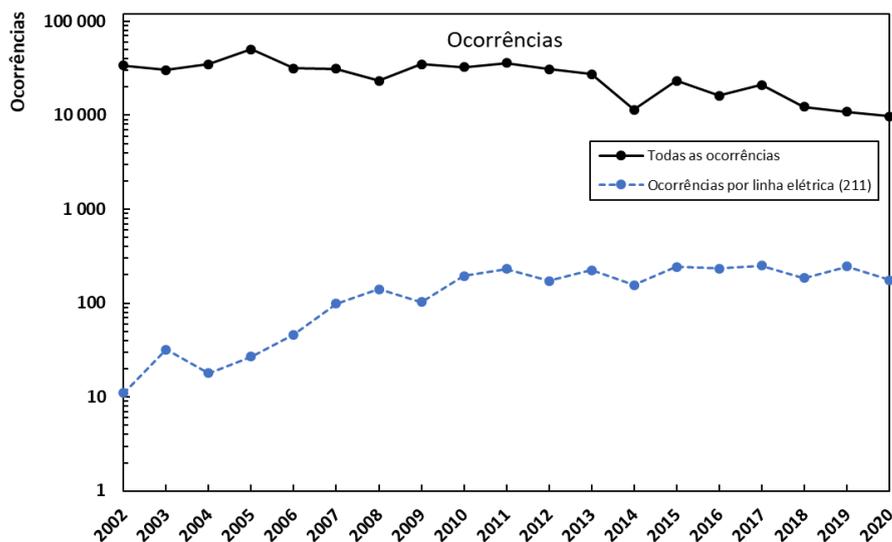


Figura 48. Número de ocorrências total e nº de ocorrências causadas pela linha elétrica (211) (escala logarítmica) em Portugal entre 2002 e 2020.

Fonte de dados: ICNF

Ao todo registaram-se 2785 ocorrências com causa atribuída a linhas de energia elétrica. Esse número representou 0,56% do total de ocorrências e foi responsável por 4,38% do total da área ardida. Verifica-se também que as linhas elétricas são a sétima causa que origina incêndios com mais de 1.000 ha de área ardida sendo precedida pelos seguintes códigos de causas: 448 - vandalismo, 125 - incendiarismo, 4 - queimadas, 449 - situações dolosas, 711 - reacendimentos e 51 trovoadas. Esta é uma realidade transversal a outros países, tais como a Austrália e os Estados Unidos da América onde este tipo de infraestrutura linear tem sido apontada como a causa de diversos eventos de incêndios florestais (Miller *et al.*, 2017; Viegas *et al.*, 2017, 2019), devendo por isso merecer a atenção das autoridades e das entidades gestoras destas infraestruturas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 124/2006, nos espaços florestais previamente definidos nos PMDFCI é obrigatório que a entidade responsável pelas:

- linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão e em alta tensão providencie a gestão do combustível numa faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10m para cada um dos lados;

- linhas de distribuição de energia elétrica em média tensão providencie a gestão de combustível numa faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 7m para cada um dos lados.

Estas medidas de gestão visam fundamentalmente 1) minimizar a probabilidade de os cabos elétricos produzirem ignições, nomeadamente por contacto com a vegetação 2) minimizar a probabilidade de o incêndio afetar a própria estrutura, causando interrupções no fornecimento de energia. Elas serão, porventura, mais importantes nas linhas de média e baixa tensão, pois estão usualmente colocadas mais próximo do solo. Secundariamente, estas faixas poderão eventualmente servir de apoio ao combate, ainda que não seja essa a sua função formal, embora não se possa esperar que o façam de um modo passivo, sobretudo no caso das linhas de média e baixa tensão (Viegas *et al.*, 2020).

Na Tabela 28, adaptada de REN (2019), resumem-se as distâncias mínimas dos condutores a diversos tipos de obstáculos, incluindo a vegetação (Viegas *et al.*, 2020).

Tabela 28. Regulamento de segurança de linhas elétricas. Retirado de Viegas *et al.*, 2021

	Voltagem	Distância mínima de segurança dos condutores (m)		
		150 kV	220 kV	400 kV
Tipo de obstáculo	Estradas	7,3	8,5	10,3
	Solos	6,8	7,1	8,0
	Árvores	3,2	3,7	5,0
	Edifícios	4,2	4,7	6,0
	Obstáculos diversos	3,2	3,7	5,0

De acordo com Viegas *et al.* (2020), a gestão da rede de muito alta tensão não tem suscitado problemas em relação à eventual causalidade de incêndios, embora se tenham verificado situações de destruição de equipamento e sobretudo de interrupção do serviço. Já na rede de média tensão (15kV) e de baixa tensão, tem-se verificado alguma dificuldade em manter os requisitos indicados na lei em matéria de gestão de combustíveis. Esta é uma consequência da eletrificação quase completa do País, de que beneficiamos, que requer a existência de uma rede capilar, cuja gestão e fiscalização requer muitos recursos, dada a sua muito elevada extensão, quando comparada com a rede de alta tensão.

O decreto regulamentar 1/92 de 18 de fevereiro, já estabelece a execução de faixas de servidão ou proteção destas infraestruturas. O n.º 3 do artigo 28.º do Decreto Regulamentar 1/92, de 18 de fevereiro, estabelece que, com vista a garantir a segurança de exploração das linhas, a zona de proteção (faixa de servidão) deve ter larguras que variam entre de 15 metros e 45 metros, dependendo do nível de tensão, onde se pode cortar ou decotar as árvores necessárias para garantir a distância regulamentar dos condutores às árvores.

6.5.3.2 Gasodutos

De acordo com o Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho, nos espaços florestais previamente definidos nos PMDFCI é obrigatório que a entidade responsável pela rede de transporte de gás natural (gasodutos) providencie a gestão de combustível numa faixa lateral de terreno confinante numa largura não inferior a **5m** para cada um dos lados, contados a partir do eixo da conduta. As medidas de gestão nos gasodutos relacionam-se sobretudo com a identificação da sua localização, para em caso de incêndio ser respeitada, caso seja necessário efetuar trabalhos mecânicos.

No caso das servidões dos gasodutos, de acordo com o n.º 4 do artigo 10.º do Decreto-Lei n.º 374/89, de 25 de outubro, a servidão de passagem de gás relativamente a gasodutos implica restrições para a área sobre que é aplicada, nomeadamente, o terreno não será arado, nem cavado, a uma profundidade superior a 50 cm, numa faixa de 2 m para cada lado do eixo longitudinal da tubagem; é proibida a plantação de árvores ou arbustos numa faixa de 5 m para cada lado do eixo longitudinal da tubagem; é proibida a construção de qualquer tipo, mesmo provisória, numa faixa de 10 m para cada lado do eixo longitudinal da tubagem, existindo uma convergência com a legislação existente.

7. A planificação da gestão de combustíveis na IUF

Os capítulos anteriores detalharam a maioria dos aspetos essenciais para entender os conceitos inerentes ao comportamento do fogo, aos mecanismos de ignição das estruturas, à sua vulnerabilidade e à importância do espaço envolvente ou defensável. Com base nos exemplos, conceitos e fundamentação apresentados até ao momento, compilamos aqui os critérios que nos parecem ser mais plausíveis de implementação na gestão de combustíveis da rede secundária, nomeadamente no que diz respeito à frequência da gestão e às dimensões das faixas a gerir, seja em estruturas ou infraestruturas pontuais (e.g. casas ou antenas de telecomunicações), poligonais (e.g. povoações, subestações elétricas, estações de gás, etc.) ou infraestruturas lineares (e.g. rede viária, rede ferroviária, linhas elétricas, gasodutos).

Ainda que não seja o principal objetivo deste trabalho, não podemos deixar de nos referir aos critérios atualmente em vigor para a gestão de combustíveis na IUF (Decreto-Lei nº 10/2018, de 14 de fevereiro). É extremamente difícil dissociar estes critérios da frequência de gestão ou da dimensão transversal das faixas de gestão. Por exemplo, Fernandes (2018) refere que os 0,5m de altura permitidos para a vegetação arbustiva correspondem, numa situação limite, a 5.000 m³/ha ou 10 a 20 t/ha de combustível fino de matos. Para as herbáceas, os 0,2m de altura aceitáveis corresponderão a cerca de 1 a 3 t/ha de combustível fino, caso a cobertura seja de 100%. Se esta última nos parece ser aceitável (corresponde grosseiramente aos modelos de combustível usados nas simulações da secção 7), já a carga permitida na vegetação arbustiva parece ser excessiva. As simulações do comportamento do fogo apresentadas anteriormente para os arbustos referem-se a complexos combustíveis com alturas médias de 1m (Cruz_MAT-02 e Fern_V-MAa) ou 2m (NFFL4). Se fizermos um exercício semelhante, mas usando modelos com altura média aproximada de 0,5m (Cruz_MAT-01, Fern_V- MAb e NFFL5), obtemos os resultados de intensidade linear refletidos na Figura 49. Podemos verificar imediatamente algumas diferenças entre os modelos, reflexo dos seus parâmetros intrínsecos e metodologias de calibração. O mais evidente é a intensidade muito mais baixa, refletida nas simulações com o modelo Cruz_MAT-01, que coloca o comportamento do fogo dentro da classe 1 (controlo fácil) até declive de 30 % e da classe 2 (controlo moderadamente difícil) até declives de 100 % (cf. Tabela 22). As simulações com o modelo NFFL_5 indicam fogos de superfície moderadamente difíceis de controlar (classe 2) até cerca de 50 % de declive. Já no modelo Fern_V_MAb, a classe de facilidade de controlo para terreno plano ou declives positivos é sempre no mínimo a 4 (controlo extremamente difícil).

Se olharmos ao indicador “*comprimento de chama*”, em todos os cenários simulados, ele é superior a 5m em declives positivos, e apenas baixa dos 3m no modelo de Cruz para declives inferiores a 70 %. A combinação deste parâmetro com a intensidade do fogo dá uma clara indicação da mais que provável passagem do fogo de superfície às copas em praticamente todas as combinações de complexo combustível e declive.

Ainda assim, a altura máxima da vegetação arbustiva de 0,5m, atualmente legislada, até pode ser mantida, mas estas simulações enfatizam a necessidade de quebrar a continuidade horizontal, minimizando a possibilidade de desenvolvimento de um fogo intenso, bem como a de gerir os combustíveis arbóreos, promovendo a descontinuidade vertical (desramação) e evitando esta transição para as copas.

Fernandes (2018) também refere um aspeto essencial, que é a existência de manta morta, sugerindo que não ultrapasse os 3 cm de altura. É provavelmente irrealista pretender legislar esta sugestão, mas ela poderia (ou deveria) ser incluída nas campanhas de sensibilização. Do mesmo modo, os restos das intervenções, nomeadamente dos matos, das podas de árvores ou vinhas, das intervenções de plantas ornamentais, etc., deveriam ser retirados das imediações das casas, pois a sua acumulação em caso de incêndio aumenta a intensidade da combustão.

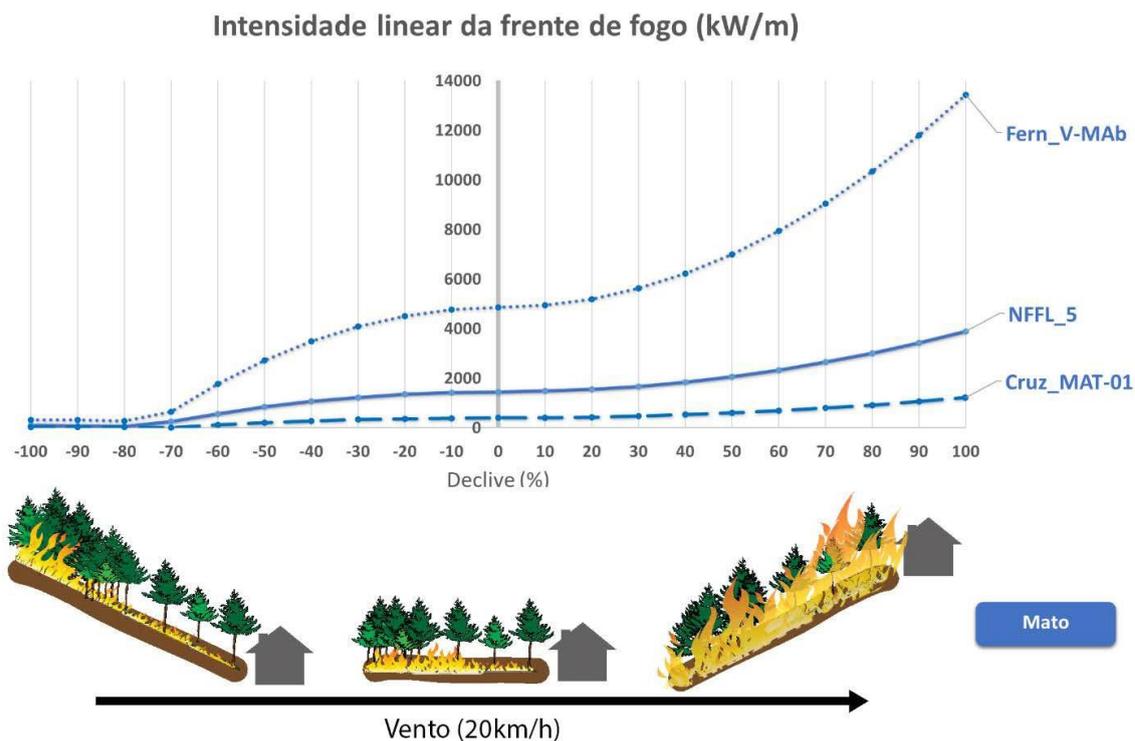


Figura 49. Comparação da intensidade do fogo, simulada no BehavePlus6, para modelos de arbustos com altura aproximada de 50 cm.

Relativamente ao distanciamento entre copas, parece-nos aceitável que se mantenham os 4m em consonância com as práticas internacionais identificadas anteriormente. Esta distância podia até ser menor, a partir dos 10m, salvaguardando que haja complementaridade de outras medidas de redução de combustíveis superficiais e/ou desramação. No entanto, não encontramos nada na bibliografia técnica ou científica que justifique a alteração introduzida pelo Decreto-Lei nº 10/2018, de 4 m para 10m quando as espécies são o pinheiro bravo ou o eucalipto. Chamamos a atenção que, a menor densidade de arvoredo tem efeitos adversos na velocidade do vento junto ao solo, que aumenta, na humidade dos combustíveis mortos finos, que diminui, ou na taxa de crescimento da vegetação herbácea e arbustiva, que aumenta em função da maior disponibilidade de radiação solar. Há ainda espécies que deviam ser alvo de atenção especial, mas por motivos muito específicos.

Um projeto do Mecanismo Europeu de Proteção Civil, ECHO, intitulado *WUIVIEW* (wuiview.org), analisou a inflamabilidade de espécies vegetais usadas como ornamento na IUF, sobretudo em sebes vivas, como as de *Cupressus arizonica*, *Cupressocyparis leylandii*, *Thuja occidentalis* ou *Prunus laurocerasus*. Com exceção deste último, todas as outras têm um crescimento tipicamente “periférico” quando adultas, com copa verde no exterior, mas com acumulação de matéria morta no interior, sobretudo por causa das frequentes podas a que estão sujeitas. Em caso de incêndio, e dada a disposição “em linha” destas espécies, o material morto do interior é suficiente para sustentar a combustão, levando o fogo a percorrer

as sebes independentemente dos restantes combustíveis de superfície. Ao contrário, espécies com elevado teor de humidade nas folhas, como é o caso do *Prunus laurocerasus*, mas também de muitas outras, podem servir de limitação à propagação. Em algumas comunidades da vizinha Espanha, o *Cupressus arizonica* tem vindo a ser proibido nos jardins, em detrimento de espécies com menor quantidade de combustíveis finos mortos e maior teor de humidade (por exemplo o *Prunus laurocerasus*, entre muitas outras).

Atualmente, no âmbito do projeto “*House Refuge - Atitudes e Comportamentos Face à Prevenção e Combate de Incêndios e a Gestão do Território, Incluindo a sua Vertente Colaborativa*” (www.adai.pt/houserefuge), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, tem-se vindo a desenvolver um programa de trabalhos com grande utilidade para os objetivos apresentados neste documento. Neste trabalho têm vindo a ser realizados vários ensaios laboratoriais que envolvem a queima de várias espécies, arbóreas a arbustivas típicas dos jardins que circundam várias habitações nos meios rurais.

O referido programa de ensaios apresenta dois propósitos fundamentais. O primeiro, de natureza qualitativa, pretende perceber quais as espécies que mais contribuem para o nível de exposição ao fogo das construções ou comunidades, ou que espécies podem ter um efeito benéfico na proteção contra o fogo, uma vez que não apresentam uma elevada inflamabilidade, assumindo-se como um obstáculo ao ataque de construções por partículas incandescentes resultantes da frente de fogo. Esta análise dá indicações que permitem regular a existência destas plantas (ou do mesmo género específico) nas várias zonas da FGC. Os resultados destes ensaios ainda não são definitivos por serem, nesta altura, meramente qualitativos, estando em curso o tratamento científico dos dados obtidos, o que irá conferir um rigor maior às conclusões obtidas. Para além disso, estão a ser testadas outras espécies consideradas de interesse. Na Tabela 29 apresentam-se os resultados da análise qualitativa efetuada até ao momento.

Tabela 29. Resultados da análise qualitativa dos ensaios realizados com árvores e plantas típicas da envolvente imediata às construções

Nome comum	Género	Inflamabilidade/libertação de calor	Geração de fagulhas
Hortênciã	<i>Hydrangea</i>	Muito baixa	Muito baixa
Figueira	<i>Ficus</i>	Muito baixa	Muito baixa
Macieira	<i>Malus</i>	Baixa	Baixa
Nespereira	<i>Eriobotrya</i>	Moderada	Baixa
Tília	<i>Tilia</i>	Moderada	Moderada
Aloendro	<i>Nerium</i>	Moderada	Moderada
Cerejeira	<i>Prunus</i>	Moderada	Baixa
Azevinho, Zebro	<i>Ilex</i>	Moderada	Moderada
Abrunheiro bravo	<i>Prunus</i>	Alta	Moderada
Oliveira	<i>Olea</i>	Alta	Moderada
Sumagre da Virgínia	<i>Rhus (typhina)</i>	Alta	Moderada
Medronheiro	<i>Arbutus</i>	Alta	Alta
Loureiro	<i>Laurus</i>	Muito alta	Muito alta

O segundo propósito do programa de ensaios do projeto *House Refuge* refere-se à determinação do fluxo de calor resultante da queima das espécies anteriormente apresentadas. O confronto do fluxo de calor resultante da queima destas espécies e a duração da sua combustão, com a energia necessária para a ignição das componentes das construções (e.g., janelas, portas, paredes, etc.), que será abordada no relatório “Regras para o edificado e envolvente nos territórios rurais” a entregar oportunamente à AGIF, irá permitir definir a distância segura a que cada espécie deverá estar destas componentes construtivas. Os resultados deste estudo podem ainda ser estendidos para determinação da distância mínima de separação entre copas e entre arbustos, dentro das espécies ensaiadas. Esta é uma tarefa em curso cujos resultados serão publicados durante o ano de 2022.

Parece-nos importante referir nesta altura que algumas das medidas de proteção das edificações contra incêndios florestais não devem ser exclusivas daquelas que se encontram na periferia dos aglomerados ou isoladas em espaço rural. Já vimos atrás o papel relevante que as fagulhas têm na ignição das casas, mesmo a dezenas ou centenas de metros de distância do fogo principal. Também já mencionámos o perigo inerente à deposição de materiais combustíveis no espaço contíguo às casas, por formarem leitos propícios à deposição dessas fagulhas, com as consequências que daí advêm. Por estes motivos, pelo menos para as edificações que se encontrem nas proximidades de espaços florestais, ou rurais (por exemplo até 1 km), onde a exposição a incêndios rurais é maior, as indicações de boas práticas na construção, na manutenção do espaço contíguo à casa (a faixa perimetral de 1,5 a 2m) e até a boa seleção de espécies de jardim, devem ser iguais para todos, não distinguindo entre edificações isoladas, na periferia ou no interior dos aglomerados. No entanto, as indicações e informações devem ser dadas de uma forma muito clara, para não se repetir o que aconteceu em 2018, quando a desinformação da população levou a que muitos cortassem toda a vegetação à volta das casas, incluindo árvores de fruto ou outras plantas ornamentais, que, como referimos, são por vezes benéficas para a proteção das casas.

A faixa perimetral de 1,5m a 2m pode eventualmente ser substituída por canteiros de relva ou espécies ornamentais de elevado teor de humidade, com irrigação permanente ou por espécies que consideramos benéficas (e.g., hortênsias).

Também acreditamos ser necessária melhor informação à população ou eventualmente mais esclarecimento na própria legislação, pois por vezes é difícil a interpretação sobre quem tem que limpar e o quê. É frequente ouvir dúvidas na população sobre se nas suas casas têm que limpar ou não, pois não têm o conhecimento sobre se estão englobados no perímetro urbano ou se são consideradas casas isoladas.

É importante e urgente refletir sobre a necessidade de os espaços florestais estarem identificados e aprovados no PMDFCI, conforme obriga a legislação, pois o risco existe sempre, independentemente deste Plano existir ou não. As medidas de gestão de combustíveis nas diferentes tipologias da rede secundária deveriam ser executadas, quer existisse plano, quer não. Existe há muitos anos cartografia de uso do solo (COS), a mais atualizada referente ao ano de 2018 (DGT, 2018), que permite uma fácil identificação dos espaços e se pode substituir aos PMDFCI. Esta questão foi já por nós suscitada, a propósito dos incêndios de Pedrógão Grande, em 2017 (cf. Viegas *et al.*, 2017), no que se referia à obrigatoriedade de limpeza das faixas envolventes das rodovias.

7.1 Frequência da gestão

A frequência das ações de gestão pode ter um impacto económico elevado, quer para particulares, quer para privados, que é proporcional aos custos de limpeza da vegetação. Mas, pelo menos para a vegetação herbácea, tão ou mais importante que a frequência destas ações é a altura em que se realizam. Reproduzimos aqui uma opinião publicada anteriormente em Viegas *et al.* (2020):

“Uma medida que é certamente controversa e discutível é a obrigatoriedade de se realizar estas intervenções até ao dia 30 de abril. Como se viu, no ano de 2018 foi mesmo imposto, excecionalmente, um prazo antecipado para 15 de março. Sendo conhecido que os períodos de crescimento de vegetação anual, assim como os de maior incidência dos incêndios são variáveis, mais ainda na presente condição de um clima em mudança, não parece ser razoável fixar-se uma data no calendário para a execução destes trabalhos. Nalguns anos as condições meteorológicas podem não aconselhar nem permitir a sua realização, noutros pode ser mesmo contraproducente realizá-los até uma determinada data. Se os trabalhos de limpeza estiverem concluídos no fim de abril, mas se chover depois dessa data, poderá haver necessidade de fazer trabalhos adicionais, antes da chegada do período crítico, para eliminar a vegetação que, entretanto, cresceu. Deveria haver mais flexibilidade nesta medida, pelo menos na fixação do prazo em cada ano, consoante as condições meteorológicas, em cada região.”

Com base nas dinâmicas apresentadas, acreditamos que, de um modo genérico, a frequência de manutenção deve depender do tipo de combustível, do declive e do tipo de infraestrutura a proteger.

7.1.1 Recomendações

No estrato herbáceo, e com base nos dados recolhidos, vamos responder à questão inicial de propor regras ou recomendações para os utilizadores e para as autoridades, para reduzir ou minimizar o perigo associado à presença de vegetação herbácea com elevada carga e de secura (por isso com baixo teor de humidade).

Como fatores de apoio à decisão, vamos considerar os seguintes parâmetros (definição apresentada na secção 6.4.1): a carga de combustível Mc e a percentagem de mortos ξ , a precipitação média local $R2m$, ou, em alternativa o valor de DCm local (índice DC é determinado através da temperatura do ar registada às 12h locais e da precipitação registada nas últimas 24 horas), para definir o dia $d1$ ou $d2$ do(s) cortes.

De acordo com a análise anterior, $R2m$ representa a média do valor da precipitação registada na região, a definir pelo IPMA, nos dez anos anteriores, entre 1 de outubro do ano N-1 e 31 de março do ano N; DCm será igualmente o valor médio de DC no dia 31 de março de cada ano, num conjunto de dez anos anteriores.

Na Lei n.º 76/2017, que procedeu à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho, é referida a obrigatoriedade de se realizar os trabalhos de gestão de combustíveis até ao dia 30 de abril, podendo o prazo ser alterado em situações excecionais. Para os trabalhos em redes de faixas de gestão de combustível, independentemente da existência de PMDFCI aprovado, em 2018 (Lei n.º 114/2017), 2019 (Lei n.º 71/2018),

2020 (Lei n.º 2/2020) e 2021 (Lei n.º 75-B/2020) foi imposto excecionalmente um prazo antecipado para 15 de março. Em 2020 e 2021 devido às medidas excecionais e temporárias provocadas pela pandemia da doença COVID-19, o prazo foi prorrogado até 31 de maio (Decreto-Lei n.º 20/2020) e 15 de maio (Decreto-Lei n.º 22-A/2021), respetivamente.

O prazo estabelecido excecionalmente de 15 de março, parece-nos ser demasiado precoce, pois não encontramos no espaço de amostragem que usámos, situações em que tão cedo no ano houvesse alturas superiores a 0,2m. Este prazo poderá aceitar-se em áreas de vegetação herbácea, que não tenham sido limpas em anos anteriores, dado que podem conter cargas e percentagem de mortos elevadas.

Relativamente à data preconizada de 30 de abril (Lei n.º 76/2017) propomos que a data do primeiro corte **dl** seja antecipada, mantida ou estendida. Assim, colocamos em consideração os seguintes três critérios para a tomada de decisão do corte da vegetação herbácea:

1. Em anos excecionais por serem particularmente secos, para algumas áreas do País, poderá ser necessário antecipar o prazo preconizado na Lei n.º 76/2017, por exemplo para 15 de março (como aconteceu em 2018 e 2019) ou 31 de março, e principalmente se em anos anteriores não existiu corte da vegetação.
2. Para as áreas que tenham sido limpas em anos anteriores, e se a 31 de março $R2 \leq 1.4 \times R2m$ (ou $DC \geq 0.5 \times DCm$) deve ser recomendada a data de 30 de abril conforme preconizado na Lei n.º 76/2017.
3. Se a 31 de março $R2 > 1.4 \times R2m$ (ou $DC < 0.5 \times DCm$) a vegetação poderá ser cortada até o final de maio.

Nos três critérios apresentados acima salienta-se que:

- Neste estudo, propomos que as medidas sejam aplicadas regionalmente, em função da avaliação da precipitação e do índice de seca DC. Assim, competirá às autoridades responsáveis definir a unidade territorial a aplicar as medidas tendo em conta os parâmetros dessa região.
- Os valores de precipitação e de DC podem ser obtidos através da informação oficial disponibilizada pelo IPMA que monitoriza estes, e outros parâmetros, na sua rede de estações meteorológicas instaladas no país. Em concreto, a determinação de um ano excecional, para uma dada região, ou para o País, deverá ser feito com base em dados do IPMA, sobre a situação de seca no País, no ano em consideração.
- A monitorização dos parâmetros como a precipitação e o DC numa dada unidade territorial deve ser feita desde o início do ano, de modo a detetar condições que se verifiquem excecionais e que requeira medidas atempadas.
- A tomada de decisão a 31 de março, em anos normais, permitirá analisar com mais eficácia a influência que meteorologia terá no crescimento da vegetação herbácea e consequentemente apoiar a decisão de manter ou estender o seu corte relativamente à data preconizada de 30 de abril.
- Na primeira situação nos casos onde houve um primeiro corte **dl** considerado precoce pode ser eventualmente necessário um segundo corte **d2** (apesar de não dispormos de dados suficientes que definam a segunda data).
- Na terceira situação, a menos restritiva, a indicação dos dados analisados é que em anos com precipitação elevada a percentagem de mortos ξ tende a ser menor, mesmo que a carga e a altura da vegetação não reflitam a mesma tendência. Assim, considera-se que o corte **dl** poderá ser estendido até ao final de maio.
- A carga de combustível **Mc** e a altura da vegetação **H** são parâmetros importantes a ter em conta na avaliação do corte, no entanto consideramos que o efeito da percentagem de mortos ξ presente (relacionada com a **R** e o **DC**) é igualmente importante. Se a quantidade de vegetação numa dada área for baixa, mas se ξ for elevada, a vegetação pode suportar a propagação do fogo.

No estrato arbustivo, a pluviosidade não tem a mesma importância, pelo que se deve observar o aumento da biomassa disponível. Atualmente a legislação refere uma altura de 0,5m (DL n.º 10/2018), acerca da qual já falámos atrás. Para manter o comportamento expectável do fogo em níveis compatíveis com as classes de

controlo 1 e 2 (Tabela 22) sugerimos que a carga arbustiva se mantenha em valores inferiores a 8-10 t/ha.

Tal sugere que, para atingir estes valores de biomassa, e assumindo que se mantêm os 0,5m de altura máxima, o grau de cobertura não deva exceder os 50 % e os ciclos de corte não devam exceder o período de 2 a 4 anos.

A dinâmica de crescimento no estrato arbóreo torna desnecessário o estabelecimento de ciclos obrigatórios de manutenção como nos dois estratos anteriores. O que deve ser feito é observar as disposições legais constantes do Decreto-Lei nº 10/2018 e agir sempre que se observe algum incumprimento. Ou seja, manter as árvores desramadas até à altura indicada e manter a separação entre copas, eliminando novas árvores que possam nascer. Chamamos a atenção, de novo, para o facto de, na nossa opinião, a separação de 10m entre árvores nos exemplares de pinheiro bravo e eucalipto parecer ser exagerada e, provavelmente, contraproducente. No entanto, tal como referido, no projeto *House Refuge* está a realizar-se um programa de ensaios que irá aferir qual a distância mínima que deve separar duas árvores destas e de outras espécies típicas da IUF.

Chama-se a atenção para o caso particular das redes elétricas, onde a manutenção do estrato arbóreo tem particular relevo, sobretudo no que toca ao afastamento dos ramos das árvores dos cabos elétricos. Sugere-se que haja um ciclo máximo de 3 anos, para a sua manutenção, focado precisamente na manutenção desta separação.

Nas análises que o CEIF efetuou aos incêndios florestais de 2017 em Portugal (Viegas *et al.*, 2017; Viegas *et al.*, 2019), observou-se que a gestão neste estrato, ao nível da rede secundária associada à rede viária, é muito pouco frequente. Nas grandes vias de comunicação, como autoestradas ou itinerários principais, é comum a faixa de gestão ser ocupada por vegetação herbácea ou até arbustiva. No entanto, nas restantes vias, há muitas vezes árvores, e é frequente não obedecerem aos critérios legais de gestão de combustíveis, o que pode trazer risco acrescido para os utilizadores. Seria uma medida importante aumentar a fiscalização deste cumprimento, ou rever estes critérios.

De um modo genérico, e tendo por base os diferentes estudos referidos atrás, podemos apresentar uma matriz de frequência de gestão de combustíveis na rede secundária, conforme se indica na Tabela 30. No entanto, e no que diz respeito à vegetação herbácea, os critérios devem ser mais flexíveis e ajustados consoante a precipitação verificada durante os primeiros meses do ano.

Tabela 30. Matriz genérica de frequência de gestão de combustíveis na rede secundária.

Tipo de estrutura da rede secundária	Estrato de combustível, regime de pluviosidade e índice de secura DC				
	Herbáceo*			Arbustivo**	Arbóreo
	Anos excecionais	31/mar: $R2 \leq 1.4 \times R2m$	31/mar: $R2 > 1.4 \times R2m$		
		31/mar: $DC \geq 0.5 \times DCm$	31/mar: $DC < 0.5 \times DCm$		
Pontual (e.g. edificações)	d1: 15/mar ou 31/mar d2: a definir	d1: 30/abr	d1: 31/mai	1-3 anos	Verificação anual e intervenção sempre que se justificar
Poligonal (e.g. povoações, parques industriais, parques de campismo)				2-4 anos	Verificação anual e intervenção sempre que se justificar, mas pelo menos a cada três anos
Linear (e.g. rede viária, ferroviária rede elétrica/gás)					

* $R2$ – precipitação acumulada nos 6 meses anteriores a 31 de março; $R2m$ – média do valor da precipitação registada na região nos últimos 10 anos e no mesmo período; DC – índice de secura a 31 de março; DCm – média do valor registado na região nos últimos 10 anos e no mesmo período; d1 – data do primeiro corte;

** Intervalos meramente indicativos. Sugerimos que os ciclos de intervenção sejam ajustados em função do crescimento anual e dos critérios de altura e carga anteriormente indicados

Chama-se a atenção para, caso os declives sejam muito acentuados, existir a possibilidade de erosão ou

mesmo deslizamentos de terras, caso o coberto vegetal seja totalmente removido. Sobretudo na encosta por cima da estrutura deve ser planeada cautelosamente a gestão, podendo inclusivamente ser dispensada, caso o risco de deslizamento de terras seja superior ao impacto expectável de um incêndio florestal. Nestes casos devem ser estudadas medidas compensatórias complementares para diminuir a magnitude deste último perigo.

7.2 Dimensões das faixas de gestão

Começamos esta secção por referir que se pretendêssemos dimensionar as faixas de gestão de combustíveis para o pior cenário, teríamos que gerir a vegetação numa largura de muitas dezenas ou mesmo centenas de metros em quase toda a extensão da rede secundária, independentemente de se tratar de estruturas pontuais, poligonais ou lineares.

Como vimos, ainda que haja diferenças quanto às distâncias de gestão obrigatórias ou recomendadas, em todos os países estudados e em todos os trabalhos de natureza científica e técnica, é unânime a ideia da necessidade de gestão da vegetação na envolvente de estruturas, sobretudo as edificações. Com exceção de Portugal, em nenhum país é feita uma distinção clara entre casas isoladas e aglomerados urbanos no que diz respeito a estas distâncias (Observatório Técnico Independente, 2019). No entanto é frequente ver recomendações para uma separação superior aos 30m entre os espaços florestais contínuos e povoações (e.g. Westhaver, 2015).

Mais do que a dimensão da faixa de gestão de combustíveis, é importante a boa manutenção da mesma e, sobretudo, o cuidado com os elementos estruturais das edificações e a adoção de boas práticas de proteção contra incêndios. Falamos, por exemplo, da adoção de materiais com maior resistência ao fogo, da eliminação de pontos de entrada de fagulhas ou da eliminação de acumulações de resíduos combustíveis perto das edificações.

7.2.1 Recomendações

Para maximizar a relação custo/benefício das faixas de gestão, mas também para simplificar a aplicabilidade das sugestões aqui apresentadas, sugerimos a adoção do conceito de *zoneamento*, com três zonas de intervenção, sempre que aplicável, e à semelhança dos programas *Firewise* e *Firesmart* descritos na secção 3.1.

A localização das três zonas de gestão de combustíveis, com referência à estrutura, está esquematizada na Figura 50, sendo que onde está a casa poderia estar qualquer outra estrutura, como um parque industrial, parque de campismo, etc. A dimensão e o conteúdo de cada zona variam em função do tipo de estrutura e o início de cada uma coincide com o término da anterior. Nas linhas elétricas e gasodutos o esquema serve apenas de referência, pois as faixas estão localizadas por baixo ou por cima das infraestruturas, respetivamente, bem como a partir dos seus limites para fora.

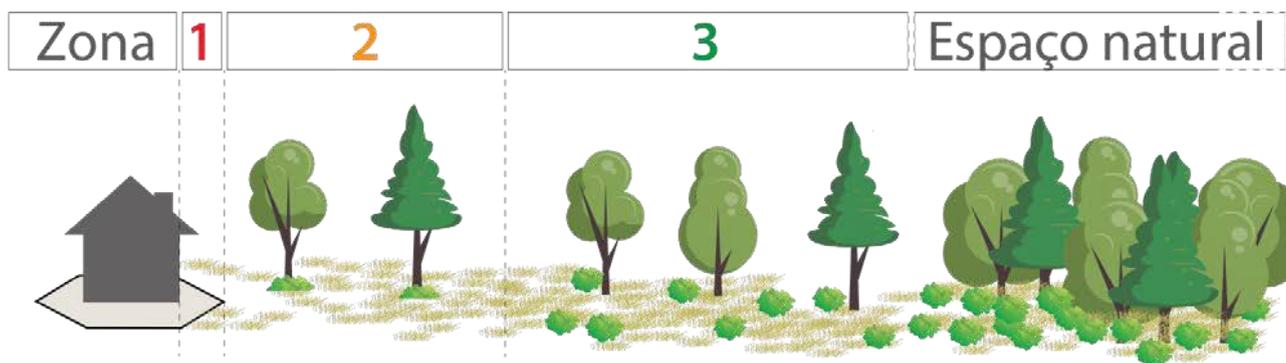


Figura 50. Exemplificação da localização das três zonas de gestão de combustíveis

Cada uma destas zonas deve ter critérios próprios de gestão. Em linha com o aqui apresentado, e com a

diversidade de estudos e análises referenciada no presente trabalho, o “*Observatório Técnico Independente para análise, acompanhamento e avaliação dos incêndios florestais e rurais que ocorram no território nacional*”, criado pela Assembleia da República Portuguesa em setembro de 2018, faz uma análise técnica à racionalização da gestão de combustíveis, ao nível da paisagem e também da IUF (Observatório Técnico Independente, 2019), emanando recomendações que são semelhantes a estas aqui sugeridas.

Tabela 31. Critérios de gestão por zona e por tipo de estrutura

Zona	Ações de gestão recomendadas por tipo de estrutura/infraestrutura		
	Pontual (e.g. edificações)	Poligonal (e.g. povoações, parques industriais, parques de campismo)	Linear (e.g. rede viária e ferroviária)
1	<p>Separação física de 1,5 a 2 m da vegetação (e.g. pavimento, gravilha, canteiro com irrigação permanente) e proibição de acumulação de qualquer material combustível, natural ou artificial. Esta zona devia existir em cada edificação dentro do aglomerado urbano, sempre que se encontrem a menos de 1 km do espaço florestal ou rural e em zonas de maior risco de incêndio.</p>	<p>Separação física da vegetação (e.g. pavimento, gravilha, espaço ajardinado com irrigação permanente) em cada edificação dentro do polígono, quando a menos de 1 km do espaço florestal ou rural e em zonas de maior risco de incêndio.</p> <p>Esta zona deveria também existir a contar do limite exterior (ou vedação, se aplicável) e idealmente deveria contemplar um caminho que possibilitasse a passagem de veículos de combate a incêndios. A sua largura deveria depender da área da estrutura poligonal e do risco de incêndio da envolvente (e.g. 3,5m a 7 m, consoante seja necessária uma ou duas vias de circulação). Os aglomerados populacionais estão excluídos desta obrigação, mas se a cumprirem, é uma mais valia. Proibição de acumulação de qualquer material combustível, natural ou artificial.</p>	N/A
2	<p>Gestão total dos combustíveis de superfície. Árvores cumprindo os critérios de espaçamento e desramação. No caso concreto da rede viária e das linhas elétricas deve acautelar-se a possibilidade de árvores caírem por causa de situações de vento forte, ou pela passagem de incêndios, podendo afetar a segurança das vias ou das linhas elétricas. Na generalidade, relativamente a esta últimas, cumprir o que está estabelecido a este respeito no DL 1/92 de 18 de fevereiro</p>		
3	<p>Diminuição da continuidade horizontal e vertical, mas sem obrigatoriedade de gestão total.</p>		

De um modo geral, deve existir uma área contígua à estrutura (normalmente 1,5 a 2m) completamente desprovida de combustível florestal (**Zona 1**), seguida de uma zona, usualmente até 10 metros, mas variável em função do declive (**Zona 2**), onde todo o combustível de superfície deve ser retirado e o arvoredo gerido conforme as recomendações do Decreto-Lei nº 10/2018, ou outro que o substitua. Por último seguir-se-á uma zona (**Zona 3**) em que se deve evitar acumulação significativa de combustível e assegurar descontinuidade vertical adequada (Observatório Técnico Independente, 2019). Quer na Zona 2, quer na Zona 3, sugerimos que se reveja a separação de 10m entre copas das espécies de pinheiro bravo e de eucalipto, que poderão eventualmente ser excessivas e ter um efeito contrário ao desejado, conforme também abordado por Fernandes (2018). Quanto aos 4m de separação, eles parecem-nos adequados para a maioria das espécies dentro da Zona 2 e provavelmente para espécies mais combustíveis da Zona 3. Para espécies menos combustíveis dentro desta Zona 3, com teores de humidade mais elevados, esta distância provavelmente será exagerada. A Tabela 31 apresenta um resumo das possíveis medidas de gestão de combustíveis, por zona, e por tipologia de estrutura.

Relativamente às dimensões (largura das FGC), não temos muitas dúvidas de que atualmente elas são exageradas em alguns casos, nomeadamente na proteção das edificações. Conforme já referimos, não encontramos qualquer suporte, nem na bibliografia científica, nem na técnica, para o estabelecimento de distâncias superiores a 30m. Acresce que a grande maioria dos estudos e experimentação que apoia esta

distância foi realizada em estruturas cuja construção é maioritariamente de madeira, pelo que, para o tipo de

construção mais comum em Portugal ela poderia inclusivamente ser menor. Mesmo para as estruturas poligonais, sejam aglomerados, parques industriais, parques de campismo ou qualquer outra das identificadas na legislação, os 100m atualmente em vigor poderão ser exagerados e de difícil implementação, como constatámos ao analisar o impacto dos incêndios de 15 de outubro de 2017, um pouco por toda a Região Centro (Viegas *et al.*, 2019). Relembramos que na esmagadora maioria dos casos em que há destruição de estruturas durante incêndios florestais, a mesma é provocada por fagulhas vindas do fogo a dezenas ou centenas de metros. No entanto, é possível manter os 100m, adequando-os aos critérios de zonas, conforme agora proposto, e simplificando as medidas de gestão. Nestas áreas, deveriam ser revistas as normas construtivas, visando um aumento da resistência, sobretudo nas regiões onde o risco de incêndio é maior.

No que respeita às estruturas lineares, é mais difícil generalizar distâncias. Em primeiro lugar, as vias de comunicação (rodovias e ferrovias) têm que ser distinguidas das linhas elétricas, e ambas das de gás. Começamos por estas últimas, por serem de análise mais simples. Uma vez que a infraestrutura está toda enterrada, diríamos que a gestão de combustíveis serve quase exclusivamente o propósito de sinalização e proteção da própria, pelo que as dimensões atuais podem ser consideradas adequadas (Decreto-Lei n.º 374/89, de 25 de outubro (repblicado pelo Decreto-Lei 8/2000, de 8 de fevereiro).

Nas linhas elétricas, podemos ainda fazer uma distinção consoante a função (transporte e distribuição) e tensão das mesmas. Começamos por referir que um dos propósitos da faixa de gestão é a proteção da própria infraestrutura, mas que pode não ser suficiente. De facto, a existência de árvores de grande porte mesmo para lá da faixa de gestão, pode colocar as linhas em risco, em caso de queda. Não nos parece exequível exigir que todas as árvores sejam cortadas para lá das faixas de gestão das linhas, pois no seu conjunto (média, alta e muito alta tensão) elas percorrem praticamente o País todo. Mesmo dentro das faixas, sobretudo na alta e média tensão, o cumprimento da lei em toda a extensão destas linhas é de difícil implementação e mesmo fiscalização. Tal como é referido em Viegas *et al.* (2020): “*Tendo em conta a dificuldade no cumprimento das regras dever-se-iam estudar medidas alternativas, como por exemplo o emprego de condutores revestidos ou mesmo subterrâneos*”.

Alterar as dimensões das faixas de gestão para incorporar o efeito do declive pode ser contraproducente no caso de haver diminuição no lado da encosta descendente, pois colocaria as árvores mais perto dos cabos. Não se nos afigura viável fazê-lo, nem sugerir um aumento, pois a dimensão atualmente em vigor já é de difícil cumprimento.

Nas linhas de Muito Alta Tensão (MAT), a cargo da REN, as dimensões da faixa de gestão em prática pela empresa são atualmente, no mínimo, 45m, ou seja 22,5m para cada lado do eixo da linha (REN, 2019b). A legislação indica 10m para cada lado dos cabos, mas como a largura entre eles é variável, a REN orienta-se pelo Decreto-Regulamentar 1/92, de 18 de fevereiro, que aprova o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão. Esta estratégia é fundamentada pela empresa no facto de assim estar salvaguardada a integridade da própria estrutura. Por este motivo, e à semelhança da rede de gás, não nos parece necessário alterar as dimensões.

A rede viária, por seu lado, requer uma análise um pouco mais cuidada, pois existem milhares de quilómetros de estradas pelo País, frequentadas diariamente por centenas de milhares de pessoas. Gostaríamos de reforçar a necessidade de gerir o combustível arbóreo nestas vias. Se houver descontinuidade horizontal e vertical no estrato arbóreo e arbustivo, reduzir-se-á a severidade do comportamento de um eventual incêndio. Lembremo-nos que faixas associadas à rede viária são de gestão, e não de interrupção de combustíveis, pelo que, mesmo que se gerissem com muita frequência, elas teriam sempre combustível suficiente para sustentar a propagação do fogo.

Para se ter uma noção mais clara do hipotético impacto que a modificação da vegetação poderá ter na segurança dos utilizadores da via, utilizámos o conceito de distância de segurança de Butler (2018), *SSD*, conforme definido no **Capítulo 3**. Realizámos uma série de cálculos explorando todas as possibilidades da formulação, para vegetação até um metro de altura. Estas simulações são indicativas da distância a que a vegetação tem que estar da via (em função da sua altura) e que podemos aqui equiparar à dimensão necessária à faixa de gestão, para os seus utilizadores estarem em segurança. Note-se que não há aqui distinção entre

tipos de vegetação, apenas sendo utilizada a altura. Em qualquer dos cenários possíveis, para 2m de altura da

vegetação, a distância de segurança duplica (por exemplo, com 2m de altura, sem declive nem vento, a SSD é de 16m), crescendo sempre linearmente a partir daí. Quando analisamos vegetação com porte arbóreo, então os valores disparam. Para 6m de altura, declive de 30% e vento de 30 km/h, falamos de distâncias de separação de 144m, por exemplo. Quer isto dizer que, de um modo geral e de acordo com esta formulação, as faixas de 10m das vias de comunicação não são eficazes para a proteção dos seus utilizadores face a um incêndio florestal de elevada intensidade, como os que estão associados a vegetação contínua de mato ou árvores, em situações de vento e/ou declive. No caso das árvores, mesmo sem declive nem vento falamos sempre de distâncias de segurança de várias dezenas, ou mesmo centenas, de metros.

Conforme referimos anteriormente, esta distância de segurança refere-se a pessoas expostas ao fogo sem qualquer tipo de proteção auxiliar. O modelo foi construído com base na análise de dezenas de casos reais de acidentes ou incidentes com bombeiros, e em que se considerou o declive e o comportamento do fogo associado (altura de chama). Apesar de as distâncias poderem ser ligeiramente exageradas se considerarmos a proteção extra que um veículo pode oferecer (dentro de determinadas condições), iremos utilizá-las como orientação, pois, no limite, configuram uma situação mais crítica do que na realidade.

Realizámos três conjuntos de cálculos distintos, tendo em conta as 3 classes de velocidade do vento do modelo: menos de 10 km/h, entre 10 e 25 km/h e mais de 30 km/h. Em cada caso apresentam-se também os resultados em função das 3 classes de declive: menos de 15 %, entre 15 e 30 % e mais de 35%. Assume-se que não existe vegetação na faixa de gestão de combustíveis.

A título de referência meramente indicativa, incluímos nos gráficos e análise as referências de altura da vegetação de 0,2m (linha pontilhada), que pode representar um prado, restolho, ou algum tipo de uso agrícola com ocupação simular e de 0,5m (linha tracejada), que pode representar uma zona de mato. Note-se que falamos da vegetação imediatamente após a FGC, não da FGC em si.

Começando pela situação de vento inferior a 10 km/h (Figura 51), não há diferença na distância de segurança para declives inferiores a 30%, que fica sempre abaixo de 8m, mesmo para vegetação com 1m de altura. Para 50 cm de altura da vegetação, a SSD será de cerca de 4m. Já quando o declive é superior a 35 %, a distância de 10m da legislação só serve até uma altura da vegetação de cerca de 30 cm. Para 50 cm, a SSD sobe para os 16m.

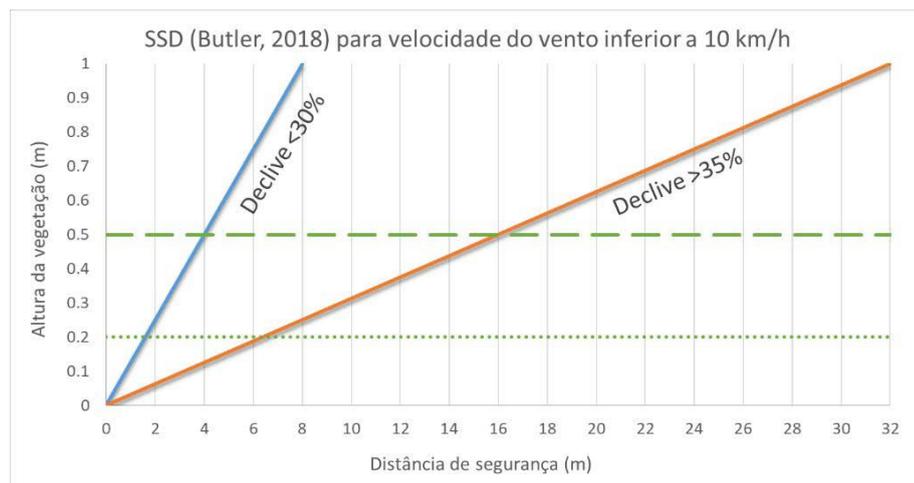


Figura 51. Cálculo da distância de segurança de Butler (2018), para vento inferior a 10 km/h.

O cenário colocado pela Figura 51 é de uma situação de vento fraco, observada normalmente quando há incêndios de baixa ou média intensidade associados a condições meteorológicas desfavoráveis à sua propagação.

O gráfico da Figura 52 já retrata um cenário mais comum durante incêndios florestais de intensidade média a elevada. Aqui já se notam diferenças nas várias classes de declive. Quando o declive é inferior a 15 %,

continua, no entanto, a ser suficiente uma separação de 8m para 50 cm de altura da vegetação, ou cerca de 3m para 20 cm de altura. Já se a vegetação tiver 1m, a SSD sobe para 16m. Para declives maiores, entre 15 e 30 %, se a altura da vegetação for igual a 20 cm, a SSD é de 6m, chegando aos 16m para 50 cm de altura. Para declives maiores que 35 % apenas a vegetação até 20 cm proporcionaria uma distância de segurança igual ou inferior aos 10m atualmente legislados. Se houver mato com 50 cm nestas condições de declive e vento, a SSD necessária sobe para 24m.

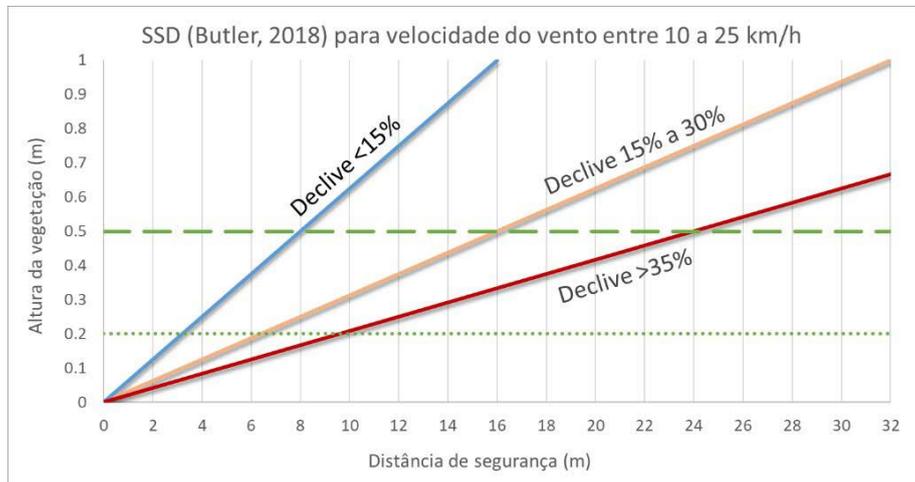


Figura 52. Cálculo da distância de segurança de Butler (2018), para vento entre 10 e 25 km/h.

Por último observemos a Figura 53, que se refere a uma situação de vento superior a 30 km/h, claramente associado a condições de propagação extrema do fogo. Se a vegetação tiver 20 cm, em declives inferiores a 30 % estaremos dentro da SSD de 10m, ou mesmo 6m para declives menores que 15 %. Para declives superiores a 35 %, mesmo com 20 cm de altura da vegetação, a SSD sobe para 13m. Com uma vegetação de 50 cm, a SSD para qualquer um dos cenários de declive dispara, nomeadamente para 16, 24 e 32m.

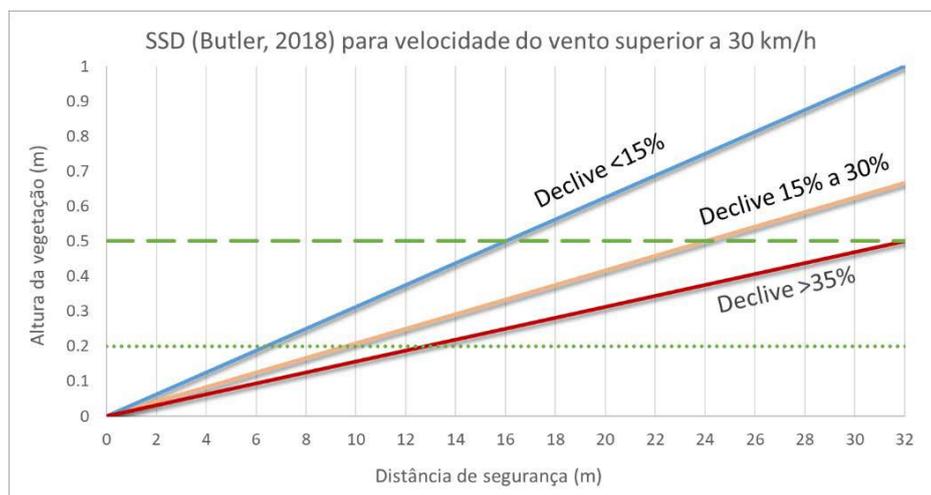


Figura 53. Cálculo da distância de segurança de Butler (2018), para vento superior a 30 km/h.

Uma vez que dificilmente se poderá legislar tendo em conta o vento expectável, conforme já abordámos atrás, podemos sistematizar as SSD para três alturas de vegetação, apenas em função do declive, e assumindo o vento do cenário intermédio, ou seja, 10 a 25 km/h (Tabela 32), que será o mais comum.

Tabela 32. Distância de segurança de Butler (2018), em metros e em termos relativos, para vento entre 10 e 25 km/h.

Altura vegetação	Declive		
	Plano (<15 %)	15-30 %	>35 %
0,2 m	3,2 m	6,4 m	9,6 m
0,5 m	8,0 m	16,0 m	24,0 m
1,0 m	16,0 m	32,0 m	48,0 m

Como podemos verificar, se a vegetação contígua à faixa de gestão tiver 20 cm, ou menos, os 10m das faixas atualmente preconizados são superiores à SSD para qualquer classe de declive, ou seja, as faixas cumprem o propósito de proteção da via. Para alturas de vegetação de 50 cm, em terreno plano são necessários 8m para ter uma SSD efetiva, mas com maior declive deixa de ser possível ter SSD inferior a 10m.

Independentemente da altura da vegetação, a SSD para declives entre 15 e 30 % duplica, em relação ao declive menor que 15%, e triplica quando ele é maior que 35%.

Se quisermos utilizar o pior cenário de vento, com velocidade acima de 30 km/h, então as distâncias de segurança aumentam, e apenas quando há vegetação inferior a 20 cm é possível ter valores inferiores a 10m de SSD, conforme refletido na Tabela 34.

Tabela 33. Distância de segurança de Butler (2018), em metros e em termos relativos, para vento acima de 30 km/h.

Altura vegetação	Declive		
	Plano (<15 %)	15-30 %	>35 %
0,2 m	6,4 m	9,6 m	12,8 m
0,5 m	16,0 m	24,0 m	32,0 m
1,0 m	32,0 m	48,0 m	64,0 m

Conforme dissemos anteriormente, e comprovado por estes resultados, as faixas de gestão de combustíveis associadas à rede viária e ferroviária cumprem o propósito de proteção aos utilizadores num conjunto muito reduzido de cenários, associados a incêndios de baixa intensidade. No entanto, a sua utilidade e função não se esgotam na proteção, e elas são também essenciais na gestão de ignições (potencialmente causadas pelos utentes da rodovia) ou até na segurança rodoviária.

Recordamos que a altura da vegetação utilizada na análise se refere àquela que está contígua à faixa de gestão, portanto sem obrigação legal de ser cortada.

Esta análise permite-nos afirmar que, pelo menos, o declive deve ser tido em conta na definição das dimensões das faixas lineares. Idealmente deveria também ser tida em conta a altura da vegetação contígua às faixas, mas antevemos a dificuldade em legislar ou fazer cumprir essa condicionante. Ainda assim, fica claro que para locais onde a ocupação do solo contíguo às vias de comunicação limita a propagação do fogo, por exemplo campos agrícolas, pomares gradados, ou qualquer uso artificial, as faixas de gestão podem ter uma dimensão muito reduzida, limitando-se a cumprir o objetivo de promoção da segurança rodoviária.

Assumimos também que as dimensões das faixas de gestão deviam ter em conta outros critérios que não o comportamento do fogo, nomeadamente, o tipo de via e o seu tráfego médio, a existência de alternativas viáveis ou ainda a localização geográfica das vias. Na ausência de critérios objetivos que nos permitam ter em conta tínhamos estes fatores, apenas podemos deixar algumas sugestões, à semelhança do já feito em Viegas *et al.* (2020). Por exemplo, nas autoestradas ou itinerários principais o movimento diário é elevado, e a dimensão das faixas de gestão pode ser maior até por motivos inerentes aos próprios traçados. Já em muitas estradas municipais, que servem aldeias, em espaços de elevado risco de incêndio, por vezes não há outras alternativas de circulação, e as faixas também poderiam ser alargadas tendo isso em consideração. Fazemos, no entanto, aqui uma ressalva para o facto de esta rede municipal ser muito extensa, e admitimos que o cumprimento da legislação em toda a sua extensão é extremamente difícil e oneroso, pelo que se admite

que, quando as condições de perigosidade o possibilitarem, a largura seja reduzida.

Também devia haver uma fiscalização mais rigorosa no que respeita às árvores que colocam as rodovias em perigo no caso de queda (como sucedeu em Pedrógão Grande, em 2017). Também consideramos de extrema utilidade a possibilidade de se criarem zonas de refúgio em vias de comunicação que estejam em áreas particularmente propícias ao desenvolvimento de incêndios com propagação extrema, como é o caso de zonas muito declivosas e/ou áreas de elevado grau de continuidade de combustíveis, sobretudo mato (sozinho ou no subcoberto de povoamentos).

Alertamos para o facto de em determinadas configurações de terreno, nomeadamente quando duas encostas formam um ângulo, naquilo que vulgarmente chamamos “*desfiladeiro*”, o comportamento do fogo ser comumente extremo. Nestes casos de desfiladeiros atravessados por estradas de montanha com maior tráfego, salvaguardando a possibilidade de ocorrência de fenómenos de deslizamentos de terras, a largura das faixas na encosta ascendente (por baixo da via), deveria ser alvo de atenção especial, com medidas excepcionais de gestão.

Independentemente do tipo de via, entendemos ser necessário clarificar a partir de onde começa a contar a dimensão da faixa de gestão. Tanto quanto entendemos, a legislação apenas fala no “terreno confinante”, não especificando se este se inicia na delimitação da via (o traço contínuo nas margens), no limite do asfalto ou no limite das proteções laterais, rails incluídos. Obviamente que quanto maior for a largura da zona de proteção à via, maior será a sua eficácia, pelo que sugerimos que seja aproveitada toda a infraestrutura construída e a faixa de gestão comece a contar do limite mais exterior, seja asfalto, cimento de uma valeta, rail de proteção ou outro.

Para manter a uniformidade com os critérios para os restantes tipos de estruturas (pontuais e poligonais), e até tendo em conta os resultados das simulações para a SSD, sugerimos que o limiar de classe de declive a utilizar na definição das dimensões seja também de 20 %. Usando as relações estimadas, afigura-se uma boa opção aumentar o espaço gerido nas encostas ascendentes, quando o declive é superior a este valor, entre 1,5 a 2 vezes o valor de referência em plano, diminuindo-o por sua vez nas encostas descendentes.

Tendo em conta todos os pressupostos anteriores, compilámos na Tabela 34 uma proposta de dimensionamento das faixas de gestão de combustíveis nas estruturas e infraestruturas pontuais, poligonais e lineares, que contempla:

- Nas estruturas pontuais, a redução de 50 para 30m, sujeita à implementação das três zonas de gestão sugeridas, com critérios diferenciados consoante o declive.
- Nas estruturas e infraestruturas poligonais, a adoção dos critérios das três zonas de gestão, também com critérios diferenciados em função do declive. Sugere-se a observação de boas práticas construtivas e a obrigatoriedade de implementação da separação física de combustíveis (Zona 1) para todo o edificado, independentemente de estar na periferia ou não, sempre que o mesmo se encontre a menos de 1 km de espaço rural ou florestal onde possam ocorrer incêndios. Os parques industriais devem ser alvo de análise cuidada, tendo em conta o ambiente em que se inserem. Como ficou provado em outubro de 2017, a fragilidade das estruturas à deposição ou entrada de fagulhas, bem como a acumulação de materiais combustíveis nas imediações dos edifícios (e.g. matérias primas ou produtos), foi determinante na destruição de boa parte deles (Viegas *et al.*, 2019). Estas fragilidades não se resolvem só com a faixa de gestão de combustíveis, mas sim com a promoção de boas práticas construtivas nos edifícios e boa gestão do espaço contíguo.
- Nas infraestruturas lineares, não se aplicam os critérios das três zonas. Salientamos que apenas com vegetação muito baixa no espaço contíguo às faixas de gestão seria seguro recomendar uma redução geral das suas dimensões. Ainda assim, deixamos à consideração o redimensionamento para as vias de comunicação, em função do declive. No entanto, fazemos algumas ressalvas:
 - Na rede viária municipal admite-se que o cumprimento da legislação em toda a sua extensão é extremamente difícil e oneroso, pelo que se pode eventualmente aceitar a redução da faixa para 5m de cada lado, quando o declive for inferior a 20 % e a perigosidade estrutural a

incêndio florestal for das classes “Média”, “Baixa” ou “Muito baixa”. Caso o declive seja inferior a 20 %, mas a perigosidade esteja nas classes “Alta” e “Muito alta”, manter-se-ão os 10m de cada lado.

- Nas vias com outra classificação, quando o declive for inferior a 5 % e o uso do solo contíguo à faixa for outro que não matos ou povoamentos florestais admite-se também a possibilidade de redução para 5m. Com declive entre 5 e 20 % sugere-se a manutenção dos 10m em ambos os lados.
- Quando o declive for superior a 20%, sugere-se a adoção de medidas diferentes para as encostas ascendente e descendente, conforme referido na Tabela 34.

Nos casos em que, na rede viária, seja decidido diminuir a dimensão da faixa de gestão, sempre que esta rede se encontre em espaço rural ou florestal, onde existe a possibilidade de ocorrência de incêndios, deveria ser estudada a possibilidade de alargar as faixas em intervalos de extensão de estrada mais ou menos regulares (por exemplo de 5 em 5 ou 10 em 10 km), por forma a permitir criar zonas de refúgio para os utilizadores, em caso de incêndio. Da mesma forma, zonas com desfiladeiros pronunciados nestes mesmos espaços, onde se anteveja que a probabilidade de manifestação de comportamento extremo do fogo é muito elevada, poderiam ser alvo de medidas excecionais de gestão na encosta ascendente (por baixo das vias).

Tabela 34. Dimensões sugeridas por zona para as estruturas pontuais, poligonais e lineares.

Tipo de estrutura da rede secundária	Legislação atual	Declive	Zona 1	Zona 2		Zona 3	
				Encosta ascendente (por baixo da estrutura)	Encosta descendente (por cima da estrutura)	Encosta ascendente (por baixo da estrutura)	Encosta descendente (por cima da estrutura)
Pontual (e.g. edificações)	50 m	<20%	1,5 a 2 m	2 até 10 m		10 até 30 m	
		≥20%		2 até 20 m	2 até 10 m	20 até 30 m	-
Poligonal (e.g. povoações, parques industriais, parques de campismo)	100 m	<20%	Mínimo 3,5 m a contar do limite dos parques ou polígonos (excetuando aglomerados populacionais)	Mínimo 3,5 até 30 m		30 até 100 m	
		≥20%		Mínimo 3,5 até 60 m	Mínimo 3,5 até 30 m	60 até 100 m	30 até 100 m
Linear	Rede viária e ferroviária	<20%	-	10 m*		-	-
		≥20%		15 m	5 m		
	Rede elétrica MAT e AT	10 m		10 m			
	Rede elétrica MT	7 m		7 m			
Rede gás	5 m	-	5 m				

* Na rede viária municipal admite-se eventualmente aceitar a redução para 5m de cada lado quando o declive for inferior a 20 % e a perigosidade estrutural a incêndio florestal for das classes “Média”, “Baixa” ou “Muito baixa”. Caso o declive seja inferior a 20 %, mas a perigosidade esteja nas classes “Alta” e “Muito alta”, manter-se-ão os 10 m de cada lado. Nas restantes vias, quando o declive for inferior a 5 % e o uso do solo contíguo à faixa outro que não matos ou povoamentos florestais admite-se também a possibilidade de redução para 5m. Com declive entre 5 e 20 % sugere-se a manutenção dos 10m em ambos os lados.

Como se referiu anteriormente, a velocidade e a intensidade do fogo em percurso descendente não diferem grandemente em função do declive, i.e., os valores registados para a propagação do fogo quando desce uma encosta com declive maior ou menor do que 20% é praticamente igual. No entanto, o fluxo de calor sentido na estrada é menor para declives inferiores, uma vez que a frente de chama se localiza numa cota superior. Por esse motivo se indica uma largura da FGC que pode ser inferior na encosta descente para um declive maior do que 20%, relativamente à mesma encosta para um declive menor do que 20%.

Faz-se aqui uma chamada de atenção para o caso particular dos túneis nas vias de comunicação. A vegetação nas imediações das suas entradas deve ser alvo de atenção especial, e deve ser sempre bem gerida, com pelo menos 10m de largura e independentemente do declive. A combustão da vegetação perto das entradas dos túneis pode levar à entrada forçada de gases quentes para os mesmos, podendo causar danos nos utilizadores.

8 Sessões de auscultação a entidades

O projeto previa a realização de 4 sessões de auscultação às diferentes entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis da rede secundária. Estas sessões foram originalmente idealizadas de acordo com o tipo de estrutura, sendo definidas 4:

1. Redes viária e ferroviária
2. Transporte e distribuição de energia
3. Edificações e aglomerados populacionais
4. Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

Convidámos para estas sessões as seguintes instituições:

1. ForestWISE
2. AGIF
3. ICNF
4. ANEPC
5. GNR/UEPS
6. Infraestruturas de Portugal – Rede ferroviária
7. Infraestruturas de Portugal – Rede rodoviária
8. Brisa
9. Ascendi
10. Associação Nacional de Municípios
11. REN (Redes Energéticas Nacionais)
12. EDP Comercial
13. E-Redes
14. Município 1 – Bragança
15. Município 2 – Lousã
16. Município 3 – Mafra
17. Município 4 – Évora
18. Município 5 – Monchique
19. Município 6 – Loulé
20. Município 7 – Penela
21. Associação Nacional de Municípios
22. Federação de Campismo e Montanhismo de Portugal
23. ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
24. Agência Portuguesa do Ambiente
25. IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, IP
26. Associação da Indústria Portuguesa
27. Confederação Empresarial de Portugal
28. AICEP Global Parques

Apesar de a realização das sessões estar prevista ser *online*, infelizmente não nos foi possível obter um nível de participação das entidades que nos permitisse o aproveitamento das suas intervenções. Apenas obtivemos resposta positiva de 5 das 25 instituições que convidámos. Um dos maiores constrangimentos, que tinha já sido identificado no relatório de progresso, prendeu-se com o tempo muito curto de execução do projeto, que nos impossibilitou o planeamento atempado destes encontros de trabalho. Desta forma, optámos por uma solução alternativa, que consistiu na realização de um questionário onde pedimos que fossem abordados os mesmos tópicos que seriam nas intervenções presenciais. As questões às quais solicitámos resposta foram:

- 1) *Nome e cargo do respondente (opcional)*
- 2) *Nome da entidade que representa*
- 3) *Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?*
 - *Redes viária e ferroviária*
 - *Transporte e distribuição de energia*
 - *Edificações e aglomerados populacionais*
 - *Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)*
- 4) *No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:*
 - *Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?*
 - *Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?*
 - *Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?*
- 5) *Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se tratade encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?*
- 6) *Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?*
- 7) *Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?*

A participação das entidades ficou muito aquém das expetativas, e não obtivemos respostas suficientes que nos permitissem retirar alguma ilação. Ainda assim, em anexo apresentamos as que nos chegaram.

Agradecemos aqui a participação, com a resposta ao questionário participativo, das seguintes entidades:

- AGIF
- ICNF
- Brisa
- REN (Redes Energéticas Nacionais)
- Município de Mafra
- Município de Loulé
- Município de Penela

9 Caminhos para a inovação

Embora o presente projeto seja de investigação e desenvolvimento, não podemos deixar de evidenciar aqui o contributo que as sugestões apresentadas podem dar para o *Programa Nacional de Ação* (PNA) do *Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais*.

O PNA desenvolve-se em quatro orientações estratégicas, que aqui transcrevemos na íntegra (AGIF, 2021):

1. **Valorizar os espaços rurais:** em 2030, Portugal terá um sistema que monitorizará a cobertura e ocupação do solo, fornecerá publicamente informação quantificada dos ativos florestais e do risco de incêndio e contará com um Sistema Nacional de Informação Cadastral.
2. **Cuidar dos espaços rurais:** preveem-se iniciativas que permitirão manter tratados 1,2 Milhões de hectares, até 2030, através da maquinaria, pastorícia ou fogo controlado, e assegurem que a exploração florestal de pinhais, eucaliptais e montados sejam objeto de gestão ativa. As áreas que arderem com mais de 500 ha terão planos de emergência e recuperação executados e mais de 80% dos aglomerados rurais e interface urbano-florestal prioritários estarão adaptados ao fogo.
3. **Modificar comportamentos:** serão reduzidas em 80% as ignições (intencionais e negligentes) nos dias de elevado risco de incêndio, face à média 2010-2019, e prevê-se que a totalidade do território com maior risco de incêndio esteja coberto com mecanismos de vigilância e que 100% das escolas do 1.º e 2.º ciclos do ensino básico tenham um programa de educação para o fogo.
4. **Gerir o risco eficientemente:** o PNA prevê que em 2030 as instituições sejam reforçadas em recursos humanos qualificados e mecanismos de governança e gestão do risco, permitindo que cerca de 80% do programa de qualificação esteja concretizado e que 10.000 agentes do SGIFR operem com base em formação revista e certificada. Prevê-se ainda que os reacendimentos não sejam superiores a 1%.

Estas orientações estratégicas são materializadas através da promoção de programas, projetos e iniciativas que contribuam para alcançar os objetivos nelas descritos. Para contribuir para este desígnio, o presente projeto, intitulado “*Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária*”, enquadra-se na segunda orientação estratégica (*Cuidar dos Espaços Rurais*), nomeadamente nos Objetivos Estratégicos, Programas e Projetos especificados na Tabela 35 (RCM n.º71-A/2021, 2021).

A incorporação das sugestões e medidas agora reportadas reveste-se, a nosso ver, de grande importância para o cumprimento das metas atrás referidas. Não apresentando soluções ou receitas gerais, antes apresentam-se ferramentas que permitam uma decisão fundamentada das Entidades Nacionais com responsabilidades na implementação do PNA.

Tabela 35. Contributos do presente projeto para o PNA

Objetivo Estratégico	Programa	Projeto	Objetivo	Medida(s) em que se enquadra
2.2. Diminuir a carga de combustível à escala da paisagem	2.2.1. Executar o programa plurianual de gestão de combustível	2.2.1.3 Garantir a gestão da rede secundária	Reduzir os efeitos da passagem de incêndios, protegendo de forma passiva vias de comunicação, infraestruturas e equipamentos de interesse público	Rever normas técnicas para a gestão de combustível em Rede Secundária
2.3. Aumentar a eficácia da proteção das populações e do território edificado	2.3.1. Apoiar a implementação dos programas de autoproteção de pessoas e infraestruturas	2.3.1.1 Revisão e implementação das regras das redes de defesa pelos privados	Rever e implementar as regras assegurando um equilíbrio entre o esforço e o risco subjacente aos territórios rurais em que se inserem	Revisão das regras de definição e cumprimento das redes de defesa pelos proprietários privados no sentido de alinhar o esforço dedicado com o risco de incêndio subjacente aos territórios rurais identificados
		2.3.1.2 Gestão de combustível nos aglomerados rurais e envolvente de áreas edificadas	Assegurar a gestão de combustível nos aglomerados rurais e envolvente de áreas edificadas, particularmente com elevada percentagem de espaços rurais e grande dispersão populacional, e incentivar os proprietários agrícolas locais a assumirem faixas de gestão como forma de obterem novo rendimento	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de uma aplicação que ajuda o proprietário a executar a faixa de forma correta, inspirada em www.firesmartcanada.ca - Promover os benefícios de assumir responsabilidade pelas faixas de gestão – como uma fonte de rendimento adicional e de forma a reduzir o risco de incêndio e preservar os recursos locais - Garantir gestão nos aglomerados rurais e envolvente de áreas edificadas

10 Conclusão

O presente relatório constitui-se como o documento final resultante do projeto “Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária”. Ao longo dos **Capítulos 3 a 6** fazemos uma revisão sobre o conhecimento científico mais atual em termos de Interface Urbano-Florestal, da vulnerabilidade das estruturas aos incêndios ou das melhores práticas internacionais e apresentamos a análise de diversos casos de estudo de zonas de interface afetadas por incêndios. A informação contida nestas secções permitiu-nos desenvolver, no **Capítulo 7**, um conjunto de ideias e sugestões acerca da planificação da gestão de combustíveis ao longo das estruturas associadas à rede secundária de faixas de gestão de combustíveis, nomeadamente a frequência com que devem ser executadas e as dimensões mais apropriadas. O critério principal que prevaleceu na nossa análise foi sempre o do comportamento expectável do fogo nas imediações destas estruturas.

Dividimos as estruturas da rede secundária em 3 grupos, consoante a sua natureza: pontuais (por exemplo, edificações), poligonais (por exemplo, povoações ou parques industriais) e lineares (por exemplo, linhas elétricas ou vias de comunicação).

Apresentámos critérios de otimização da frequência da gestão de combustíveis nas faixas da rede secundária em função do tipo de combustível. Para o caso específico das herbáceas, identificámos a necessidade de critérios diferenciados em função do regime de precipitação observado em cada ano.

Apresentámos critérios de dimensionamento das faixas de gestão em função do declive, por ser o parâmetro que influencia o comportamento do fogo mais exequível de incluir em opções legislativas ou em processos de verificação ou fiscalização. Apresentámos também sugestões, que embora possam ser difíceis de legislar, poderiam ser tidas em consideração pelas Autoridades Portuguesas com responsabilidades nesta matéria.

Identificamos em seguida os pontos chave que nos merecem destaque desta análise, obviamente sem o detalhe apresentado nos respetivos Capítulos:

- Vários países com problemas de incêndios na IUF têm programas fortes de incentivo e sensibilização e treino relativamente à gestão de combustíveis, ao invés de os impor através de legislação.
- Existem programas de referência a nível internacional, como o *Firewise* e o *Firesmart* que utilizam o conceito de *Home Ignition Zone*, ou *HIZ*, (Zona de Ignição da Casa, ou simplesmente Espaço Defensável) para simplificar o processo de gestão de combustíveis.
- A HIZ prevê três zonas de atuação, a contar da estrutura para o exterior: a primeira pretende criar uma separação física entre vegetação e estrutura, a segunda limitar a progressão do fogo e a sua intensidade através da gestão total de combustíveis e a terceira aumentar a probabilidade de as casas resistirem a um incêndio florestal, tal como as anteriores, e ao mesmo tempo melhorar a segurança e eficácia das forças de combate que necessitem de as defender, através da quebra de continuidade horizontal e vertical da vegetação.
- O facto de um incêndio florestal atingir uma zona de IUF, não significa necessariamente que irá provocar a destruição das estruturas que ali se localizem. O grau de dano, ou a sua ausência, não é determinada apenas pelo comportamento geral do fogo ou pela distância das projeções de partículas incandescentes, mas está dependente de um conjunto de fatores, fundamentalmente relacionados com a resistência da estrutura, a sua manutenção, o espaço envolvente à mesma, a existência de sistemas ativos ou passivos de defesa e até a capacidade de atuação do proprietário ou de outras pessoas, incluindo os Bombeiros, que possam estar presentes.
- Na preparação do espaço defensável, a gestão de combustíveis deve contemplar a totalidade da área envolvente à edificação. A gestão de combustíveis parcial, por exemplo apenas num dos lados, tem um efeito muito reduzido ou nulo no impacto do fogo na estrutura.

- Sempre que a largura da FGC extravase os limites da propriedade de implantação do edifício, sugerimos que seja o proprietário do edifício a acarretar com a responsabilidade e as despesas das operações de gestão, mesmo que parte da FGC intercepe outra propriedade que não seja da sua pertença, salvo quando o titular do terreno vizinho não permitir que estas operações sejam efetuadas por outrem no seu terreno. Em caso de sobreposição de necessidades de FGC, os custos das operações de gestão deveriam ser repartidos em razão da proporção de área a gerir.
- Tendo em conta a dificuldade em assegurar uma gestão continuada de combustíveis em toda a extensão da rede secundária, e para facilitar a gestão de combustíveis pelos privados, sugere-se a criação de uma figura semelhante à existente em França, as “associações livres de proprietários” que num regime de cooperação asseguram a gestão de combustíveis dos imóveis dos seus associados.
- Não encontramos evidência técnica ou científica que justifique grandes espaçamentos entre copas de árvores, por exemplo os 10m aplicados ao pinheiro bravo e ao eucalipto. Sugerimos que estes critérios sejam revistos.
- Na maioria dos casos de estudo apresentados a destruição de casas não está associada a comportamento extremo do fogo diretamente na IUF, mas antes a fogo de superfície em conjunto com as projeções que podem viajar dezenas, centenas ou milhares de metros. A deposição de fagulhas em partes sensíveis das estruturas ou em acumulações de combustíveis encostadas a elas ou nos telhados é na realidade o principal método de ignição de edificações.
- Na análise a mais de 40.000 casas afetadas por incêndios na IUF, na Califórnia, praticamente todas as estruturas que foram registadas com um espaço defensável superior a 30m foram destruídas. Tal sugere que a sobrevivência não está garantida quando o espaço defensável é muito grande, e que provavelmente é mais importante o espaço mais próximo das casas. A maioria das casas arde por deposição de partículas incandescentes que normalmente foram originadas fora do espaço defensável.
- A dimensão atual da faixa de gestão nas edificações aparenta ser excessiva, e não encontramos suporte técnico ou científico que justifique a adoção de mais de 30m de faixa.
- Se pretendêssemos dimensionar as faixas de gestão de combustíveis para o pior cenário, teríamos que gerir vegetação numa largura de muitas dezenas ou mesmo centenas de metros em quase toda a extensão da rede secundária, independentemente de se tratar de estruturas/infraestruturas pontuais, poligonais ou lineares, o que não é viável.
- As melhores práticas internacionais, bem como a análise da literatura científica e técnica, levam-nos a sugerir a adoção do conceito de zonamento, à semelhança da referida HIZ, para o espaço envolvente às estruturas. Sugerimos a adoção de 3 zonas, cujas dimensões e critérios de gestão são variáveis em função da tipologia de estrutura e do declive.
- A eliminação física do combustível nos primeiros 1,5m a 2m contíguos às paredes, diminui muito a probabilidade de ignição.
- O estabelecimento de uma distância mínima, não inferior a 3m, entre as construções e as sebes vivas constituídas por espécies mais inflamáveis (conforme as referências aqui apresentadas dos projetos WUIVIEW e House Refuge).
- As estruturas podem entrar em ignição horas depois de o fogo passar, caso o espaço defensável não esteja bem gerido e não exista esta separação física entre a estrutura e os combustíveis.
- Pelo menos para as edificações que se encontrem nas proximidades de espaços florestais, ou rurais (por exemplo até 1 km), onde a possibilidade de ocorrência de incêndios é real, recomenda-se a adoção de boas práticas na construção, a manutenção da faixa perimetral de 1,5m a 2m e até a boa seleção de espécies de jardim, para todos, não distinguindo entre edificações isoladas, na periferia ou no interior dos aglomerados.

- É importante promover o aumento da resistência estrutural das edificações, que deve seguir um conjunto de boas práticas, por exemplo usando materiais resistentes ao fogo, proteções anti fagulha em respiradouros ou outras aberturas, janelas de vidro duplo complementadas com persianas de alumínio ou outro material ignífugo, etc. Fazemos aqui referência ao estudo que o ForestWISE se encontra a realizar intitulado “*Regras para o edificado e envolvente nos territórios rurais*”, que, à semelhança deste, será entregue à AGIF oportunamente.
- Várias instalações industriais originam um tipo específico de IUF, onde as vulnerabilidades são potencialmente maiores e os prejuízos associados às perdas também. Nestas zonas deve ser promovida a melhoria da proteção das edificações: incorporação de materiais resistentes ao fogo, diminuição dos pontos vulneráveis, eliminação de acumulação de materiais combustíveis no espaço contíguo, instalação de medidas ativas e/ou passivas de mitigação do risco de incêndio.
- A simulação do comportamento do fogo sugere que a topografia deve influenciar a dimensão das faixas de gestão de combustíveis, usando como limiar um declive de 20%. Acima deste valor a dimensão da faixa de gestão deve ser reforçada na encosta ascendente, ou seja, por baixo das estruturas, assumindo uma propagação do fogo “a subir a encosta” em direção às mesmas. Do mesmo modo pode ser diminuída na descendente, ou seja, por cima das estruturas, assumindo uma propagação do fogo “a descer a encosta” em direção às mesmas.
- Nas infraestruturas lineares associadas à rede viária, em especial na Rede Municipal, admitimos a dificuldade em cumprir a legislação na sua totalidade, pelo que aceitamos que, para declives menores que 20%, a dimensão da faixa de gestão possa ser reduzida a metade, dependendo do índice de perigosidade conjuntural de incêndio da região.
- O mesmo pode ser aceitável para as situações em que nas imediações da rede viária existam usos do solo que limitam a progressão do fogo, por exemplo, a grande maioria dos terrenos agrícolas, pomares com gradagens ou qualquer uso artificial. Nestes casos as FGC podem limitar-se a cumprir a função de promoção da segurança rodoviária e minimização da probabilidade de ignições causadas pelos utilizadores.
- Já nas infraestruturas ligadas às redes de transporte e distribuição de energia elétrica, a função das FGC é proteger a própria infraestrutura e evitar ignições, havendo critérios como a proximidade de árvores aos cabos, que não nos permitem sugerir alterações de melhoria que não seja fazer equiparar a Faixa de Servidão/Proteção destas infraestruturas às FGC. No entanto é fundamental o cumprimento da legislação existente.
- Na rede de transporte de gás, a FGC serve sobretudo o propósito de sinalização do seu traçado, e também não se nos oferece sugerir qualquer alteração que não seja equiparar a FGC à respetiva Faixa de Servidão/Proteção da infraestrutura. No entanto é fundamental o cumprimento da legislação existente.
- A gestão de combustíveis é especialmente necessária em terrenos ocupados com mato, cuja combustão exhibe um comportamento muito mais intenso do que em terrenos com herbáceas ou folhada de povoamentos, sobretudo se se encontrarem sob coberto de arvoredo.
- A gestão da vegetação herbácea devia idealmente ser feita em função da pluviosidade observada na primavera, podendo o limite temporal ser estendido em anos com pluviosidade tardia acentuada, ou encurtado em anos com períodos de seca na primavera que façam antever uma antecipação dos dias de risco de incêndio elevado.
- Para manter o comportamento expectável do fogo em níveis compatíveis com a capacidade de controlo, sugerimos que a carga arbustiva se mantenha em valores inferiores a 8-10 t/ha. Tal sugere que, a manter os 0,5m de altura máxima, não haja continuidade horizontal e que os ciclos de corte sejam de 2 a 4 anos.
- A gestão do coberto arbóreo não necessita de um ciclo definido, antes deve ser monitorizado e deve ser observada a legislação, caso exista, e as operações de corte e desrama, quando aplicáveis, efetuadas em consonância com a mesma ou com os critérios existentes de

prevenção de incêndios na interface urbano florestal.

- Devia ser incentivado o uso de sistemas ativos ou passivos de autodefesa em estruturas ou infraestruturas críticas ou estratégicas, ou de interesse especial, por exemplo, torres de telecomunicações, estações ou subestações de distribuição de energia, polígonos industriais, áreas de serviço das autoestradas e itinerários principais.

11 Agradecimentos

Durante a pesquisa para este trabalho, foram contactados investigadores dos países aqui abordados, que gentilmente nos apoiaram com indicação de bibliografia sobre as temáticas versadas, bem como alguns esclarecimentos acerca das práticas dos seus respetivos países. Expressamos o nosso agradecimento, por ordem alfabética, a:

- *Alexander Maranghides, Fire Research Division, Engineering Laboratory. National Institute of Standards and Technology (NIST), EUA.*
- *David Caballero, Consultor Internacional, especialista em incêndios de IUF. Madrid, Espanha.*
- *Gavriil Xanthopoulos, Research Director - Forest Fires. Hellenic Agricultural Organization "Demeter" Institute of Mediterranean & Forest Ecosystems. Grécia.*
- *Jack Cohen, Research Physical Fire Scientist, USDA Forest Service Missoula Fire Sciences Laboratory (Retirado), EUA.*
- *Lynn Johnston, Canadian Forest Service, Canadá.*
- *Marty Alexander, Adjunct Professor Wildland Fire Science and Management, Department of Renewable Resources, Alberta School of Forest Science and Management University of Alberta. Senior Fire Behavior Research Officer (Retired) Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre Edmonton, Alberta, Canadá.*
- *Mike Flannigan, Head Research, Thompson Rivers University, British Columbia. Emeritus Professor, University of Alberta. Canada.*
- *Raphaelae Blanchi, Research Scientist CSIRO Land & Water, Australia.*

12 Referências

- Agee, J. K. and Skinner, C. N. (2005). Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211(1–2), 83–96. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034>
- Ager, A. A.; Vaillant, N. M. and Finney, M. A. (2010). A comparison of landscape fuel treatment strategies to mitigate wildland fire risk in the urban interface and preserve old forest structure. *Forest Ecology and Management*, 259(8), 1556–1570. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.032>
- AGIF. (2021). Programa Nacional de Ação (PNA). Retrieved September 8, 2021, from <https://www.agif.pt/pt/programa-nacional-de-acao>
- Alexander, M. E. and Lanoville, R. A. (1989). Predicting fire behavior in the black spruce-lichen woodland fuel type of western and northern Canada. In *For. Can., North. For. Cent., Edmonton, Alberta, and Gov. Northwest Territ., Dep. Renewable Resour., Territ. For. Fire Cent., Fort Smith, Northwest Territories. Poster (with text)*.
- Alexander, M. E.; Mutch, R. W.; Davis, K. M. and Bucks, C. M. (2017). Wildland fires: Dangers and survival. In P. S. Auerbach (Ed.), *Auerbach's Wilderness Medicine* (7th ed., pp. 276–318). Elsevier, Philadelphia, PA.
- Almeida, M.; Pinto, C.; Prates, P.; Rodrigues, A.; Oliveira, R.; Ribeiro, L. M. and Viegas, D. X. (2019). Mechanisms of fire propagation to industrial facilities affected by the major wildfire events occurred in Portugal on 15/Oct/2017. In *Incendios Forestales: Amenazas y oportunidades ante los desafíos de un entorno cambiante. Colección: SINIF-Incendios Forestales, Nº 2. 24-25 Oct.* Alicante, Spain: SINIF.
- Almeida, Miguel. (2011). *Propagação de incêndios florestais por focos secundários*. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica na Especialidade de Riscos Naturais e Tecnológicos. Universidade de Coimbra.
- Anderson, H. E. (1982). *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah 84401.
- Andrews, P. L. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *International Journal of Wildland Fire*, 23(1), 21. <http://doi.org/10.1071/WF12167>
- ANPC. (2018). *Aldeia Segura Pessoas Seguras - Guia de Apoio à Implementação*. Autoridade Nacional de Proteção Civil. Retrieved from <http://www.prociv.pt/bk/EDICOES/OUTRASEDICOES/Documents/Guia de Apoio a Implementacao Web.pdf>
- Aranha, J.; Calvão, A.; Lopes, D. and Viana, H. (2012). Quantificação da biomassa consumida nos últimos 20 anos de fogos florestais no Norte Portugal. *Revista Informativa Da Ordem Dos Engenheiros REGIÃO NORTE*, 44–49. Retrieved from <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/1192>
- Ascoli, D. and Bovio, G. (2010). Appraising fuel and fire behaviour for prescribed burning application in heathlands of Northwest Italy. In D.X. Viegas (Ed.), *VI International Conference Forest Fire Research*. Coimbra. Portugal.
- Australian Institute for Disaster Resilience. (2021). Ash Wednesday Bushfire - VIC/SA 1983 | Australian Disasters. Retrieved July 20, 2021, from <https://knowledge.aidr.org.au/resources/bushfire-ash-wednesday-victoria-and-south-australia-1983/>

- Bar Massada, A.; Radeloff, V. C. and Stewart, S. I. (2011). Allocating fuel breaks to optimally protect structures in the wildland-urban interface. *International Journal of Wildland Fire*, 20(1), 59–68. <http://doi.org/10.1071/WF09041>
- Beck, J. and Simpson, B. (2007). Wildfire Threat Analysis and the Development of a Fuel Management Strategy for British Columbia Session. In *Wildfire 2007*. Sevilla. Spain.
- Benali, A.; Sá, A. C. L.; Pinho, J.; Fernandes, P. M. and Pereira, J. M. C. (2021). Understanding the Impact of Different Landscape-Level Fuel Management Strategies on Wildfire Hazard in Central Portugal. *Forests*, 12(5), 522. <http://doi.org/10.3390/f12050522>
- Blanchi, R.; Leonard, J. E. and Leicester, R. H. (2006). Lessons learnt from post-bushfire surveys at the urban interface in Australia. *Forest Ecology and Management*, 234, S139. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.184>
- Blanchi, R.; Leonard, J.; Haynes, K.; Opie, K.; James, M.; Kilinc, M.; Dimer de Oliveira, F. and Van den Honert, R. (2012). *Life and house loss database description and analysis Final report*. CSIRO, Bushfire CRC report to the Attorney-General's Department. CSIRO EP-129645.
- Blanchi, R.; Leonard, J.; Haynes, K.; Opie, K.; James, M. and Oliveira, F. D. de. (2014). Environmental circumstances surrounding bushfire fatalities in Australia 1901-2011. *Environmental Science and Policy*, 37, 192–203. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.013>
- Blanchi, R.; Maranghides, A. and England, J. R. (2019). Lessons Learnt from Post-Fire Surveys and Investigations. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1–14). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_46-1
- Botequim, B.; Zubizarreta-Gerendiain, A.; Garcia-Gonzalo, J.; Silva, A.; Marques, S.; Fernandes, P. M. P. M.; Pereira, J. M. C. J. M. C. and Tomé, M. (2014). A model of shrub biomass accumulation as a tool to support management of portuguese forests. *IForest*, 8(2), 114–125. <http://doi.org/10.3832/ifor0931-008>
- BRP. (2008). *The Blue Ribbon Panel on Wildland/Urban Interface Fire*. Blue Ribbon Panel. International Code Council (ICC), USA.
- Butler, B. W. (2014). *A study of the impact of slope and wind on firefighter safety zone effectiveness. Final report for JFSP Project 07-2-1-10*. Missoula, MT (USA).
- Butler, B. W. (2018). A review of current status of efforts to reduce firefighter entrapments in the US. In *V Short course on fire safety: "fire safety at the WUI"*. Held at the VIII International Conference on Forest Fire Research. Coimbra, Portugal.
- Butler, B. W. (2020). Safety Zone. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (p. 21). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_25-1
- Butler, C. P. (1974). The urban/wildland fire interface. In *Proceedings of Western States Section/ Combustion Institute papers, vol. 74, no. 15. May 6-7*. Spokane, WA (USA): Pullman, WA: Washington State University.
- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. In K. P. Davis (Ed.), *Forest Fire: Control and Use* (pp. 61–89). New York (USA): McGrawHill.
- Caballero, D. (2019). Mati Fire. Unpublished Report.
- Caballero, D. (2020). WUI fires in Europe: analysis of recent episodes. The case of Mati (Greece) July 2018. In *1st WUIVIEW International Workshop*. Coimbra. Portugal.

- Caggiano, M. D.; Hawbaker, T. J.; Gannon, B. M. and Hoffman, C. M. (2020). Building Loss in WUI Disasters: Evaluating the Core Components of the Wildland–Urban Interface Definition. *Fire*, 3(4), 73. <http://doi.org/10.3390/fire3040073>
- Calkin, D. E.; Cohen, J. D.; Finney, M. A. and Thompson, M. P. (2014). How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 746–751. <http://doi.org/10.1073/pnas.1315088111>
- Casal, J. and Salla, J. M. (2006). Using liquid superheating energy for a quick estimation of overpressure in BLEVEs and similar explosions. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1321–1327. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.001>
- CNN. (2021). Canada wildfires: Lytton in British Columbia devastated a day after temperatures topped 121 degrees. Retrieved July 20, 2021, from <https://edition.cnn.com/2021/07/01/americas/canada-town-evacuation-extreme-heat/index.html>
- Cohen, J. D. (1995). Structure Ignition Assessment Model (SIAM). In R. E. Weise, David R.; Martin (Ed.), *The Biswell Symposium: Fire Issues and Solutions in Urban Interface and Wildland Ecosystems* (pp. 85–92). Walnut Creek, California. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-158. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Cohen, J. D. (1998). An experimental assessment of wildland fire threat to structures. In D.X. Viegas (Ed.), *14th Conference on Fire and Forest Meteorology. November 16-20. Luso, Portugal.*
- Cohen, J. D. (2000a). Examination of the Home Destruction in Los Alamos Associated with the Cerro Grande Fire, 1–6. <http://doi.org/http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/4686>
- Cohen, J. D. (2000b). Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, 98(3), 15–21.
- Cohen, J. D. (2000c). What is the Wildland Fire Threat to Homes? In *Presented at the Thompson Memorial Lecture. School of Forestry. April 10, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ (USA).*
- Cohen, J. D. (2004). Relating flame radiation to home ignition using modeling and experimental crown fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(8), 1616–1626. <http://doi.org/10.1139/x04-049>
- Cohen, J. D. (2008). The wildland-urban interface fire problem: A consequence of the fire exclusion paradigm. *Forest History Today*, (Fall), 20–26.
- Cohen, J. D. (2016). *An Examination of Home Destruction - Roaring Lion Fire. Bitterroot Mountains, Montana.* Montana Department of Natural Resources and Conservation.
- Cohen, J. D. and Butler, B. W. (1996). Modeling potential structure ignitions from flame radiation exposure with implications for wildland/urban interface fire management. In *13th Fire and Forest Meteorology Conference* (pp. 81–87). Lorne, Australia: International Association of Wildland Fire.
- Cohen, J. D. and Stratton, R. D. (2008). *Home Destruction Examination Grass Valley Fire.* United States Department of Agriculture. R5-TP-026b.
- Conard, S. G.; Hartzell, T.; Hilbruner, M. W. and Zimmerman, G. T. (2001). Changing fuel management strategies - The challenge of meeting new information and analysis needs. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 267. <http://doi.org/10.1071/WF01027>
- Countryman, C. M. (1972). *The fire environment concept.* Berkeley, CA (USA): USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.

- Cruz, M. G. (2005). Guia Fotográfico para Identificação de Combustíveis Florestais - Região Centro de Portugal. *Centro de Estudos Sobre Incêndios Florestais. Associação Para o Desenvolvimento Da Aerodinâmica Industrial. Universidade de Coimbra.*
- Cruz, M. G.; Alexander, M. E. and Wakimoto, R. H. (2003). Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 39. <http://doi.org/10.1071/WF02024>
- DGT. (2018). *Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 1995, 2007 e 2010*. Relatório Técnico. Direção-Geral do Território: Relatório Técnico. Direção-Geral do Território. Coordenação: Mário Caetano, Cristina Igreja e Filipe Marcelino.
- Efthimiou, N.; Psomiadis, E. and Panagos, P. (2020). Fire severity and soil erosion susceptibility mapping using multi-temporal Earth Observation data: The case of Mati fatal wildfire in Eastern Attica, Greece. *CATENA*, 187, 104320. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104320>
- Enes, T.; Lousada, J.; Fonseca, T.; Viana, H.; Calvão, A. and Aranha, J. (2020). Large scale shrub biomass estimates for multiple purposes. *Life*, 10(4). <http://doi.org/10.3390/life10040033>
- Fernandes, P. (2018). Parecer técnico relativo ao Decreto-Lei nº 10 / 2018 , de 14 de fevereiro : critérios para a gestão de combustíveis na rede secundária.
- Fernandes, P. A. M. (2006). Silvicultura preventiva e gestão de combustíveis: Opções e optimização. In *Incêndios Florestais em Portugal* (pp. 327–354).
- Fernandes, P. A. M. and Rego, F. C. (1998). Changes in fuel structure and fire behavior with heathland aging in northern Portugal. *13th Fire and Forest Meteorology Conference*.
- Fernandes, P.; Loureiro, C.; Botelho, H.; Ferreira, A. and Fernandes, M. (2002). Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana*, 10(1), 73–90. Retrieved from http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-63522002000100005&script=sci_arttext
- Fernandes, P.; Loureiro, C. and Fernandes, M. (2009). Modelos de Combustível Florestal para Portugal. In *6º Congresso Florestal Nacional* (pp. 348–354). Ponta Delgada: Sociedade Portuguesa De Ciências Florestais.
- Fernandes, P.M. (2002). Desenvolvimento de relações preditivas para uso no planeamento de fogo controlado em povoamentos de *Pinus pinaster* Ait., 268.
- Fernandes, Paulo M. (2007). Entender porque arde tanto a floresta em Portugal. In J. Silva (Ed.), *Proteger a Floresta - Incêndios, Pragas e Doença* (pp. 69–91). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.
- Fernandes, Paulo M. (2013). Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landscape and Urban Planning*, 110(1), 175–182. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.014>
- Fernandes, Paulo M.; Loureiro, C.; Guiomar, N.; Pezzatti, G. B.; Manso, F. T. and Lopes, L. (2014). The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *Journal of Environmental Management*, 146, 373–382. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.049>
- Fernandes, Paulo M. and Rigolot, E. (2007). The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management*, 241(1–3), 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.010>
- Firesmart Canada. (2019a). Critical Infrastructure Ignition Zone - poster. Retrieved June 22, 2021, from https://firesmartbc.ca/wp-content/uploads/2020/09/FS_CI-Ignition-Zone-Poster-11x17in.pdf

- Firesmart Canada. (2019b). *Firesmart Begins at Home - Manual*. Edmonton, Alberta, Canada. Retrieved from https://www.firesmartcanada.ca/wp-content/uploads/2019/10/FS_Generic-HomeOwnersManual_Booklet-November-2018-Web.pdf
- Firesmart Canada. (2019c). *Firesmart Home Ignition Zone - poster*. Retrieved from https://www.firesmartcanada.ca/wp-content/uploads/2019/10/FS_Home-Ignition-Zone-Poster.pdf
- Firesmart Canada. (2019d). *FireSmart Priority Zones - poster*. Retrieved June 22, 2021, from <https://firesmartbc.ca/wp-content/uploads/2019/04/FireSmart-Priority-Zones-full-poster.jpg>
- Firesmart Canada. (2021). About FireSmart | Our history, vision and goals. Retrieved July 5, 2021, from <https://www.firesmartcanada.ca/what-is-firesmart/about-firesmart/>
- FTC-WRC. (2012). *Final Report from the Flat Top Complex Wildfire Review Committee*. Flat Top Complex Wildfire Review Committee. Environment and Sustainable Resource Development.
- Ganteaume, A.; Jappiot, M.; Lampin, C.; Guijarro, M. and Hernando, C. (2013). Flammability of Some Ornamental Species in Wildland–Urban Interfaces in Southeastern France: Laboratory Assessment at Particle Level. *Environmental Management*, 52(2), 467–480. <http://doi.org/10.1007/s00267-013-0067-z>
- Gibbons, P.; van Bommel, L.; Gill, A. M.; Cary, G. J.; Driscoll, D. A.; Bradstock, R. A.; Knight, E.; Moritz, M. A.; Stephens, S. L. and Lindenmayer, D. B. (2012). Land management practices associated with house loss in wildfires. *PLoS ONE*, 7(1), e29212. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0029212>
- Goemans, M. and Ballamingie, P. (2013). Forest as hazard, forest as victim: Community perspectives and disaster mitigation in The aftermath of Kelowna’s 2003 wildfires. *Canadian Geographer*, 57(1), 56–71. <http://doi.org/10.1111/J.1541-0064.2012.00447.X>
- Gollner, M. J. (2020). Ignition-Resistant Communities. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1–3). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_227-1
- Gollner, M. J.; Hakes, R.; Caton, S. and Kohler, K. (2015). *Pathways for Building Fire Spread at the Wildland Urban Interface*. Quincy, Massachusetts, USA: Fire Protection Research Foundation.
- Gomes, F.; Rodrigues, J. P.; Santos, C.; Almeida, M.; Gois, J. and Lima, H. (2020). *Cenários Típicos de interface urbano-florestal na dual casa/envolvente*. Relatório nº2 do Projeto House Refuge - Atitudes e Comportamentos Face à Prevenção e Combate de Incêndios e a Gestão do Território, Incluindo a sua Vertente Colaborativa. Retrieved from <https://adai.pt/houserefuge/resultados>
- Graham, R.; Finney, M.; Mchugh, C.; Cohen, J. D.; Calkin, D.; Stratton, R.; Bradshaw, L. and Nikolov, N. (2012). *Fourmile canyon fire findings*. General Technical Report RMRS-GTR-289. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station.
- Guerreiro, J., Fonseca, C., Salgueiro, A., Fernandes, P., Lopez, E., de Neufville, R., Mateus, F., Castellnou, M., Silva J.S., Moura, J., Rego, F., Mateus, P. 2017. Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrógão Grande, Castanheira de Pêra, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã entre 17 e 24 de junho de 2017. Comissão Técnica Independente, Assembleia da República, Lisboa. https://www.parlamento.pt/Documents/2017/Outubro/RelatórioCTI_VF%20.pdf
- Haynes, K.; Short, K.; Xanthopoulos, G.; Viegas, D.; Ribeiro, L. M. and Blanchi, R. (2020). Wildfires and WUI Fire Fatalities. In S. L. Manzello (Ed.), *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_92-1

- Hemmatian, B.; Planas, E. and Casal, J. (2017). *Specific heat of the vapour Specific heat of the liquid at atmospheric-pressure boiling point E Explosion energy considering only the expansion of the vapour phase present before the burst. Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 1).
- Heymes, F.; Aprin, L.; Forestier, S.; Slangen, P.; Baptiste Jarry, J.; François, H. and Dusserre, G. (2013). Impact of a distant wildland fire on an LPG tank. *Fire Safety Journal*, 61, 100–107. <http://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.08.003>
- Hirsch, K. and Pengelly, I. (1998). Forest fuels management in theory and practice. In C. R. Bamsey (Ed.), *Stand Density Management: Planning and Implementation*. November 6-7, 1997, Edmonton, Alberta.
- Hughes, A. and Simak, M. (2019). Fires in the Rough: A Close Examination of the Fire Hazards in the Rural-Urban Fringe in Kelowna, B.C. In *Proceedings of the Annual Thompson Rivers University Undergraduate Research and Innovation Conference: Vol. 13: Iss.1, Article 7*. Retrieved from <https://digitalcommons.library.tru.ca/urcproceedings/vol13/iss1/7>
- ICNF. (2018). Faixas de Gestão de Combustíveis: edifícios isolados e aglomerados populacionais. Instituto de Conservação da Natureza e Florestas, IP. Lisboa.
- ICNF. (2021). Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais.
- Jain, T. B.; Battaglia, M. A.; Han, H. S.; Graham, R. T.; Keyes, C. R.; Fried, J. S. and Sandquist, J. E. (2012). A comprehensive guide to fuel management practices for dry mixed conifer forests in the Northwestern United States. *USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR*, (292 GTR), 1–331.
- Kalabokidis, K. and Palaiologou, P. (2019). Mediterranean Forest Fuels. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1–13). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_29-1
- Keeley, J. E. and Syphard, A. D. (2019). Twenty-first century California, USA, wildfires: fuel-dominated vs. wind-dominated fires. *Fire Ecology 2019 15:1*, 15(1), 1–15. <http://doi.org/10.1186/S42408-019-0041-0>
- Kumar, A. (2011). Katabatic Wind: In Relation With Snow and Glaciers. In *Encyclopedia of Earth Sciences Series* (Vol. Part 3, pp. 671–672). Springer, Dordrecht. http://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_314
- Landis, M. S.; Edgerton, E. S.; White, E. M.; Wentworth, G. R.; Sullivan, A. P. and Dillner, A. M. (2018). The impact of the 2016 Fort McMurray Horse River Wildfire on ambient air pollution levels in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Science of The Total Environment*, 618, 1665–1676. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.008>
- Leonard, J. and Blanchi, R. (2005). *Investigation of bushfire attack mechanisms involved in house loss in the ACT bushfire 2003*. CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology. Highett, Vic.
- Leonard, J.; Blanchi, R.; Lipkin, F.; Newnham, G.; Siggins, A.; Opie, K.; Culvenor, D.; Cechet, B.; Corby, N.; Thomas, C.; Habili, N.; Jakab, M.; Coghlan, R.; Lorenzin, G.; Campbell, D. and Barwick, M. (2009). *Building and land-use planning research after the 7th February 2009 Victorian bushfires*. Bushfire CRC.
- Leonard, J. E. and Bowditch, P. A. (2003). Findings of Studies of Houses Damaged by Bushfire in Australia. In *Wildland Fire Conference*. Sydney.
- Lourenço, L. and Rocha, J. (2010). Risco de ignição de incêndios florestais associado à circulação de material ferroviário em linhas de caminho de ferro. *Territorium*, (17), 71–81. http://doi.org/10.14195/1647-7723_17_7

- Manzello, Samuel L.; Shields, J. R.; Yang, J. C.; Hayashi, Y. and Nii, D. (2007). On the use of a firebrand generator to investigate the ignition of structures in wildland-urban interface (WUI) fires. In *Eleventh International Fire Science and Engineering Conference (INTERFLAM)*. London, UK, 3–5 September.
- Manzello, Samuel L. and Suzuki, S. (2017). Experimental investigation of wood decking assemblies exposed to firebrand showers. *Fire Safety Journal*, 92, 122–131. <http://doi.org/10.1016/J.FIRESAF.2017.05.019>
- Manzello, Samuel L. and Suzuki, S. (2021). Ignition vulnerabilities of combustibles around houses to firebrand showers: Further comparison of experiments. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–14. <http://doi.org/10.3390/su13042136>
- Manzello, Samuel L.; Suzuki, S.; Gollner, M. J. and Fernandez-Pello, A. C. (2020). Role of firebrand combustion in large outdoor fire spread. *Progress in Energy and Combustion Science*, 76, 100801. <http://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.100801>
- Manzello, Samuel L.; Suzuki, S. and Hayashi, Y. (2012). Exposing siding treatments, walls fitted with eaves, and glazing assemblies to firebrand showers. *Fire Safety Journal*, 50, 25–34. <http://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.01.006>
- Maranghides, A. and Mcnamara, D. (2016). *2011 Wildland Urban Interface Amarillo Fires Report #2 - Assessment of Fire Behavior and WUI Measurement Science*. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1909>
- Maranghides, A.; McNamara, D.; Vihnanek, R.; Restaino, J. and Leland, C. (2015). A Case Study of a Community Affected by the Waldo Fire – Event Timeline and Defensive Actions. *NIST Technical Note 1910*. <http://doi.org/10.6028/NIST.TN.1910>
- Maranghides, A. and Mell, W. (2011). A Case Study of a Community Affected by the Witch and Guejito Wildland Fires. *Fire Technology*, 47(2), 379–420. <http://doi.org/10.1007/s10694-010-0164-y>
- Martell, D. L. (2015). A Review of Recent Forest and Wildland Fire Management Decision Support Systems Research. *Current Forestry Reports*, 1(2), 128–137. <http://doi.org/10.1007/s40725-015-0011-y>
- McArthur, A. G. (1967). *Fire behaviour in eucalyptus forests*. Canberra: Forest Research Institute, Forestry and Timber Bureau.
- Mcleod, R. (2003). *Inquiry into the Operational Response to the January 2003 Bushfires in the ACT*.
- Mell, W. E.; Manzello, S. L.; Maranghides, A.; Butry, D. and Rehm, R. G. (2010). The wildland-urban interface fire problem - Current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 19(2), 238–251. <http://doi.org/10.1071/WF07131>
- Miller, C.; Plucinski, M.; Sullivan, A.; Stephenson, A.; Huston, C.; Charman, K.; Prakash, M. and Dunstall, S. (2017). Electrically caused wildfires in Victoria, Australia are over-represented when fire danger is elevated. *Landscape and Urban Planning*, 167(July 2016), 267–274. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.016>
- Miranda, P. M. A.; Valente, M. A.; Tomé, A. R.; Trigo, R.; Coelho, M. F. E. S.; Aguiar, A. and Azevedo, E. B. (2006). O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI. In F. D. Miranda & P. Santos (Eds.), *Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II* (pp. 49–113). Gradiva, Lisboa.
- Molina, J. R.; Lora, A.; Prades, C. and Rodríguez y Silva, F. (2019). Roadside vegetation planning and conservation: New approach to prevent and mitigate wildfires based on fire ignition potential. *Forest Ecology and Management*, 444, 163–173. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.034>

- Moreira, F.; Andersen, A.; Anderson, S. A. J.; Ascoli, D.; Baeza, J.; Barbati, A.; Duguay, B.; Finney, M.; Gill, M.; Keane, R.; Rigolot, E.; Ryan, K.; Williams, D. and Xanthopoulos, G. (2010). A comparison of landscape planning approaches and practices for strategic fuel management in southern Europe, Australia, New Zealand and the USA.
- Moreira, N. (2002). *Agronomia das Pastagens e Forragens*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Mylek, M. R. and Schirmer, J. (2020). Understanding acceptability of fuel management to reduce wildfire risk: Informing communication through understanding complexity of thinking. *Forest Policy and Economics*, 113, 102120. <http://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102120>
- NFPA. (2021a). How to Prepare Your Home for Wildfires.
- NFPA. (2021b). NFPA - Firewise USA®. Retrieved July 5, 2021, from <https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Wildfire/Firewise-USA>
- NFPA. (2021c). *Reducing wildfire risks in the home ignition zone*. Retrieved from <https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/certification/CWMS/ReducingWildfireRisksHIZ.ashx>
- Observatório Técnico Independente. (2019). *Racionalizar a gestão de combustíveis: uma síntese do conhecimento atual*. Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J.M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D.X., Caldeira D., e Duarte Santos F. - Coords. Assembleia da República. Lisboa.
- Observatório Técnico Independente. (2020). *Segurança das Comunidades em Incêndios Florestais - Uma Análise dos Programas “Aldeia Segura” e “Pessoas Seguras.”* Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J.M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D.X., Caldeira D., e Duarte Santos F. - Coords. Assembleia da República. Lisboa.
- Oliveira, T. M.; Barros, A. M. G.; Ager, A. A.; Fernandes, P. M. and E, P. M. F. (2016). Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission. *International Journal of Wildland Fire*, 25(6), 619–632. <http://doi.org/10.1071/WF15146>
- Olson, J. S. (1963). Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. *Ecology*, 44(2), 322–331. <http://doi.org/10.2307/1932179>
- Omi, P. N. (2015). Theory and practice of wildland fuels management. *Current Forestry Reports*, 1(2), 100–117. <http://doi.org/10.1007/s40725-015-0013-9>
- Page, W. G. and Butler, B. W. (2017). An empirically based approach to defining wildland firefighter safety and survival zone separation distances. *International Journal of Wildland Fire*, 26(8), 655–667. <http://doi.org/10.1071/WF16213>
- Pastor, E.; Muñoz, J. A.; Caballero, D.; Àgueda, A.; Dalmau, F. and Planas, E. (2020). Wildland–Urban Interface Fires in Spain: Summary of the Policy Framework and Recommendations for Improvement. *Fire Technology*, 56(5), 1831–1851. <http://doi.org/10.1007/s10694-019-00883-z>
- Penman, S. H.; Price, O. F.; Penman, T. D. and Bradstock, R. A. (2019). The role of defensible space on the likelihood of house impact from wildfires in forested landscapes of south eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 28(1), 4–14. <http://doi.org/10.1071/WF18046>
- Planas-Cuchi, E.; Salla, J. M. and Casal, J. (2004). Calculating overpressure from BLEVE explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17(6), 431–436. <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2004.08.002>
- Plucinsky, M. P. (2006). Fuel dynamics in shrub-dominated landscapes. In *Life In A Fire-Prone Environment: Translating Science Into Practice. Bushfire Conference 2006*. Brisbane, Australia.

- Porter, K.; Scawthorn, C. and Sandink, D. (2021). *An impact analysis for the National Guide for Wildland-Urban Interface Fires*. Prepared for the National Research Council of Canada. Institute for Catastrophic Loss Reduction, Toronto, Ontario.
- Pyne, S. J.; Andrews, P. L. and Laven, R. D. (1996). *Introduction to Wildland Fire*. Wiley, New York (USA).
- Quarles, S.; Leschak, P.; Hecker, L.; Page, S.; Mccaffrey, S.; Mowery, M.; Prudhomme, C.; Worley, K.; Durso, F.; Quarles, S. and Brown, R. (2013). *Lessons Learned from Waldo Canyon*. Fire Adapted Communities Mitigation Assessment Team Findings: Insurance Institute for Business & Home Safety.
- Ramsay, G. Caird; McArthur, N. A. and Dowling, V. P. (1987). Preliminary results from an examination of house survival in the 16 February 1983 Bushfires in Australia. *Fire and Materials*, 11(1), 49–51. <http://doi.org/10.1002/fam.810110105>
- Ramsay, G.C. (1985). How bushfires set houses alight lessons from Ash Wednesday. *Ecos*, 43.
- Raposo, J. (2016). *Extreme Fire Behaviour Associated with the Merging of Two Linear Fire Fronts*. PhD Thesis in Mechanical Engineering. Faculty of Sciences and Technology from the University of Coimbra.
- Raposo, J. R.; Viegas, D. X.; Xie, X.; Almeida, M.; Figueiredo, A. R.; Porto, L. and Sharples, J. (2018). Analysis of the physical processes associated with junction fires at laboratory and field scales. *International Journal of Wildland Fire*, 27(1), 52. <http://doi.org/10.1071/WF16173>
- Raposo, J.; Viegas, D. X.; Xie, X.; Almeida, M. and Naian, L. (2014). Analysis of the jump fire produced by the interaction of two oblique fire fronts: Comparison between laboratory and field cases. In *Analysis of the jump fire produced by the interaction of two oblique fire fronts: Comparison between laboratory and field cases* (pp. 88–94). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_8
- RCM n°71-A/2021. (2021). Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais. Presidência do Conselho de Ministros. Resolução do Conselho de Ministros n°71-A/2021.
- Rego, F. C. (1992). Land Use Changes and Wildfires. In *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes* (pp. 367–373). Dordrecht: Springer Netherlands. http://doi.org/10.1007/978-94-011-2866-7_33
- REN. (2019a). Servidão de Linhas de transporte de Eletricidade. Perguntas Frequentes. Retrieved from www.ren.pt
- REN. (2019b). Servidão de Linhas de transporte de Eletricidade. Perguntas Frequentes. Retrieved August 27, 2021, from [https://www.ren.pt/files/2015-09/2015-09-23165817_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353\\$\\$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd\\$\\$343a33c0-6b13-4d3f-b15b-cf342088c1bb\\$\\$File\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](https://www.ren.pt/files/2015-09/2015-09-23165817_7a820a40-3b49-417f-a962-6c4d7f037353$$7319a1b4-3b92-4c81-98d7-fea4bfefafcd$$343a33c0-6b13-4d3f-b15b-cf342088c1bb$$File$$pt$$1.pdf)
- Ribeiro, C.; Viegas, D. X.; Almeida, M.; Ribeiro, L. M.; Rodrigues, A.; Raposo, J. and Alves, D. (2019). Forest fuel management in wildland urban interface areas. In *Incendios Forestales: Amenazas y oportunidades ante los desafíos de un entorno cambiante*. Colección: SINIF-Incendios Forestales, N° 2. 24-25 Oct. Alicante, Spain: SINIF.
- Ribeiro, L. M. (2016). *Os incêndios na interface urbano-florestal em Portugal: uma análise de diagnóstico*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Dinâmicas sociais, riscos naturais e tecnológicos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Dinâmicas sociais, riscos naturais e tecnológicos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Ribeiro, L. M. and Almeida, M. (2020). Report on real scale experiments. Deliverable D2.1. Wuiview Project, (826522), 1–30.

- Ribeiro, L. M.; Caballero, D. and Oliveira, R. (2016a). Exploratory Tests on Structures Resistance During Forest Fires. In *5JORNINC - Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*. Lisboa.
- Ribeiro, L. M.; Caballero, D. and Oliveira, R. (2016b). Exploratory Tests on Structures Resistance During Forest Fires. *5JORNINC - Jornadas de Segurança Aos Incêndios Urbanos*.
- Ribeiro, L.M. (2011). Interface Urbano-Florestal. In D.X. Viegas (Ed.), *Incêndios Florestais*. Verlag Dasshöfer.
- Ribeiro, Luís M.; Rodrigues, A.; Lucas, D. and Viegas, D. X. (2020). The Impact on Structures of the Pedrógão Grande Fire Complex in June 2017 (Portugal). *Fire*, 3(4), 57. <http://doi.org/10.3390/fire3040057>
- Ribeiro, Luís M.; Viegas, D. X.; Almeida, M.; McGee, T. K.; Pereira, M. G.; Parente, J.; Xanthopoulos, G.; Leone, V.; Delogu, G. M. and Hardin, H. (2020). Extreme wildfires and disasters around the world: lessons to be learned. In F. Tedim, V. Leone, & T. McGee (Eds.), *Extreme Wildfire Events and Disasters* (pp. 31–51). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00002-3>
- Ricci, F.; Scarponi, G. E.; Pastor, E.; Planas, E. and Cozzani, V. (2021). Safety distances for storage tanks to prevent fire damage in Wildland-Industrial Interface. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 693–702. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.002>
- Rigolot, E.; Castelli, L.; Cohen, M.; Costa, M. and Duché, Y. (2003). Recommendations for fuel-break design and fuel management at the Wildland Urban Interface : an empirical approach in South Eastern France. In Gavriil Xanthopoulos (Ed.), *Forest Fires in the Wildland-Urban Interface and Rural Areas in Europe: An integral planning and management challenge*.
- Ronchi, E.; Wong, S.; Suzuki, S.; Theodori, M.; Wadhvani, R.; Vaiciulyte, S.; Gwynne, S.; Rein, G.; Kristoffersen, M.; Lovreglio, R.; Marom, I.; Ma, C.; Antonellis, D.; Zhang, X.; Wang, Z. and Masoudvaziri, N. (2021). *Case studies of large outdoor fires involving evacuations*. Emergency Management & Evacuation (EME) Subgroup, Large Outdoor Fires & the Built Environment (LOF&BE) Working Group of the International Association for Fire Safety Science. <http://doi.org/10.5281/ZENODO.4504853>
- Rosa, I. M. D.; Pereira, J. M. C. and Tarantola, S. (2011). Atmospheric emissions from vegetation fires in Portugal (1990–2008): estimates, uncertainty analysis, and sensitivity analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(6), 2625–2640. <http://doi.org/10.5194/acp-11-2625-2011>
- Rothermel, R. R. C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA Forest Service Research Paper INT USA. Ogden, Utah, USA: Research Paper INT-115. USDA Forest Service.
- Salis, M.; Del Giudice, L.; Arca, B.; Ager, A. A.; Alcasena-Urdiroz, F.; Lozano, O.; Bacciu, V.; Spano, D. and Duce, P. (2018). Modeling the effects of different fuel treatment mosaics on wildfire spread and behavior in a Mediterranean agro-pastoral area. *Journal of Environmental Management*, 212, 490–505. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.020>
- Scarponi, Giordano E; Vacca, P.; Pastor, E.; Planas, E. and Cozzani, V. (2020). Fire Hazards at the Wildland Urban Interface: a Perspective From the WUIVIEW Project. *Chemical Engineering Transactions*, 82. <http://doi.org/doi.org/10.3303/CET2082004>
- Scarponi, Giordano Emrys; Pastor, E.; Planas, E. and Cozzani, V. (2020). Analysis of the impact of wildland-urban-interface fires on LPG domestic tanks. *Safety Science*, 124, 104588. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104588>
- Stocks, B. J.; Alexander, M. E. and Lanoville, R. A. (2004). Overview of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). *Canadian Journal of Forest Research*, 34(8), 1543–1547. <http://doi.org/10.1139/x04-905>
- Sullivan, A. L.; Ellis, P. F. and Knight, I. K. (2003). A review of radiant heat flux models used in bushfire

applications. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 101. <http://doi.org/10.1071/WF02052>

- Syphard, A. D.; Brennan, T. J. and Keeley, J. E. (2014). The role of defensible space for residential structure protection during wildfires. *International Journal of Wildland Fire*, 23(8), 1165. <http://doi.org/10.1071/WF13158>
- Syphard, A. D. and Keeley, J. E. (2019). Factors Associated with Structure Loss in the 2013–2018 California Wildfires. *Fire*, 2(3), 49. <http://doi.org/10.3390/fire2030049>
- Tedim, Fantina; Leone, V.; Amraoui, M.; Bouillon, C.; Coughlan, M.; Delogu, G.; Fernandes, P.; Ferreira, C.; McCaffrey, S.; McGee, T.; Parente, J.; Paton, D.; Pereira, M.; Ribeiro, L.; Viegas, D. and Xanthopoulos, G. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1(1), 9. <http://doi.org/10.3390/fire1010009>
- The Guardian. (2021). Weatherwatch: Canada records its highest temperature. Retrieved July 20, 2021, from <https://www.theguardian.com/weather/2021/jul/08/weatherwatch-canada-records-its-highest-temperature>
- Tolhurst, K. G. and Chong, D. M. O. (2010). The importance of mass-ignition by spotting on wildfire behaviour – examples from the 2009 Black Saturday bushfires in Victoria Australia.
- Trabaud, L.; Michels, C. and Grosman, J. (1985). Recovery of burnt *Pinus halepensis* mill. forests. II. Pine reconstruction after wildfire. *Forest Ecology and Management*, 13(3–4), 167–179. [http://doi.org/10.1016/0378-1127\(85\)90032-5](http://doi.org/10.1016/0378-1127(85)90032-5)
- Tschirschwitz, R.; Krentel, D.; Kluge, M.; Askar, E.; Habib, K.; Kohlhoff, H.; Neumann, P. P.; Storm, S. U.; Rudolph, M.; Schoppa, A. and Szczepaniak, M. (2017). Mobile gas cylinders in fire: Consequences in case of failure. *Fire Safety Journal*, 91, 989–996. <http://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.006>
- Tschirschwitz, R.; Krentel, D.; Kluge, M.; Askar, E.; Habib, K.; Kohlhoff, H.; Krüger, S.; Neumann, P. P.; Storm, S. U.; Rudolph, M.; Schoppa, A. and Szczepaniak, M. (2018). Experimental investigation of consequences of LPG vehicle tank failure under fire conditions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 278–288. <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.09.006>
- Vacca, P.; Caballero, D.; Pastor, E. and Planas, E. (2020). WUI fire risk mitigation in Europe: a Performance-Based Design approach at home-owner level. *Journal of Safety Science and Resilience*, 1(2), 97–105. <http://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2020.08.001>
- Van Wagner, C. E. (1987). *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. *Forestry*. <http://doi.org/19927>
- Viana, H.; Fernandes, P.; Rocha, R.; Lopes, D. and Aranha, J. (2009). Dinâmicas da Biomassa e do Carbono Fixado em Algumas Espécies Arbustivas de Portugal. In *Proceedings of the 6º Congresso Florestal Nacional, Ponta Delgada, Portugal, 6–9 October 2009*; pp. 244–252.
- Viegas, D.X., Ribeiro, P.R., Cruz, M. G. (1998). Characterization of the combustibility of forest fuels. In *III International Conference on Forest Fire Research* (pp. 467–482).
- Viegas, D. X. and Raposo, J. (2019a). Canyons. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1–6). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_118-1
- Viegas, D. X. and Raposo, J. (2019b). Canyons. In *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1–6). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_118-1
- Viegas, D. X.; Soares, J. and Almeida, M. (2013). Combustibility of a mixture of live and dead fuel components. *International Journal of Wildland Fire*, 22(7), 992–1002. <http://doi.org/10.1071/WF12031>

- Viegas, D. X. (2005). A Mathematical Model For Forest Fires Blowup. *Combustion Science and Technology*, 177(1), 27–51. <http://doi.org/10.1080/00102200590883624>
- Viegas, D. X. (2006). Parametric study of an eruptive fire behaviour model. *International Journal of Wildland Fire*, 15(2), 169–177.
- Viegas, D.X.; Ribeiro, L. M. and Rossa, C. (2011). *Incêndios Florestais*. (D.X. Viegas, Ed.). Verlag Dashöfer.
- Viegas, D.X.; Simeoni, A.; Xanthopoulos, G.; Rossa, C.; Ribeiro, L. M.; Pita, L. P.; Stipanicev, D.; Zinoviev, A.; Weber, R.; Dold, J. and Caballero, D. (2009). *Recent Forest Fire Related Accidents in Europe*. (D.X. Viegas, Ed.) *Joint Research Centre*. JRC Scientific and Technical Reports Series. <http://doi.org/10.2788/50781>
- Viegas, D X; Viegas, M. T.; Ribeiro, L. M. and Cruz, M. G. (2002). A pilot study of herbaceous fuels in Central Portugal. In D.X. Viegas (Ed.), *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress, Rotterdam.
- Viegas, Domingos X.; Raposo, J. R.; Davim, D. A. and Rossa, C. G. (2012). Study of the jump fire produced by the interaction of two oblique fire fronts. Part 1. Analytical model and validation with no-slope laboratory experiments. *International Journal of Wildland Fire*, 21(7), 843–856. <http://doi.org/10.1071/WF10155>
- Viegas, Domingos Xavier. (2006). Analysis of Eruptive Fire Behaviour, 1–13.
- Viegas, Domingos Xavier. (2012). Extreme fire behaviour. In A. C. B. Cruz & R. E. G. Correa (Eds.), *Forest Management: Technology, Practices and Impact* (pp. 1–56). Nova.
- Viegas, Domingos Xavier; Almeida, M. A. and Ribeiro, L. M. (2020). Faixas de gestão de combustíveis. In M. J. Antunes, D. Lopes, & C. Oliveira (Eds.), *Florestas e legislação: Planos Municipais Da Defesa Da Floresta Contra Incêndios*. Coimbra: Instituto Jurídico Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra. Retrieved from <https://www.uc.pt/fduc/ij/publicacoes/pdfs/EbookFlorestas2019pdf>
- Viegas, Domingos Xavier; Almeida, M. A.; Ribeiro, L. M.; Raposo, J.; Viegas, M. T.; Oliveira, R.; Alves, D.; Pinto, C.; Rodrigues, A.; Ribeiro, C.; Lopes, S.; Jorge, H. and Viegas, C. X. (2019). *Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de outubro de 2017*. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA). Coimbra, Portugal. Retrieved from <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/documento?i=analise-dos-incendios-florestais-ocorridos-a-15-de-outubro-de-2017>
- Viegas, Domingos Xavier; Almeida, M. F.; Ribeiro, L. M.; Raposo, J.; Viegas, M. T.; Oliveira, R.; Alves, D.; Pinto, C.; Jorge, H.; Rodrigues, A.; Lucas, D.; Lopes, S. and Silva, L. F. (2017). *O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*. Coimbra, Portugal: Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA). Retrieved from <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/documento?i=o-complexo-de-incendios-de-pedrogao-grande-e-concelhos-limitrofes-iniciado-a-17-de-junho-de-2017>
- Viegas, Domingos Xavier; Rossa, C. and Ribeiro, L. M. (2011). *Incêndios Florestais*. (Domingos Xavier Viegas, Ed.) (1ª). Lisboa: Verlag Dashöfer Edições profissionais Unip., Lda.
- Westhaver, A. (2015). *Risk reduction status of homes reconstructed following wildfire disasters in Canada*. Institute for Catastrophic Loss Reduction. ICLR research paper series – number 55. Toronto, Ontario.
- Westhaver, A. (2017). *Why some homes survived: Learning from the Fort McMurray wildland/urban interface fire disaster*. Toronto, Ontario (Canada): Institute for Catastrophic Loss Reduction Research paper series (56).

- World Bank. (2021). *Investment in Disaster Risk Management in Europe Makes Economic Sense: Background Report*. Economics for Disaster Prevention and Preparedness. World Bank. Washington, DC. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35686>
- WSDG. (2012). *Flat Top Complex Wildfire Science Documentation Report*. Final Report from the Wildfire Science Documentation Group. Retrieved from <https://open.alberta.ca/publications/9781460136843>
- WUIWATCH. (2016). *WUIWATCH White Book - Fire prevention and defense in the WUI*. Retrieved from <http://www.safenano.org/research/observatorynano/>
- Xanthopoulos, G and Athanasiou, M. (2019). Attica region, Greece July 2018: a tale of two fires and a seaside tragedy. *Wildfire*, 28(2), 18–21.
- Xanthopoulos, G; Caballero, D.; Galante, M.; Alexandrian, D.; Rigolot, E. and Marzano, R. (2006). Forest Fuels Management in Europe. *Fuels Management—How To Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station., 29–46.*
- Xanthopoulos, Gavriil and Mitsopoulos, I. (2018). The catastrophic fire of July 2018 in Greece and the Report of the Independent Committee that was appointed by the government to investigate the reasons for the worsening wildfire trend in the country. Sofia. Bulgaria: Presented at the First General Assembly & 2nd MC meeting of FireLinks Project.
- Xanthopoulos, Gavriil; Viegas, D. X. and Caballero, D. (2009). The fatal fire entrapment accident of August 24, 2007, near the village of Artemida, Ilia, Greece. In *Proceedings of the 10th Wildland Fire Safety Summit*. Phoenix, Arizona. USA.
- Xavier Viegas, D. (2004). A Mathematical Model for Forest Fires Blowup. *Combustion Science and Technology*, 177(1), 27–51. <http://doi.org/10.1080/00102200590883624>

Anexo 1- Respostas aos questionários participativos



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

António Salgueiro, Adjunto de Processos e Melhoria Contínua

2) Nome da entidade que representa

AGIF, Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais.

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

As FGC devem ter dimensões variáveis, dentro de determinados limites pré-definidos, de forma a estarem ajustadas às realidades locais e aos objetivos específicos e prioritários a que se destinam, que, apesar da variabilidade, serão principalmente de: diminuição das condições para a ocorrência de ignições e seu isolamento; proteção da vida e das infraestruturas associadas (pela diminuição da intensidade do fogo).

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

De forma a adequar a sua eficácia para aos momentos em que deve cumprir os objetivos, e a permitir a inerente fiscalização, têm que existir prazos de cumprimento. No entanto, dentro de determinados períodos temporais pré-estabelecidos, seria conveniente que os mesmos fossem ajustados à tipologia de complexos de combustíveis, à sua degradação e recuperação, e a calendarização local (municipal), pois existe uma elevada variabilidade no território derivados da composição florística e das condições edafoclimáticas.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

Não se aplica na situação em apreço.

5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Preferência ao dimensionamento ajustado às condições (topográficas e outras) e objetivos, dentro de determinados padrões de referência.

6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

O contributo da vegetação herbácea para o comportamento do fogo está fortemente dependente do seu estado fisiológico, que, para além de outros fatores, pode ser fortemente influenciado pela disponibilidade de água no solo (sobretudo pela sua falta). No entanto, a apreciação anual e local pode tornar o sistema bastante pesado (para quem decide e fiscaliza) e variável (para quem executa), pelo que sou favorável a que existam prazos aconselháveis e prazos limite para a sua execução, adaptados às realidades da região (determinadas nomeadamente pela importância que estes combustíveis assumam no comportamento do fogo, com bastante variabilidade regional), mas fixos para cada região.

7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

Já propostas anteriormente



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

Edgar Carapinha – Responsável do Departamento de Manutenção Vegetal

2) Nome da entidade que representa

BRISA

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

Muitas das FGC não estão dimensionadas em função dos objetivos que presidiram à sua determinação.

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

As datas deveriam ser distintas para os diferentes cobertos vegetais - Combustíveis finos vs coberto arbóreo-arbustivo.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

Escassez de meios no mercado; Alterações intempestivas das datas limite para execução da gestão de combustível que implicam efetuar novas contratações ou acordos adicionais aos contratos em vigor; custos elevados no controlo dos combustíveis finos, nomeadamente nos meses de abril e maio, para garantir o cumprimento aos critérios de gestão de combustível preconizados no DL 10/2018.

- 5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Poderão ser ajustadas desde que seja salvaguardada a estabilidade dos solos e ajustados os critérios de gestão de combustível.

- 6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Os períodos de limpeza deverão ser ajustados não só à pluviosidade como às restantes condições edafoclimáticas da região.

- 7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

Alteração dos critérios de gestão de combustível; alteração das datas limites em função dos diferentes estratos de coberto vegetal e das condições edafoclimáticas de cada região.

Mais informamos que BRISA estará disponível para colaborar com a ADAI e com a AGIF com todo o conhecimento técnico e operacional vivenciado na gestão de combustível das redes secundárias no que diz respeito a infraestruturas rodoviárias.



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

Patrícia Cruz / Técnico Superior Florestal GTF

2) Nome da entidade que representa

Câmara Municipal de Loulé

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

As dimensões atuais não têm qualquer impacto em termos de DFCI

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

Considero importante existir uma data definida, para alertar os proprietários, no entanto têm-se verificado que 15 de março é demasiado cedo, implicando por vezes a duas ou três intervenções antes do início do período crítico.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

No que respeita à rede viária este trabalho é gerido pelo Departamento de Obras e Infraestruturas Municipais, ou seja o GTF não têm um papel ativo nesta matéria fazendo unicamente a monitorização dos trabalhos de acordo com o diploma em vigor. Neste sentido a maior dificuldade é fazer valer a lei em vigor e prestar a tempo e horas os dados exigidos pelo ICNF.

- 5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Concordo que as FGC sejam adequadas em consonância de uma forma simples e intuitiva conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes.

- 6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Concordo com a 1.ª exposição

- 7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

A minha sugestão não se prende com a alteração da dimensão ou data limite, penso que ambas não resolvem a problemática dos incêndios rurais. A estruturação da gestão de combustível atual não se tem mostrado eficaz, devendo ser repensada...aliás já existem estudos sobre a temática devem ser levados à prática.



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

Joana Jacinto – técnico superior Engenharia Florestal no GTF Mafra

2) Nome da entidade que representa

GTF Mafra

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

A nível nacional, uma vez que já nos encontramos na chamada quarta geração de incêndios, caracterizados por reduzido número de ocorrências mas com áreas ardidas elevadas, considero que a largura das FGC é insuficiente, especialmente as FGC da RVF, estas poderão constituir até "falsas zonas de segurança" devido à sua reduzida dimensão.

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

Têm de ser elaboradas até meados de maio, desta altura até à época crítica a vegetação já iniciou o seu crescimento e já atingiu um tamanho razoável, este crescimento juntando o material triturado e seco (que faz ensombramento e atrasa o crescimento da vegetação) aumenta a quantidade de carga combustível disponível. Em Mafra, tivemos o exemplo claro de uma FGC em RVF, que quando os SF chegaram ao fim do troço, a vegetação onde tinham começado já estava a rebentar.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

As maiores dificuldades nas FGC em torno dos edificados são a propriedade privada pequena e a dificuldade de encontrar os proprietários. Outra dificuldade que persiste é a manutenção deste tipo de trabalhos.

- 5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Concordo

- 6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Concordo

- 7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

A legislação ser flexível, no aspeto, de cada município poder fazer pequenos ajustes. A dimensão das FGC não terem uma largura fixa, ser definida pela altura da vegetação e orografia do terreno.



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

Clique ou toque aqui para introduzir texto.

2) Nome da entidade que representa

Município de Penela

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

Na rede viária em determinadas situações seria importante analisar a pertinência de executar os 10 m de cada lado da via ou 20 metros só de um lado. Relativamente aos aglomerados populacionais considero os 100 m excessivos considerando os critérios para a gestão de combustível em vigor. Entendo que seria mais exequível (já que raramente se verifica a execução dessa faixa de 100 m principalmente na questão do corte do estrato arbóreo) e aceitável interditar a plantação ou a proibição da existência de qualquer espécie florestal (arbórea) numa faixa mais reduzida. Importa ainda referir que será de considerar uma compensação à perda de produtividade por parte do proprietário.

- b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

A data estipulada legalmente não faz sentido, (30 de abril), pois em anos de maior precipitação obriga a várias intervenções antes do período crítico. Assim o período para efetuar essa limpeza deveria ser alargado.

- c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

São vários os constrangimentos: 1- A existência de muitos aglomerados inseridos em espaço florestal; 2- Incumprimento por parte dos proprietários florestais dos trabalhos de constituição das faixas de gestão de combustível; 3- Aldeias despovoadas; 4- Envelhecimento da população; 5- A Existência de áreas contínuas de monocultura de eucalipto; 6- Abandono das atividades agrícolas, que agrava a exposição das aldeias ao perigo de ocorrência de incêndios rurais; 7- Tratando-se de um concelho rural de baixa densidade, existem dificuldades por parte da autarquia em termos de recursos humanos, materiais e financeiros em substituir-se anualmente ao proprietário em incumprimento no que se refere a manutenção ou constituição das FGC.

- 5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Como referi em cima a execução das faixas deverá ser adequada ao declive do terreno.

- 6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Obviamente que os períodos de limpeza deverão ser ajustados às condições meteorológicas

- 7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

A questão da dimensão das faixas deverá ser definida pelos peritos. Mas mais importante que definir dimensões, deverá sim ser definida uma estratégia que torne eficaz a aplicação dos normativos legais, porque senão será mais um diploma legal sem aplicabilidade e sem operacionalização. Como é de todos conhecido a execução das FGC não é minimamente cumprida. Continuamos a verificar a existência de aldeias completamente rodeadas de matos e floresta, com elevados índices de perigosidade. A execução e manutenção das FGC tem custos incontroláveis para os respetivos proprietários, pelo que os peritos deverão definir modelos de gestão para as áreas envolvente às aldeias de modo a criar efetivas cinturas de proteção, mas o processo tem de ser inclusivo e ser “trabalhado” com esses proprietários e considerar entre outras componentes, modelos de compensação à perda de rendimento. A questão da obrigação dos municípios na realização das FGC em substituição dos proprietários em incumprimento deverá ser bem analisada. A maior parte dos municípios não estão capacitados (não têm equipas de sapadores e as equipas das CIM's respetivas não são solução, pois não têm capacidade para satisfazer as necessidades dos Municípios) para realizar atempadamente as intervenções necessárias terão que recorrer a prestadores de serviços, o que dificultará a execução dos trabalhos em tempo útil.



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

João Alexandre da Silva Rocha Pinho – diretor nacional do Programa de Gestão de Fogos Rurais

2) Nome da entidade que representa

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

As dimensões atuais das FGC, estabelecidas no DL n.º 124/2006, resultam por um lado da experiência obtida após várias dezenas de anos de aplicação de regulamentação nacional (nomeadamente o DR n.º 55/81) e, por outro lado, do benchmarking internacional e das discussões técnicas realizadas no âmbito do Conselho Nacional de Reflorestação e do processo elaboração do PNDFCI, após os incêndios de 2003-2005, apesar das propostas terem sido – naturalmente – sopesadas e em parte alteradas no âmbito do processo legislativo, ao nível do Governo. Apresentam sempre um valor mínimo, imperativo, sendo deixado à avaliação técnica a adoção de larguras superiores a esse mínimo, em função das condições locais, devendo ter-se em

consideração nessa abordagem, nomeadamente, os princípios quer da prevenção, ou seja, de que as causas dos riscos devem ser consideradas antecipadamente de forma a eliminar ou reduzir as suas consequências, quer da precaução, segundo o qual o dever de cuidado impõe que a mera presunção de eventuais danos por parte de quem avalia implique a adoção de medidas tendentes à diminuição do risco inerente. Nos casos específicos das redes viária e ferroviária e das faixas de proteção a aglomerados populacionais, é deixado ao critério das CMDF a identificação em sede de PMDFCI dos troços, ou dos aglomerados, em que se aplicam essas dimensões específicas. A dimensão das faixas, nomeadamente das de maior dimensão, pode ser revista tendo em consideração o tipo de solo rural em que se implantam, a perigosidade de incêndio, bem como estudos científicos que permitam determinar para cada caso, com rigor, uma distância de tratamento que garanta a segurança e cuja gestão seja sustentável.

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

Muito embora a criação/conservação das faixas se possa realizar em qualquer altura do ano, os diplomas mais recentes têm incorporado datas-limite após as quais os responsáveis pela sua manutenção podem ser alvo de contra-ordenações. As datas-limite não podem ser muito temporãs, uma vez que isso facilitará a recuperação da vegetação entre o momento do corte e o início do período crítico, nem muito tardias, o que dificultaria os procedimentos de fiscalização e de reposição das faixas antes do início do período crítico.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

A significativa dimensão das áreas legal e regulamentarmente estabelecidas que carecem de execução e manutenção regular a cargo do ICNF, com os custos associados; a prevalência, em certos casos, de vegetação arbustiva e herbácea de rápido crescimento, que impõem ciclos curtos de intervenção. Salienta-se a propósito que, para além das dimensões de análise “largura das faixas” e “periodicidade de ações de manutenção”, se deve considerar como fundamental a dimensão “critérios técnicos de intervenção nos estratos de combustível” e, a eles associadas, as “condicionantes de intervenção” associadas às questões de defesa do património (ecológico, produtivo, cultural, paisagístico, etc.).

5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

A adoção de assentamentos assimétricos das FGC é uma prática comumente utilizada pelo ICNF e serviços antecessores, já desde há décadas, sendo que na legislação atualmente em vigor ela é permitida desde que seja cumprida a dimensão mínima “lateral” estabelecida para cada caso.

6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

A atual legislação não dispõe sobre a periodicidade das ações de gestão de combustíveis, estabelecendo apenas limiares de carga e continuidades de combustíveis que não podem ser excedidos. Considera-se que esta é a forma tecnicamente mais correta de enquadrar uma obrigatoriedade legal de manutenção das FGC.

7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

O período entre meados do mês de abril e o final do mês de maio considera-se o mais indicado para a definição dessas datas-limite.



Laeta
laboratório associado



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Planeamento da gestão de combustíveis: Efeito da distância e da frequência das intervenções na proteção das estruturas e rede viária

Auscultação de entidades com responsabilidades na gestão de combustíveis na rede secundária

Por favor responda livremente nos campos indicados, marcados a cinzento. Quando terminar, renomeie o ficheiro com o nome da sua entidade e devolva a ADAI/CEIF, através do email ceif@adai.pt, até ao dia 24 de setembro de 2021.

Se pretender enviar mais do que uma resposta (por exemplo para mais do que uma tipologia), preencha dois questionários e acrescente um número de ordem no nome do ficheiro.

1) Nome e cargo do respondente (opcional)

Clique ou toque aqui para introduzir texto.

2) Nome da entidade que representa

REN – Redes Energéticas Nacionais

3) Em que tipologia de estruturas ou infraestruturas tem responsabilidades, no âmbito da gestão de combustíveis da rede secundária?

- Redes viária e ferroviária
- Transporte e distribuição de energia
- Edificações e aglomerados populacionais
- Outras infraestruturas (e.g. P. Campismo, P. Industriais, outros)

4) No que diz respeito às faixas de gestão de combustíveis (FGC) exclusivamente nas infraestruturas que selecionou:

a. Que considerações faz acerca das dimensões atuais das FGC da rede secundária?

No que se refere à largura da FGC associada à rede de transporte de eletricidade e dos gasodutos estas deveriam corresponder à largura das faixas de servidão, associadas a estas infraestruturas, as quais se encontram legalmente definidas em legislação específica (RNT – 45 metros | RNTGN – 10 metros). De salientar que nas referidas faixas de servidão (proteção), os proprietários dos respetivos terrenos, foram indemnizados pelos respetivos ónus impostos ao prédio afetado, incluindo a perda de rendimento florestal.

b. Que considerações faz acerca da data limite para as intervenções das FGC da rede secundária?

A REN, no conjunto das suas concessões, possui cerca de 10.000 km de infraestruturas lineares que fazem parte da rede secundária de defesa da floresta contra incêndios, correspondendo a 35 000 ha de faixas de servidão (proteção) das quais 60%, ou seja 21 000 ha, encontram-se localizadas em Espaços Florestais. Face à extensão e dimensão das infraestruturas geridas pela REN, pelo facto de serem infraestruturas lineares, assim como pela obrigatoriedade de se proceder ao prévio aviso dos proprietários dos terrenos a intervencionar no âmbito da FGC (em média a REN contacta cerca de 25 000 proprietários/ano, para esse efeito), o cumprimento da data limite para as intervenções das FGC associadas à RS é impossível de ser cumprida. A nossa operação de limpeza das faixas é feita em continuo ao longo dos 12 meses do ano, com redução na época estival devido ao risco de incêndio florestal, através de contratos plurianuais. Ao longo dos últimos anos temos tido em média mais de 200 operacionais do setor florestal dedicados exclusivamente à silvicultura preventiva, pelo que até por questões de ordem social não seria compreensível trabalharem apenas 6 a 7 meses do ano.

c. Quais as maiores dificuldades que encontra no exercício das suas funções?

Atualmente os principais desafios são os seguintes: a) n.º reduzido de prestadores de serviços com capacidade técnica e de segurança para a execução das áreas a intervencionar; b) baixa produtividade (ha/dia) motivada pela utilização massiva de meios moto-manuais, agravada pela falta de mão-de-obra no setor florestal (profissão pouco valorizada »» dificuldade em atrair novos recursos humanos) e pela Reduzida mecanização nos trabalhos de DFCl; c) metas de impossível cumprimento, nomeadamente a data limite para as intervenções das FGC e os critérios de gestão de combustível e à altura da vegetação no estrato arbustivo e sub-arbustivo; d) o planeamento municipal não tem em consideração a existência de infraestruturas lineares, num mesmo local, nem ciclos de intervenção diferenciados. As regras aplicáveis à proteção de zonas urbanas, industriais, casas e indústrias isoladas, no que respeita à altura e porte da vegetação, é impossível aplicação em infraestruturas lineares, mesmo que todos os espaços fossem limpos uma vez por ano.

5) Sabendo que as características de propagação do fogo se agravam com o declive, concorda que as faixas de gestão sejam adequadas em consonância, de uma forma simples e intuitiva, conforme se trate de encostas ascendentes ou descendentes (ou seja, por cima ou por baixo da estrutura) ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Tendo em consideração que as RSDFCl têm como principal função a defesa de pessoas e bens, incluindo infraestruturas de utilidade pública, consideramos que a execução das FGC deve ser na totalidade da faixa, pelo que a disposição legal atual é preferível.

6) Sabendo que o regime de pluviosidade tem um forte impacto no crescimento da vegetação herbácea, concorda que os períodos de limpeza sejam adequados à precipitação observada no ano, de uma forma simples e intuitiva, ou acha que a disposição legal atual é preferível?

Face à dimensão da área a intervencionar pela REN, e cf. mencionado na resposta à questão 4 b) e proposta abaixo apresentada, a intervenção terá de ser efetuada durante todo o ano, independentemente do regime de pluviosidade.

7) Tem alguma sugestão para alteração ou da dimensão ou da data limite, que pudesse facilitar o seu trabalho?

Apresentam-se as seguintes propostas: a) a largura da FGC deverá corresponder à largura das faixas de servidão, já legalmente estabelecida; b) o prazo (data limite) para a execução dos trabalhos de gestão de combustíveis de uma determinada infraestrutura, deverá corresponder à totalidade do ano civil (janeiro a

dezembro) tendo em consideração o ano de intervenção definido no plano, c) os ciclos de intervenção e os critérios de gestão de combustível devem ser revistos e adaptados a cada tipo de infraestrutura (os critérios para proteção de uma edificação, aglomerado populacional ou zona industrial, não podem ser os mesmos de proteção de infraestruturas lineares, que se encontram distantes do solo (linha elétrica) ou enterradas (gasoduto).d) tendo em consideração as características específicas das infraestruturas (linhas elétricas e gasodutos, consideramos que ciclo de intervenção nas FGC associadas à RNT (linhas elétricas) deva ser de 3 anos e na RNTGN (gasodutos) de 2 anos; e) deve ser criado um procedimento simplificado (p.e. comunicação prévia em vez de autorização) para se proceder ao abate de espécies protegidas para cumprimento dos critérios de gestão de combustíveis (exceto em zonas de montado), assim como para cumprimento do Decreto Regulamentar n.º 1/92, de 18 de fevereiro, que estabelece o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas.