

# Silvicultura Preventiva e Gestão de Combustíveis: Opções e Optimização

Paulo A. M. Fernandes

Departamento Florestal | Centro de Estudos em Gestão de Ecossistemas  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro | E-mail: pfern@utad.pt

## 1 – INTRODUÇÃO

O impacto de um incêndio florestal é determinado pelas características físicas da frente de chamas (velocidade de propagação, dimensão, energia libertada). Dos factores que determinam o comportamento do fogo – meteorologia, topografia e vegetação (dita combustível) – a acção humana apenas pode condicionar o último, pelo que as acções de silvicultura preventiva e de gestão do combustível deverão logicamente constituir uma peça chave da protecção contra incêndios.

A constatação do limitado alcance dos programas de prevenção de ignições e da insuficiência da tecnologia de combate a incêndios, particularmente em situações meteorológicas graves – que são relativamente raras mas estão associadas à maior parte da área ardida – permitiram a Countryman (1974) argumentar solidamente em defesa de uma solução para o problema dos incêndios na qual as intervenções sobre a vegetação têm um papel fulcral. Paradoxalmente, como referem Finney & Cohen (2003), a necessidade de gerir o combustível é especialmente patente quando os níveis de investimento e de organização resultam na pronta detecção e extinção das ignições. Por muito poucas que sejam, as ocorrências que sobrevivem à primeira intervenção facilmente originam incêndios extensos e severos quando condições meteorológicas desfavoráveis se conjugam com disponibilidades elevadas de biomassa. Daí que a concentração dos recursos disponíveis em actividades de pré-supressão e supressão do fogo apenas adie o problema, podendo inclusivamente magnificá-lo.

O Homem exacerba o carácter extremo dos incêndios, por acção ou por omissão, uma percepção que tem reforçado a necessidade de actuar sobre a vegetação para modificar pro-activamente o comportamento e efeitos do fogo (Finney & Cohen, 2003). Como notam Weatherspoon & Skinner (1996), se a resposta para o problema não reside no aumento da capacidade de supressão, e se a acumulação de combustível se mantém e não é substancialmente contrariada, então a área ardida por incêndios de elevada severidade fatalmente aumentará. A maior incidência futura de períodos secos e quentes (Santos et al., 2002) apenas reforça esta constatação.

São muito escassos os exemplos da intervenção na vegetação como um componente fundamental e temporalmente persistente da gestão do fogo – destaque-

-se o fogo controlado nos pinhais do sudeste dos E.U.A. e nos eucaliptais da Austrália – apesar do relevo que deveria assumir em ecossistemas onde o fogo é uma presença recorrente (Pyne et al., 1996). Mas nos últimos anos, e face à ocorrência cada vez mais comum de incêndios catastróficos, a gestão de combustíveis tem ganho protagonismo na América do Norte. Este empenho no terreno é acompanhado pelo Joint Fire Science Program, um esforço de investigação concertado que procura aprofundar a base científica e tecnológica do planeamento, implementação e monitorização da gestão de combustíveis (Conard et al., 2001). Também na Europa e Austrália os resultados dos projectos de cooperação FIRE STAR (Dupuy et al., 2004) e VESTA (Gould et al., 2001) têm repercussões directas no domínio da silvicultura preventiva. Portugal, e em consequência directa dos incêndios de 2003, dispõe de novos instrumentos e enquadramentos legislativo e conceptual (ver também o capítulo de J. Pinho et al. neste volume) para a prevenção de incêndios, que se espera venham a expandir as actividades da gestão de combustíveis.

A investigação científica no domínio da silvicultura preventiva e gestão de combustíveis recebeu um impulso notável nos últimos anos. Este texto, sem pretensões de estado da arte, procura reportar estes recentes avanços, com uma ênfase especial nas estratégias e metodologias disponíveis para aumentar os benefícios decorrentes das intervenções.

## 2 – CONCEITOS E ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

A gestão de combustíveis compreende três estratégias básicas, respectivamente redução, isolamento, e conversão (Pyne et al., 1996). Embora de natureza distinta, as operações que alteram fisicamente o combustível sem o remover são associáveis à primeira estratégia (Alexander, 2003), uma vez que em ambos os casos é expectável uma menor disponibilidade de combustível após a intervenção.

A redução/modificação actua sobre a quantidade e arranjo estrutural da vegetação no sentido de diminuir a intensidade de um fogo. Para alcançar este propósito estão disponíveis técnicas alternativas que se aplicam individualmente ou que, tendo efeitos complementares, se combinam, especialmente quando a actuação visa estratos de combustível distintos: corte manual ou mecânico do sub-bos-

que ou de componentes do arvoredo, fogo controlado, tratamento químico e pastoreio dirigido.

A estratégia do isolamento procura quebrar a continuidade das formações vegetais, compartimentando-as com faixas de largura variável nas quais a vegetação é eliminada ou modificada com o objectivo de confinar um incêndio. As faixas corta-fogo podem tomar formas diversas, integrando, aproveitando e expandindo a diversidade de usos da terra na sua concepção. Esta estratégia abarca desde faixas nuas e estreitas, com origem nos programas de reflorestação e que servem também propósitos de gestão e exploração florestal, até corta-fogos arborizados, largos (100-400 m) e dotados de infra-estruturas de apoio à supressão do fogo (Pyne et al., 1996). Neste caso são criadas condições que dilatam a capacidade de intervenção dos meios de combate terrestres ao aumentarem a sua segurança, eficiência e produtividade, e a efectividade das descargas efectuadas por aeronaves (Weatherspoon & Skinner, 1996). Estes autores assinalam porém que a estratégia de isolamento não modifica o comportamento e efeitos do fogo na massa florestal, implica um custo de manutenção elevado e perpétuo (e que tendencialmente exclui a gestão de combustíveis das manchas florestais), e assenta em pressupostos facilmente violados (ver adiante).

Uma vez que a estratégia de isolamento pode recorrer à redução/modificação de combustíveis, será mais correcto distinguir entre uma estratégia assente em interrupções ou tratamentos lineares (ou em faixa) e uma estratégia baseada em tratamentos em área. Na verdade, a gestão de combustíveis em área expande espacialmente o conceito de isolamento, ainda que usualmente esteja associada a exigências mais ligeiras de modificação e manutenção (Agee et al., 2000).

A estratégia da conversão consiste na substituição por um tipo de vegetação que reduz a magnitude do comportamento do fogo e que pode chegar a inibir a sua propagação; note-se que os conceitos de isolamento e conversão se confundem quando esta é implementada em faixas. Aquele efeito moderador tem sido constatado empírica (e.g. Moreira & Rego, 2001) e experimentalmente (Alexander & Lanoville, 2004) em folhosas caducifólias, sendo fruto das características intrínsecas das espécies mas também do ambiente inerente às respectivas formações, menos ventoso e mais fresco e húmido. O número de espécies disponíveis para a substituição e as alterações ecológicas dela decorrentes condicionam grandemen-

te a estratégia da conversão (Sanchez-Guisandez et al., 2002), mas a evolução da sucessão vegetal no sentido das folhosas (esclerófilas ou caducifólias) ou de formações mistas possibilita uma conversão natural em tipos vegetais de menor combustibilidade e maior resiliência ao fogo.

### **3 – TÉCNICAS DE REDUÇÃO / MODIFICAÇÃO DO COMBUSTÍVEL**

O tipo e a sequência das intervenções de gestão de combustíveis devem depender de vários factores, entre eles a carga e distribuição vertical do combustível e os impactes ambientais das operações (Peterson et al., 2003). Numa mancha florestal a preocupação fundamental da silvicultura preventiva é evitar que um fogo de superfície transite para o copado das árvores, pelo que, e correspondendo às etapas de desenvolvimento do fogo, é desejável que a sequência operacional siga a seguinte ordem de prioridades (Finney & Cohen, 2003; Graham et al., 2004):

1 – Reduzir ou modificar estruturalmente o combustível superficial (manta morta e vegetação sob coberto), a fim de limitar a intensidade potencial do fogo;

2 – Desramar as árvores e eliminar andares intermédios de vegetação que com elas estabeleçam continuidade, minimizando (com o procedimento anterior) a possibilidade de desenvolvimento vertical do fogo;

3 – Desbastar o povoamento para diminuir a concentração de biomassa e assim dificultar a transmissão do fogo entre árvores contíguas.

O fogo controlado, cujo contributo para a protecção florestal está extensamente documentado na literatura desde os anos 50 do século passado (Fernandes & Botelho, 2003), parece ser a única técnica compatível com a aplicação da gestão de combustíveis numa escala espacial significativa. Assim, e nos E.U.A., representa mais de três quartos da área tratada total, sozinho (60%) ou associado a desbastes com meios mecânicos (16%) (Miller & Landres, 2004). A principal limitação do fogo controlado é a necessidade de obediência a um ambiente meteorológico restrito, já que as suas vantagens económicas, eficiência e versatilidade são suficientemente elevadas para compensar os riscos que a sua execução comporta (Graham et al., 2004).

A eficiência operacional do fogo controlado depende das condições meteorológicas, dos combustíveis em questão, e da capacidade técnica dos operadores

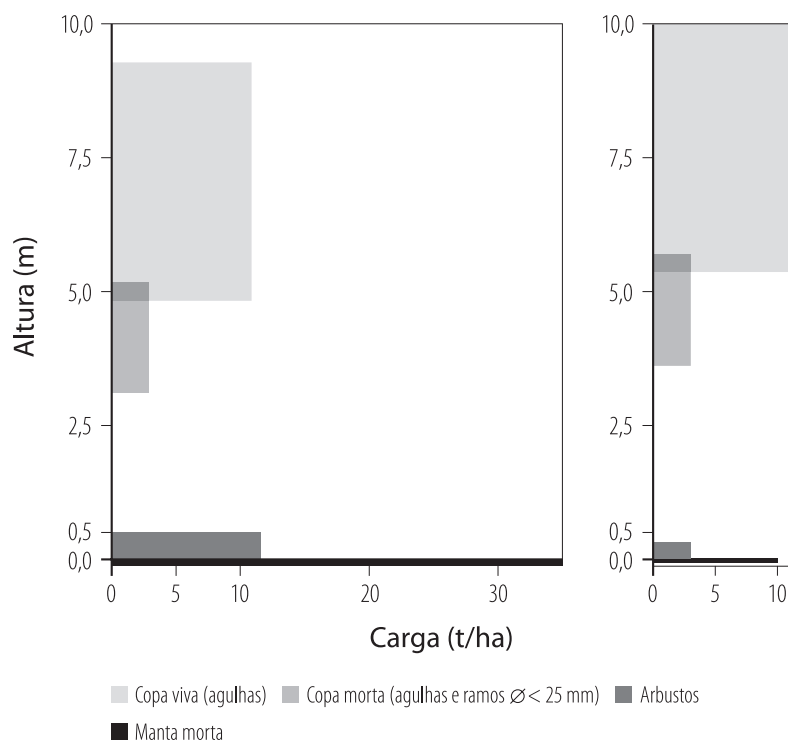
(Peterson et al., 2003). Das várias possibilidades de lidar com a acumulação de combustível nos estratos superficiais o fogo controlado é aquela cujo impacte imediato é mais completo (Graham et al., 2004):

- 1 – Reduz a carga de combustível (especialmente os componentes de menor dimensão), no que limita severamente o potencial energético de um incêndio;
- 2 – Reduz a continuidade horizontal do combustível, afectando a propagação e crescimento do fogo e diminuindo a probabilidade de focos secundários;
- 3 – O combustível residual tem uma compactação acrescida, o que decresce a velocidade da combustão;
- 4 – Pode remover combustíveis intermédios (entre o sub-bosque e a copa viva), elevar a base da copa por dessecação foliar dos ramos mais baixos, e induzir mortandade nos indivíduos dominados, no que adicionalmente contribui para dificultar um fogo de copas. No que respeita ao último efeito, a precisão conseguida não é evidentemente comparável à dos meios manuais ou mecânicos utilizados em operações de desramação e remoção de pequenas árvores.

O fogo controlado no pinhal do Entre Douro e Minho reduz em média a carga de combustível fino em 89%, com uma variação de 25% a 100% (Fernandes & Botelho, 2004). A Figura 1, respeitante a um caso de estudo em pinhal bravo, detalha as modificações induzidas pelo fogo controlado no complexo-combustível, e sugere inclusivamente um efeito positivo no crescimento das árvores.

A aplicação de herbicidas é eficiente na erradicação da vegetação do sub-bosque, embora não ofereça protecção imediata (Brose & Wade, 2002) e possa aumentar temporariamente a combustibilidade ao transformar biomassa viva em morta (Fernandes et al., 2000a). Este efeito pode também ocorrer após o corte de mato com motoroçadora sem remoção, dependendo do grau de compactação induzido pelo tratamento (Fernandes et al., 2000a). Do pastoreio resulta um impacte selectivo e disperso (Valette et al., 1992), cuja magnitude depende do encabeçamento aplicado (Tsiouvaras et al., 1989), e que combina o consumo de biomassa com um efeito de compactação.

Os resultados da gestão de combustíveis dependem fortemente do tipo de vegetação e das condições locais de solo e clima, o que dificulta a formulação de recomendações para o controlo do combustível a médio e longo prazo, incluindo o tipo e periodicidade das intervenções a aplicar. A experimentação conduzida no



**Figura 1** – Efeito do fogo controlado na estratificação e carga de combustível: ausência de tratamento (esq.) vs. fogo controlado (dir.), aplicado aos 14 e 25 anos de idade. Dados de um pinhal bravo com 28 anos na Serra da Padrela, Trás-os-Montes (Fernandes et al., 2004; Mota, 2003).

Sul de França (e.g., Rigolot & Etienne, 1998) mostra a superior efectividade das sequências operacionais que combinam duas ou mais técnicas. Os tratamentos químicos, o fogo controlado e, principalmente, o pastoreio, integram a sucessão de tratamentos de manutenção das redes de faixas corta-fogo da França Mediterrânica, alargando o espaço de tempo entre operações de corte/estilhaçamento, a prática mais difundida mas também mais dispendiosa (Dureau, 2003).

Graham et al. (1999) e Peterson et al. (2003) sumarizam as opções silvícolas de gestão de combustíveis. Num desbaste é possível usar meios mecânicos, manuais e fogo controlado, individualmente ou em combinação. O resultado depende

muito do impacte estrutural alcançado (ou seja, do tipo e intensidade de desbaste) e da subsequente evolução da vegetação (Graham et al., 2004). Desbastes mais intensos, necessários para reduzir ao mínimo a possibilidade de fogo de copas activo, correspondem a situações de sublotação para muitas espécies e como tal acarretam perdas de produção lenhosa (Reyes & O'Hara, 2002).

O desbaste pelo baixo eleva substancialmente a base do copado e é consensualmente o mais efectivo, sobretudo quando a remoção inclui árvores codominantes e dominantes, mas em combinação com outras variantes de desbaste pode originar estruturas interessantes pela sua heterogeneidade espacial (Peterson et al., 2003). O desbaste pelo baixo é também a técnica de eleição para transformar formações densas e constituídas por árvores pequenas em corta-fogos arborizados dominados por árvores maiores e mais resistentes ao fogo (Weatherspoon & Skinner, 1996).

As intervenções no estrato arbóreo têm efeitos contraditórios e simultâneos de redução e aumento do perigo de incêndio. Graham et al. (2004), sintetizando diversos autores, notam que:

- 1 – A adição de combustível ao estrato superficial gera condições extremas de combustibilidade, especialmente em climas ou locais não favoráveis à decomposição;
- 2 – A mera alteração da estrutura do copado apenas modifica o potencial de transmissão do fogo entre copas de árvores individuais, não as impedindo de arder;
- 3 – A maior abertura do povoamento que se sucede ao desbaste agrava o ambiente de fogo no seu interior, porque aumenta a penetração do vento e a exposição à radiação solar, diminuindo a humidade do combustível e favorecendo o desenvolvimento da vegetação do sub-bosque.

Weatherspoon (1996) considera que o último dos efeitos acima listados é relativamente pequeno e sobejamente compensado pela remoção ou modificação do combustível superficial e de transição. Num pinhal bravo com 21 anos submetido a duas intensidades de desbaste (redução da área basal em 15% ou 30%), sem subsequente remoção ou tratamento dos resíduos lenhosos, a probabilidade de iniciação de um fogo de copas reduziu-se drasticamente (Cruz et al., 2001); quatro anos após a intervenção não houve agravamento (em comparação com a testemunha) do potencial simulado de fogo de superfície, apesar do acréscimo significativo dos cobertos herbáceo e de resíduos lenhosos (Silva et al., 2000). A severidade do fogo



pode (Weatherspoon & Skinner, 1995) ou não (Pollet & Omi, 2002) aumentar em florestas sujeitas a desbaste e posteriormente percorridas por incêndios. Na verdade, como pragmaticamente refere Scott (2003), se uma intervenção no copado limitar radicalmente a possibilidade de ocorrência de um fogo de copas não é relevante que a intensidade do fogo de superfície aumente ligeiramente.

Uma intervenção de desbaste e desramação que efectivamente pretenda diminuir a vulnerabilidade de um povoamento ao fogo não é então dissociável do tratamento do combustível superficial e exige operações complementares (Agee et al., 2000), tal como diversas simulações sugerem e vários casos de estudo descritos por Graham et al. (2004) comprovam. Reciprocamente, observações efectuadas por Omi & Martinson (2002b) apontam para a irrelevância de tratamentos do combustível superficial quando não secundados por intervenções no arvoredo.

A remoção total dos resíduos produzidos ou a sua permanência no local após modificação mecânica (compactação, estilhaçamento, dispersão) são física e economicamente proibitivos face à escala do problema, ainda que o valor comercial do material lenhoso extraído ou o aproveitamento energético dos resíduos possam atenuar os custos. Há também que considerar as limitações operacionais impostas pelo declive do terreno, as repercussões negativas no ciclo de nutrientes, e a dificuldade de rescaldo caso um incêndio venha a afectar a área (Graham et al., 2004). Quando exequível, o fogo controlado após o desbaste constitui a opção mais efectiva e menos dispendiosa (Peterson et al., 2003) mas, ainda assim, a carga de combustível resultante pode exceder a situação anterior ao tratamento (Waldrop et al., 2004).

#### **4 – RESULTADOS E EFICIÊNCIA**

A eficiência das intervenções sobre a vegetação depende da influência do combustível no comportamento do fogo relativamente à influência do tempo atmosférico, uma questão complexa e que desde Bessie & Johnson (1995) tem sido bastante debatida na literatura. O Quadro 1 apresenta o peso relativo da velocidade do vento, humidade do combustível e características físicas do combustível no comportamento do fogo em pinhal bravo. São particularmente interessantes os

resultados correspondentes aos fenómenos extremos (transição para fogo de copas activo, intensidade de um fogo de copas), obtidos por simulação com modelos empíricos desenvolvidos com dados de fogos experimentais de elevada intensidade e incêndios (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992), que atribuem a primazia ao vento mas reservam um papel importante ao combustível.

**Quadro 1** – Coeficientes de regressão estandardizados (em valor absoluto) que exprimem a influência relativa do combustível e das variáveis ambientais de natureza meteorológica sobre o comportamento do fogo em pinhal bravo, obtidos por análise estatística de simulações.

| Comportamento do fogo                                 | U           | H    | Combustível de superfície | Combustível das copas |
|---|-------------|------|---------------------------|-----------------------|
| * Intensidade do fogo de superfície (Behave Plus)     | 0,55        | 0,13 | <b>0,87</b>               | —                     |
| * Intensidade do fogo de superfície (Fernandes, 2002) | <b>0,90</b> | 0,12 | 0,51                      | —                     |
| ** Transição para fogo de copas                       | <b>0,76</b> | 0,04 | 0,32                      | 0,20                  |
| ** Transição para fogo de copas activo                | <b>0,75</b> | 0,16 | 0,22                      | 0,26                  |
| ** Intensidade do fogo de copas                       | <b>0,75</b> | 0,36 | 0,62                      | 0,33                  |

**U** = velocidade do vento | **H** = humidade do combustível morto fino | \* Independentemente da possibilidade de ocorrência de fogo de copas | \*\* Combinação de modelos de comportamento de fogos de superfície (Fernandes, 2002) e de copas (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992)

O efeito mitigador dos tratamentos pode ser pouco perceptível em situações meteorológicas de vento forte e(ou) secura extrema (Banks & Little, 1964; Keeley et al., 1999; McCarthy & Tolhurst, 2001; Pye et al., 2003), especialmente em grandes incêndios (Finney et al., 2003). Perante estas evidências, e sendo certo que o regime de fogo responde directamente ao clima à escala do século e do milénio (Whitlock et al., 2003), alguns autores rapidamente sugerem ou concluem que a gestão de combustíveis é inútil face a condições meteorológicas severas ou a alte-

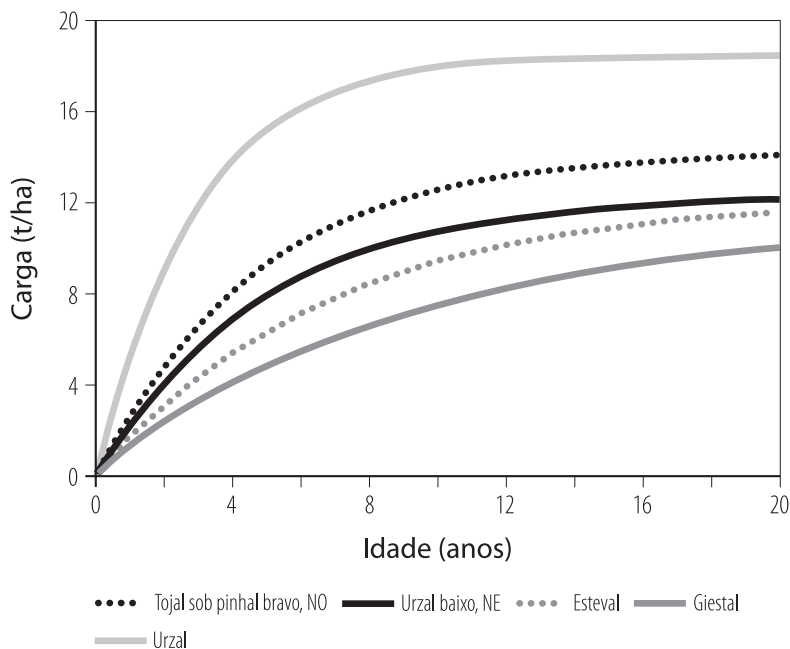
rações climáticas futuras (e.g. Whitlock, 2004). Este ponto de vista, que Alexander (2003) considera simplista e tacanho, desvaloriza ou ignora o impacte sobre o comportamento do fogo e pressupõe erradamente (Omi & Martinson, 2002a) que a função da gestão de combustíveis é parar os incêndios. Como referem Finney & Cohen (2003), trata-se de uma expectativa de desempenho que peca por excesso, sugerindo níveis de sucesso na moderação do regime de fogo que são irrealistas e, consequentemente, comprometendo uma análise objectiva da efectividade da gestão de combustíveis.

Que benefícios se devem então esperar da gestão de combustíveis? Simplesmente assumir que uma área convenientemente defendida ou tratada, ou seja, de acordo com uma prescrição tecnicamente fundamentada, aumentará as opções de combate ao incêndio (Omi & Martinson, 2002a) e tornará efectiva a tática de supressão utilizada (Finney & Cohen, 2003). Este desfecho é fruto da redução da intensidade do fogo para níveis compatíveis com um combate eficiente. Dependendo da(s) espécie(s) dominante(s) e das suas características de resistência passiva e(ou) resposta ao fogo, a diminuição da intensidade do incêndio poderá viabilizar a persistência da floresta. Em condições extremas de propagação do fogo a gestão de combustíveis pode não ter um reflexo na extensão da área ardida, mas seguramente mitigará os impactes ambientais, sociais e económicos dos incêndios nas áreas em que a vegetação for reduzida/modificada ou convertida.

O sucesso da estratégia de isolamento mede-se somente pelo grau com que a expansão do incêndio é limitada em área ou em perímetro, já que lhe está subjacente o sacrifício das áreas exteriores aos corta-fogos (Graham et al., 2004). Faixas estreitas de interrupção do combustível – como os tradicionais aceiros e arrifes – falham certamente aquele desígnio na maioria das situações. Mas a realidade defrauda as expectativas com demasiada frequência mesmo quando os corta-fogos são largos, em França (Rigolot, 2002) como na Califórnia (Weatherspoon & Skinner, 1996), pois é raro que se verifiquem simultaneamente as restantes condições necessárias para que um incêndio se detenha num corta-fogo: orientação adequada face à frente do incêndio, estado de manutenção aceitável, guarnecimento com meios de combate em quantidade suficiente, e ausência de projecção de faúlhas com capacidade para iniciar focos secundários de incêndio.

A ideia da gestão de combustíveis ser igualmente eficiente em todos os tipos de

vegetação corresponde a outra expectativa errónea (Finney & Cohen, 2003). A dinâmica temporal do combustível, e consequentemente a longevidade do efeito da intervenção, é específica da formação vegetal (ver exemplos da Figura 2). Regimes de fogo distintos requerem estratégias de intervenção diferentes (Gutsell et al., 2001), sendo que os resultados da intervenção são mais incertos em sistemas caracterizados por fogo de copas (Omi & Martinson, 2002a). Nas florestas do Oeste dos E.U.A. o efeito mitigador da redução/modificação diminui e a importância do clima face ao combustível aumenta, à medida que o regime de fogo se desloca do fogo frequente e de severidade reduzida para o fogo infrequente de elevado impacte ecológico (Schoennagel et al., 2004). Nestes casos são expectáveis melhores resultados se a estratégia da redução/modificação de combustível der lugar à conversão do tipo de vegetação.



**Figura 2** – Acumulação de combustível fino (< 6 mm) em formações arbustivas do Norte e Centro de Portugal. Compilado de Fernandes & Rego (1998) e Fernandes et al. (2000b, 2002).

A avaliação da eficiência da gestão de combustíveis pode-se basear na opinião de especialistas, em simulações, no estudo de incêndios bem documentados, e em fogos experimentais (Alexander, 2003). Análises do regime de fogo apoiam o efeito moderador da gestão de combustíveis, e.g. Davis & Cooper (1963), mas não permitem isolar o efeito da gestão de combustíveis das restantes actividades de gestão do fogo.

A avaliação por especialistas é condicionada pela respectiva experiência, mas pode originar resultados interessantes, como a identificação dos requisitos de eficácia dos corta-fogos do Sul de França (Rigolot, 2002): largura superior a 125 m, coberto arbóreo inferior a 50%, e volume arbustivo máximo de 2000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (correspondendo à manutenção a intervalos de 3-4 anos). Numerosos autores inferem o impacto da gestão de combustíveis a partir do uso de simuladores do comportamento do fogo, mas os resultados são condicionados pela capacidade dos modelos utilizados. A informação mais demonstrativa procede assim de incêndios e de fogos experimentais em cenários meteorológicos propiciadores de incêndios severos: as ilações extraídas dos primeiros são limitadas pela quantidade e qualidade dos dados apurados, enquanto que os segundos (Alexander & Lanoville, 2004; Fernandes et al., 2004; Gould et al., 2001) são, por razões óbvias, muito escassos.

Diversos estudos – compilados em Fernandes & Botelho (2003), Finney et al. (2003), Outcalt & Wade (2004) – abordam a eficácia de intervenções prévias de gestão de combustíveis com base no seu desempenho em incêndios posteriores. Análises sistemáticas e estatisticamente fundamentadas desses eventos são contudo recentes, extremamente escassas e estão limitadas a ecossistemas florestais dos E.U.A. Assim, Pollet & Omi (2002) e Omi & Martinson (2002b) reportam menores níveis de severidade do fogo em áreas tratadas (com fogo controlado, desbaste, ou ambos) comparativamente a áreas não intervencionadas atingidas pelo mesmo incêndio, aumentando a severidade do fogo com a densidade da formação e decrescendo com a dimensão das árvores. A estrutura florestal explicou 36% da variação da severidade do fogo no estrato arbóreo, num amplo estudo focado em grandes incêndios ocorridos sob a influência de condições meteorológicas extremas (Jain & Graham, 2004).

Num pinhal bravo com 18 anos de idade na Serra do Alvão, Trás-os-Montes, a intensidade de um incêndio de superfície numa área cinco anos antes sujeita a

fogos controlados foi cerca de metade daquela registada na área não tratada, tendo respectivamente dessecado 44% e 79% da extensão vertical da copa viva (estudo a decorrer). No Verão e em situação de risco meteorológico muito elevado, Fernandes et al. (2004) efectuaram um fogo experimental num pinhal bravo com 28 anos de idade, localizado na Serra da Padrela, Trás-os-Montes (ver Figura 1). Nas parcelas tratadas com fogo controlado 2 e 3 anos antes a intensidade e severidade do fogo sofreram reduções drásticas, incluindo a inibição de fogo de copas, comparativamente àquelas nunca intervencionadas ou tratadas 13 anos antes.

A avaliação da eficiência da gestão de combustíveis é dependente da escala espacial de análise. Localmente, e dependendo do grau de modificação estrutural da vegetação e sua persistência temporal, as intervenções alteram inegavelmente o comportamento e efeitos do fogo. Mas as inferências assim obtidas não são extensíveis à paisagem (Alexander, 2003; Finney & Cohen, 2003, Omi & Martinson, 2002a). A esmagadora maioria dos impactes negativos do fogo é obra de um pequeno número de ocorrências espacialmente extensas. O padrão espacial das intervenções é então crucial, já que os grandes incêndios operam a uma escala que frequentemente integra um conjunto de tratamentos localizados que são facilmente contornados, atravessados ou transpostos (e.g. Dunn, 1989). Assim, o tratamento de áreas pequenas ou isoladas reduz pontualmente a severidade de um incêndio mas dificilmente perturba a sua expansão, especialmente quando a acumulação de combustíveis é elevada (Graham et al., 2004).

## 5 – AJUDA À DECISÃO E OPTIMIZAÇÃO

Os manuais de silvicultura preventiva (e.g. Direcção-Geral das Florestas, 2002) são férteis em regras e recomendações de intervenção – por exemplo para a largura da rede divisional ou para a distância entre copas de árvores – aparentemente desprovidas de qualquer base empírica ou científica e que exigem uma análise crítica (Alexander, 2003). As orientações para a lotação dos povoamentos estão essencialmente orientadas para a produção lenhosa, o que pode explicar que se reiterem ideias erróneas sobre a gestão de povoamentos face ao fogo, afirmando, por exemplo, que o coberto de copas deve ser denso (Oliveira et al., 2000). Tam-

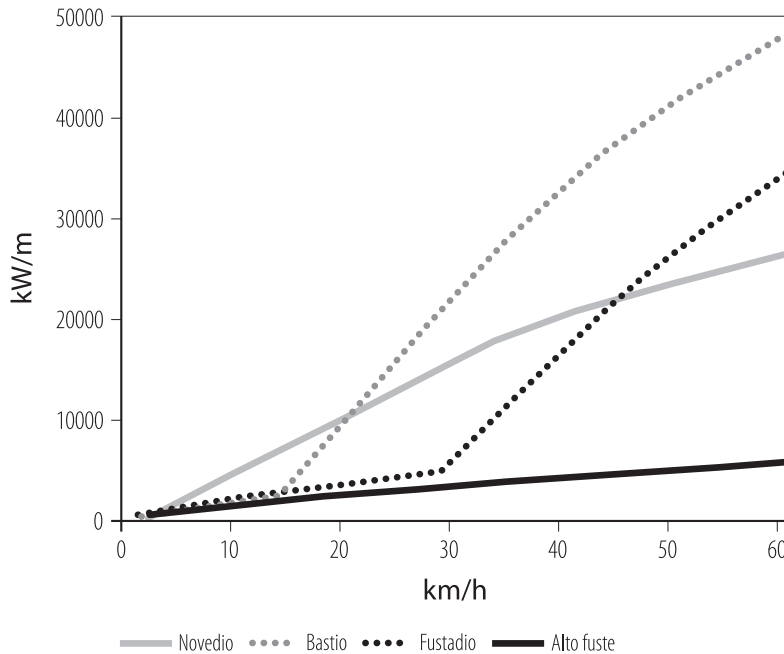
bém as prescrições de desbaste para fins de protecção florestal estão muito pouco desenvolvidas, o que é particularmente notório no caso dos sistemas de silvicultura que conduzem a estruturas irregulares (Weatherspoon, 1996).

A silvicultura preventiva e a gestão de combustíveis devem ser orientadas por critérios objectivos e quantitativos, cuja definição é ainda bastante incipiente. O desenvolvimento de uma prescrição que explicita as modificações na quantidade e estrutura do combustível que tornem o tratamento efectivo em situações meteorológicas extremas passa necessariamente pela avaliação do comportamento do fogo (Peterson et al., 2003), o elo de ligação entre a formulação do desejado grau de resistência ao fogo e a materialização das operações necessárias. Mesmo com as limitações dos modelos actuais, a simulação do comportamento do fogo é útil na justificação concreta das actividades, na avaliação e comparação de técnicas alternativas de execução, e na antecipação do perigo potencial de projectos florestais (Roussopoulos & Johnson, 1975).

A evolução das várias filosofias e modelos de predição do comportamento do fogo deu naturalmente origem a diversas ferramentas de apoio à decisão. O mais conhecido dos simuladores de comportamento do fogo é sem dúvida o sistema BEHAVE, actualmente em remodelação (Andrews et al., 2004), e que nos E.U.A. é usado por 95% das pessoas com responsabilidades na gestão do fogo (Miller & Landres, 2004).

A possibilidade de ocorrência e o tipo de fogo de copas dependem da intensidade do fogo superficial, da distância da base das copas à superfície, e da massa volumica do copado, ou seja, da sua densidade foliar (Van Wagner, 1977). Estas variáveis e a teoria associada têm sido exploradas por diversos autores (Alexander, 1988; Graham et al., 1999; Reyes & O'Hara, 2002; Scott, 2003; Scott & Reinhardt, 2001) no sentido da definição de objectivos quantitativos para o impacte do tratamento na estrutura da formação, a fim de desenvolver orientações silvícolas que objectivamente reduzam o perigo de fogo de copas em coníferas. A Figura 3 exemplifica a importância da estrutura do combustível e do povoamento na intensidade do fogo em pinhal bravo, para o que combina modelos de comportamento do fogo de superfície e de copas.

A altura da base da copa é a distância vertical entre o solo e o copado vivo, cujo critério de início varia entre autores (Cruz et al., 2003), mas que em termos práticos



**Figura 3** – Representação da intensidade do fogo para quatro fases fisionómicas (Oliveira et al., 2000) de desenvolvimento do pinhal bravo nos Perímetros Florestais do Entre Douro e Minho, em função da velocidade do vento (a 10 m de altura), e com humidades do combustível de 4% (morto) e 100% (agulhas vivas). As simulações ligam os modelos para fogo de superfície de Fernandes (2002) a modelos de fogo de copas (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992, tipo de combustível C-6). O efeito da estrutura do povoamento na velocidade do vento (implícito nos resultados) e a fracção de copa ardida estimaram-se segundo Finney (1998). Assume-se o consumo de 95% do combustível fino dos estratos inferiores. As inflexões nas curvas correspondem ao momento em que o fogo transita da superfície para as copas das árvores.

se pode equivaler à altura de inserção dos ramos vivos inferiores. A massa volúmica ( $\text{kg m}^{-3}$ ) do andar arbóreo estima-se dividindo a respectiva carga de combustível disponível (usualmente apenas as agulhas,  $\text{kg m}^{-2}$ ) pela profundidade da copa (a diferença entre as alturas do povoamento e da base da copa) (Alexander, 1988).

A principal dificuldade prática da aplicação destas metodologias reside na dis-



ponibilidade de informação que permita avaliar a massa volúmica foliar a partir de descritores físicos do povoamento que simultaneamente sejam familiares aos silvicultores e facilmente mensuráveis. Cruz et al. (2003) apresentam equações para estimação da massa volúmica e altura da base da copa em tipos florestais do Oeste dos E.U.A., respectivamente a partir da área basal e n.º de árvores por hectare, e da área basal e altura da formação. Em Portugal os estudos do estrato arbóreo como combustível são muito escassos mas já deram origem a expressões dedutivas da massa volúmica (Cruz et al., 2001; Cruz & Viegas, 1998; Fernandes et al., 2002).

Em formações florestais com vários estratos aumenta a dificuldade de estimação, não só da massa volúmica como da altura da base da copa (Perry et al., 2004). Acresce que outros indicadores da densidade foliar poderão superar a massa volúmica na sua relação com a severidade do fogo (Jain & Graham, 2004; Omi & Martinson, 2002b). No futuro será então conveniente dispor de métricas alternativas à massa volúmica das copas, de preferência relacionáveis com os vulgares descritores estruturais de um povoamento (Reyes & O'Hara, 2002). Peterson et al. (2003) sugerem o factor de competição das copas, correlacionado com a massa volúmica, e que pode ser modelado a partir da distribuição dos indivíduos por classe de diâmetro (Alves, 1988), e o espaçamento entre copas de árvores contíguas, um indicador da continuidade horizontal do copado particularmente interessante como elemento de uma prescrição de desbaste.

Até ao momento cingimo-nos à análise à escala do povoamento, mas o planeamento da gestão de combustíveis decorre também a escalas espaciais mais amplas. A interligação de planos concebidos para escalas distintas exige uma abordagem integrada que maximize a eficiência em cada escala, o que pressupõe o uso de ferramentas informáticas diferentes e adequadas a cada escala, como no projecto de demonstração descrito por Long et al. (2003).

Sistemas de apoio à decisão espacialmente explícitos permitem identificar as áreas onde os incêndios são mais prováveis e a forma como se poderão propagar, para então decidir sobre os níveis de redução do perigo e a forma de os alcançar (Sanchez-Guisandez et al., 2002). Simuladores do comportamento e expansão do fogo na paisagem, dos quais o FARSITE (Finney, 1998) merece destaque, dotam este processo de decisão de uma apreciável capacidade analítica, permitindo comparar alternativas de intervenção que diferem quanto ao(s) tratamento(s) e padrão espacial.

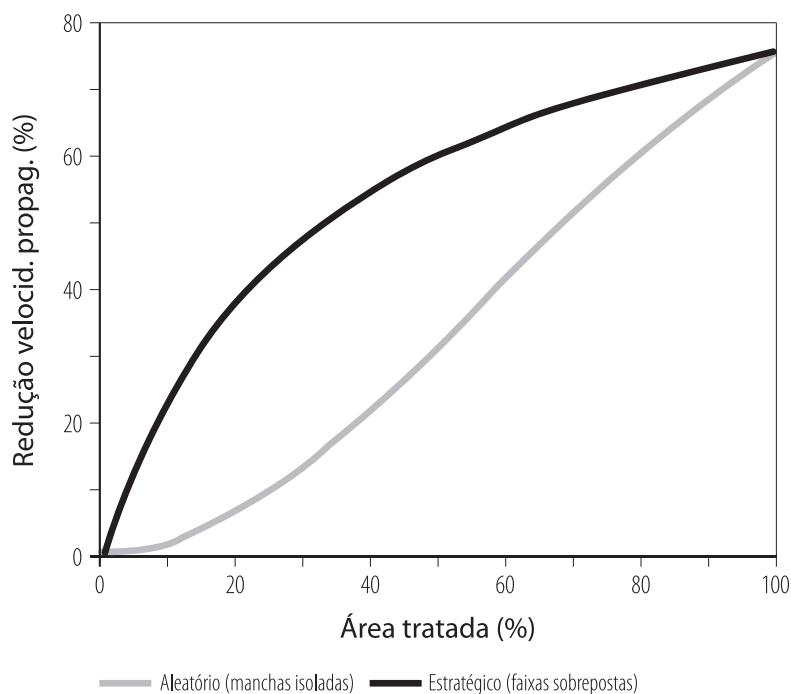
Diversos factores restringem a proporção do território passível de gestão de combustíveis e a optimização da localização das intervenções, nomeadamente o custo de implementação e manutenção, o regime de propriedade, e o estatuto de conservação (Graham et al., 2004). Mislivets & Long (2003) propõem que a definição das preferências de tratamento se baseie na identificação de unidades de território correspondentes a ambientes biofísicos distintos. No âmbito da análise espacial do risco de incêndio as prioridades de intervenção devem ser função da combinação da probabilidade de ignição, comportamento do fogo e valores ameaçados (Cary, 2000), ainda que os custos associados à gestão de combustíveis acabem frequentemente por privilegiar o último componente na decisão (Pollet & Omi, 2002). Questões de conveniência prática, como a acessibilidade e a existência prévia de limites físicos têm também um papel relevante na selecção das áreas de intervenção (Miller & Landres, 2004).

À escala da paisagem, e sendo um incêndio usualmente maior que uma unidade individual de tratamento, a relevância das intervenções locais na vegetação face ao avanço do fogo depende da sua organização espacial em termos de dimensão, forma, orientação e densidade (Finney & Cohen, 2003). O abrandamento significativo da progressão do incêndio depende da existência de um grau razoável de sobreposição entre as manchas tratadas na sua direcção de propagação (Finney, 2001), o que dificilmente sucede com os critérios mencionados no parágrafo anterior, originadores de padrões aleatórios de tratamento.

A gestão de combustíveis deve incidir então em áreas estratégicas, procurando um compromisso entre a minimização da área intervencionada e a criação de padrões espaciais que dificultem a expansão de um incêndio e alterem o seu comportamento (Finney & Cohen, 2003). Em consonância com este princípio, e ao invés do mosaico habitual de tratamento por talhões, Burrows et al. (2000) advogam para pinhal bravo o fogo controlado cada 2-3 anos (mantendo a carga de combustível abaixo de  $6 \text{ t ha}^{-1}$ ), em faixas compridas e largas (500-1000 m) e a espaços de 3 km. Em alternativa, pode resultar igualmente eficaz o paradigma Australiano de gestão de combustíveis em eucaliptal, ou seja, a constituição de mosaicos de combustível de idade variada por aplicação de fogo controlado em manchas individuais extensas (Grant & Wouters, 1993).

Estão a ser desenvolvidas metodologias que visam a optimização da gestão do

combustível na paisagem (Finney, 2002). Entretanto, e para a situação mais simples (alternância de dois “estados” de combustibilidade), é possível examinar o impacto que a intervenção numa determinada fracção do território tem na propagação de um incêndio (Finney, 2001; 2003). O autor considera que intervenções estratégicas em cerca de 20% da área total são satisfatórias, e salienta que seria necessário triplicar a área tratada para obter o mesmo efeito com padrões aleatórios, um resultado que não diverge da aplicação de modelos de percolação (Bever et al., 2004; Loehle, 2004). A Figura 4 aplica o exercício ao pinhal do Entre Douro-e-Minho, com resultados similares.



**Figura 4** – Efeito moderador da gestão de combustíveis na propagação de um incêndio em função do esforço (% da paisagem submetida a intervenção) e padrão espacial dos tratamentos. Elaborado para o pinhal bravo dos Perímetros Florestais do Entre Douro e Minho a partir de simulação com o Behave Plus (Andrews et al., 2004). O tempo médio de acumulação de combustível nas áreas tratadas é de três anos.

O estabelecimento de faixas corta-fogo deve igualmente reger-se por princípios estratégicos (Graham et al., 2004). A presença de barreiras naturais ou artificiais, a existência de acessos, os terrenos relativamente planos em situação de cumeada, e as formações florestais com árvores de porte razoável são favoráveis à instalação prioritária (Weatherspoon & Skinner, 1996).

Em alternativa a um tratamento espacialmente mais exaustivo, uma rede de corta-fogos é teoricamente compensatória comparativamente a intervenções aleatórias em área e que cubram igual proporção da paisagem: a ocupação de 10% da área total traduz-se numa redução da área ardida 12 vezes superior (Loehle, 2004). As limitações da estratégia de isolamento que anteriormente referimos tornam esta estimativa muito optimista, sendo então recomendável que as redes de corta-fogos se utilizem como base para a expansão gradual em área das intervenções de redução/modificação do combustível (Agee et al., 2000; Weatherspoon & Skinner, 1996).

## 6 – CONCLUSÃO

A erradicação do fogo da paisagem não é possível, não sendo sequer desejável em muitas circunstâncias. Esta inevitabilidade pode contudo ser regulada em extensão e severidade, implementando políticas equilibradas de gestão do fogo que assimilem o conceito de controlo do incêndio através do controlo do combustível. Não é possível evitar grandes incêndios e os respectivos malefícios sem criar e manter situações de combustível que reduzam o potencial de libertação de energia numa escala espacial significativa e permitam a acção efectiva dos meios de combate.

A gestão de combustíveis pode tornar-se extraordinariamente complexa na prática, em contraste com a sua simplicidade conceptual, uma vez que é constrangida por diversos factores (que apenas afluam) de carácter ambiental, social e económico, e não decorre isoladamente das restantes componentes da gestão do fogo e do território (Pyne et al., 1996). As reticências em financiar a gestão de combustíveis numa escala espacial significativa são compreensíveis. Se o investimento no tratamento de uma porção razoável da paisagem é elevado, muitíssimo mais elevado é

no entanto o custo combinado – em supressão, danos e reabilitação – associado a um incêndio de elevada severidade que percorra o território em causa.

Importa então minimizar os pesos da subjectividade e arbitrariedade no planeamento e execução de projectos de gestão de combustíveis. A elevada complexidade do comportamento e efeitos do fogo, especialmente em ambientes meteorológicos extremos, acarreta incertezas e impede generalizações quanto à eficácia da gestão de combustíveis.

A capacidade analítica de prescrever acções de gestão de combustíveis para alcançar fins de defesa contra incêndios é limitada pela capacidade e aplicabilidade dos modelos de comportamento do fogo. Tal não obsta contudo à aplicação de princípios básicos que podem e devem informar o processo da tomada de decisão. O conhecimento actual é suficientemente sólido para orientar a manipulação da estrutura florestal no sentido da redução da sua vulnerabilidade ao fogo de acordo com critérios quantificáveis e objectivos.

O futuro próximo deverá assistir a uma evolução assinalável nas orientações quantitativas de silvicultura preventiva e gestão de combustíveis. Os técnicos podem entretanto beneficiar de ferramentas de avaliação e análise a escalas espaciais distintas, com destaque para as aplicações informáticas que em cenários definidos pelo utilizador facultam exames e comparações das consequências de estratégias alternativas no comportamento e severidade de um potencial incêndio.

## REFERÊNCIAS

- Agee, J., Bahro, B., Finney, M., Omi, P., Sapsis, D., Skinner, C., Van Wagtendonk, J. & Weatherspoon, C. (2000). The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*, **127**, 55-66.
- Alexander, M. (1988). Help with making crown fire hazard assessments. In *Symp. & Workshop on Protecting People and Homes from Wildfire in the Interior West*, comp. W. Fischer & S. Arno, General Technical Report INT-251, pp. 147-156. Ogden, Utah: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Alexander, M. (2003). Understanding fire behaviour – the key to effective fuels management. *FERIC Fuels Management Workshop*, Hinton Training Centre, AB. <http://fire.feric.ca/36232003/WorkshopPresentation.htm>.
- Alexander, M. & Lanoville, R. (2004). The International Crown Fire Modelling Experiment fuel treatment trials. In *Proc. 22<sup>nd</sup> Tall Timbers Fire Ecology Conference: Fire in Temperate, Boreal, and Montane Ecosystems*, Eds. R. Engstrom, K. Galley & W. de Groot. Tallahassee: Tall Timbers Research Station.
- Alves, A. M. (1988). *Técnicas de Produção Florestal*. 2ª ed. Lisboa: INIC.
- Andrews, P., Bevins, C. & Seli, R. (2004). *BehavePlus Fire Modeling System, Version 3.0: User's Guide*. General Technical Report RMRS-GTR-106WWW, 132 pp. Ogden, Utah: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Banks, W. & Little, S. (1964). The forest fires of April 1963 in New Jersey point the way to better protection and management. *Fire Control Notes*, **25**, 3-6.
- Bessie, W. & Johnson, E. (1995). The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests. *Ecology*, **76**, 747-762.
- Bevers, M., Omi, P. & Hof, J. (2004). Random location of fuel treatments in wildland community interfaces: a percolation approach. *Canadian Journal of Forest Research*, **34**, 164-173.
- Brose, P. & Wade, D. (2002). Potential fire behavior in pine flatwood forests following three different fuel reduction techniques. *Forest Ecology and Management*, **163**, 71-84.
- Burrows, N., Ward, B. & Robinson, A. (2000). Behaviour and some impacts of a large wildfire in the Ngarangara maritime pine (*Pinus pinaster*) plantation, Western Australia. *CALMScience*, **3**, 251-260.
- Cary, G. (2000). What technology can do. In *Fire! The Australian Experience*, pp. 79-91. Canberra: Australian Academy of Technological Sciences and Engineering Limited.
- Conard, S., Hartzell, T., Hilbruner, M. & Zimmerman, G. (2001). Changing fuel management strate-

- gies – the challenge of meeting new information and analysis needs. *International Journal of Wildland Fire*, **10**, 267-275.
- Countryman, C. (1974). *Can Southern California Wildland Conflagrations be Stopped?* General Technical Report PSW-7, 11 pp. Berkeley, California: USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Cruz, M. G., Alexander, M. E. & 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**, 39-50.
- Cruz, M. G., Santos, M. & Viegas, D. X. (2001). Dinâmica do estrato combustível das copas em povoamentos de *Pinus pinaster* Ait.: implicações no comportamento do fogo. In *Resumos das Comunicações do 4º Congresso Florestal Nacional*, pp. 44. Lisboa: SPCF.
- Cruz, M. G. & Viegas, D. X. (1998). Crown fuel dynamics in bluegum eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) plantations fuel complex: implications on extreme fire behaviour phenomenology. In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Forest Fire Research & 14<sup>th</sup> Fire and Forest Meteorology Conference*, Ed. D. X. Viegas, pp. 2089-2109. Coimbra: ADAI.
- Davis, L. & Cooper, R. (1963). How prescribed fire affects wildfire occurrence. *Journal of Forestry*, **61**, 915-917.
- Direcção-Geral das Florestas (2002). *Manual de Silvicultura Para a Prevenção de Incêndios*. Lisboa: DGF.
- Dunn, A. (1989). The effects of prescribed burning on fire hazard in the chaparral: toward a new conceptual synthesis. In *Proceedings of the Symposium on Fire and Watershed Management*, Ed. N. H. Berg, Gen. Tech. Rep. PSW-109, pp. 23-29. Albany: USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Dupuy, J., Valette, J. & Morvan, D. (2004). FIRE STAR: A complete physical model of forest fire behaviour as a tool to manage the forest fuel on wildland-urban interfaces. In *Proceedings of the International Workshop on Forest Fires in the Wildland-Urban Interface and Rural Areas in Europe*, Ed. G. Xanthopoulos, pp. 105-112. Chania: MAICH.
- Dureau, R. (2003). *Gestion des Garrigues à Chêne Kermès sur Coupures de Combustible*. Réseau Coupures de Combustible, Vol. 8. Morières: Éditions de la Cardère.
- Fernandes, P. (2002). *Desenvolvimento de Relações Preditivas para Uso no Planeamento de Fogo Controlado em Povoamentos de Pinus pinaster Ait.* Tese de Doutoramento. Vila Real: UTAD.
- Fernandes, P. & Botelho, H. (2003). A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 117-128.

- Fernandes, P. & Botelho, H. (2004). Analysis of the prescribed burning practice in the pine forest of northwestern Portugal. *Journal of Environmental Management*, **70**, 15-26.
- Fernandes, P., Botelho, H. & Loureiro, C. (2000a). Fire hazard implications of alternative fuel management techniques – case studies from Northern Portugal. In *Crossing the Millenium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management*, Eds. L. Neuenschwander & K. Ryan, Vol. 2, pp. 268-270. Boise: University of Idaho/International Association of Wildland Fire.
- Fernandes, P., Loureiro, C. & Botelho, H. (2004). Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science*, **61**, 537-544.
- Fernandes, P., Loureiro, C., Botelho, H., Ferreira, A. & Fernandes, M. (2002). Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana*, **10**, 73-90.
- Fernandes, P. & Rego, F. (1998). Changes in fuel structure and fire behaviour with heathland aging in Northern Portugal. In *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology*, Ed. R. Weber, pp. 433-436. Fairfield: International Association of Wildland Fire.
- Fernandes, P., Ruivo, L., Gonçalves, P., Rego, F. & Silveira, S. (2000b). Dinâmica da combustibilidade nas comunidades vegetais da Reserva Natural da Serra da Malcata. In *Actas do Congresso Ibérico de Fogos Florestais*, pp. 177-186. Castelo Branco: ESAC.
- Finney, M. (1998). *FARSITE: Fire Area Simulator – Model Development and Evaluation*. Research Paper RMRS-RP-4, 47 pp. Ogden, Utah: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Finney, M. (2001). Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behaviour. *Forest Science*, **47**, 219-228.
- Finney, M. (2002). Use of graph theory and a genetic algorithm for finding optimal fuel treatment locations. In *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Ed. D. X. Viegas. Rotherdam: Millpress (CD-ROM).
- Finney, M. (2003). Calculating fire spread rates across random landscapes. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 167-174.
- Finney, M., Bartlette, R., Bradshaw, L., Close, K., Collins, B., Gleason, P., Hao, W., Langowski, P., McGinely, J., McHugh, C., Martinson, E., Omi, P., Shepperd, W. & Zeller, K. (2003). Fire behavior, fuel treatments, and fire suppression on the Hayman fire. In *Hayman Fire Case Study*, Tech ed. R. Graham, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-114, pp. 33-147. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service.
- Finney, M. & Cohen, J. (2003). Expectation and evaluation of fuel management objectives. In *Fire, Fuel Treatments, and Ecological Restoration*, Eds. P. Omi & L. Joyce, Proc. RMRS-P-29, pp. 353-366.



- Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Forestry Canada Fire Danger Group (1992). *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Inf. Rep. ST-X-3. Ottawa: Forestry Canada.
- Gould, J., Cheney, N. & McCaw, L. (2001). Project Vesta – Research into the effects of fuel structure and fuel load on behaviour of moderate to high-intensity fires in dry eucalypt forest: progress report. In *Proceedings of the Bushfires 2001 Conference*. Christchurch.
- Graham, R., Harvey, A., Jain, T. & Tonn, J. (1999). *The Effects of Thinning and Similar Stand Treatments on Fire Behaviour in Western Forests*. General Technical Report PNW-463, 27 pp. Portland: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Graham, R., McCaffrey, S. & Jain, T. (tech. eds.) (2004). *Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity*. General Technical Report RMRS-GTR-120, 43 pp. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Grant, S. & Wouters, M. (1993). *The Effect of Fuel Reduction Burning on the Suppression of Four Wildfires in Western Victoria*. Research Report No. 41. Victoria: Department of Conservation and Environment.
- Gutsell, S., Johnson, E., Miyanishi, K., Keeley, J., Dickinson, M. & Bridge, S. (2001). Varied ecosystems need different fire protection. *Nature*, **409**, 977.
- Jain, T. & Graham, R. (2004). Is forest structure related to fire severity? Yes, no, and maybe: methods and insights in quantifying the answer. In *Silviculture in Special Places*, Proc. of the National Silviculture Workshop (Proc. RMRS-P-34), comp. W. Shepperd & L. Eskew, pp. 217-234. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Keeley, J., Fotheringham, C. & Morais, M. (1999). Reexamining fire suppression impacts on brushland fire regimes. *Science*, **284**, 1829-1832.
- Loehle, C. (2004). Applying landscape principles to fire hazard reduction. *Forest Ecology and Management*, **198**, 261-267.
- Long, D., Ryan, K., Stratton, R., Mathews, E., Scott, J., M., M., Miller, M. & Hood, S. (2003). Modeling the effects of fuel treatments for the Southern Utah fuel management demonstration project. In *Fire, Fuel Treatments, and Ecological Restoration*, Eds. P. Omi & L. Joyce, Proc. RMRS-P-29, pp. 387-395. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- McCarthy, G. & Tolhurst, K. (2001). *Effectiveness of Broadscale Fuel Reduction Burning in Assisting with Wildfire Control in Parks and Forests in Victoria*. Fire Management Research Report No. 51. Victoria: Natural Resources and Environment.
- Miller, C. & Landres, P. (2004). *Exploring Information Needs for Wildland Fire and Fuels Management*.

- General Technical Report RMRS-GTR-127, 36 pp. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Mislivets, M. & Long, D. (2003). Prioritizing fuel management activities using watersheds and terrain unit. In *5<sup>th</sup> Symp. Fire and Forest Meteorology & 2<sup>nd</sup> International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress*, P1.7. American Meteorological Society (CD-ROM).
- Moreira, F. & Rego, F. (2001). Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, **16**, 557-567.
- Mota, S. (2003). *Descrição do Combustível Florestal para o Estudo Experimental do Comportamento do Fogo em Pinhal Bravo*. Relatório final de estágio, Lic.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Florestal. Vila Real: UTAD.
- Oliveira, A., Pereira, J. & Correia, A. (2000). *A Silvicultura do Pinheiro Bravo*. Porto: Centro Pinus.
- Omi, P. & Martinson, E. (2002a). Effectiveness of thinning and prescribed fire in reducing wildfire severity. In *Sierra Nevada Science Symposium*.
- Omi, P. & Martinson, E. (2002b). *Effect of Fuels Treatment on Wildfire Severity*. Final Report to the Joint Fire Science Program Governing Board. Fort Collins: Colorado State University.
- Outcalt, K. & Wade, D. (2004). Fuels management reduces tree mortality from wildfires in southeastern United States. *Southern Journal of Applied Forestry*, **28**, 28-34.
- Perry, D., Jing, H., Youngblood, A. & Oetters, D. (2004). Forest structure and fire susceptibility in volcanic landscapes of the Eastern High Cascades, Oregon. *Conservation Biology*, **18**, 913-926.
- Peterson, D., Johnson, M., Agee, J., Jain, T., McKenzie, D. & Reinhardt, E. (2003). Fuels planning: managing forest structure to reduce fire hazard. In *5<sup>th</sup> Symposium on Fire and Forest Meteorology & 2<sup>nd</sup> International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress*. 3D.5. American Meteorological Society (CD-ROM).
- Pollet, J. & Omi, P. (2002). Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests. *International Journal of Wildland Fire*, **11**, 1-10.
- Pye, J., Prestemon, J., Butry, D. & Abt, K. (2003). Prescribed burning and wildfire risk in the 1998 fire season in Florida. In *Fire, Fuel Treatments, and Ecological Restoration*, Eds. P. Omi & L. Joyce, Proceedings RMRS-P-29, pp. 15-26. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Pyne, S., Andrews, P. & Laven, R. (1996). *Introduction to Wildland Fire*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley and Sons.
- Reyes, C. & O'Hara, K. (2002). Quantifying stand targets for silvicultural prevention of crown fires. *Western Journal of Applied Forestry*, **17**, 101-109.
- Rigolot, E. (2002). Fuel-break assessment with an expert appraisal approach. In *Forest Fire*

- Research & Wildland Fire Safety*, Ed. D. X. Viegas. Rotherdam: Millpress (CD-ROM).
- Rigolot, E. & Etienne, M. (1998). Impact of fuel control techniques on *Cistus monspeliensis* dynamics. In *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology*, Ed. R. Weber, pp. 467-471. Fairfield: International Association of Wildland Fire.
- Roussopoulos, P. & Johnson, V. (1975). *Help in Making Fuel Management Decisions*. Research Paper NC-112. St. Paul: USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Sanchez-Guisandez, M., Cui, W. & Martell, D. (2002). FireSmart management of flammable wildland urban interface landscapes. In *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Ed. D. X. Viegas. Rotherdam: Millpress (CD-ROM).
- Santos, F., Forbes, K. & Moita, R. (eds.) (2002). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*. Lisboa: Gradiva.
- Schoennagel, T., Veblen, T. & Romme, W. (2004). The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests. *BioScience*, **54**, 661-676.
- Scott, J. (2003). Canopy fuel treatment standards for the wildland-urban interface. In *Fire, Fuel Treatments, and Ecological Restoration*, Eds. P. Omi & L. Joyce, Proceedings RMRS-P-29, pp. 29-37. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Scott, J. & Reinhardt, E. (2001). *Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior*. Research Paper RMRS-RP-29, 59 pp. Fort Collins, Colorado: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Silva, J., Fernandes, P., & Vasconcelos, J. (2000). The effect on surface fuels and fire behavior of thinning a *Pinus pinaster* stand in Central Portugal. In *Crossing the Millenium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management*, Eds. L. Neuenschwander & K. Ryan, Vol. 2, pp. 275-277. Boise: University of Idaho/International Association of Wildland Fire.
- Tsiouvaras, C., Havlik, N. & Bartolome, J. (1989). Effects of goats on understory vegetation and fire hazard reduction in a coastal plain in California. *Forest Science*, **35**, 1125-1131.
- Valette, J. C., Rigolot, E. & Etienne, M. (1992). *Integration des Techniques de Débroussailement dans l'Aménagement de Defense de la Forêt Contre les Incendies*. PIF 9203. Avignon: INRA.
- Van Wagner, C. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, **3**, 373-378.
- Waldrop, T., Glass, D., Rideout, S., Shelburne, V., Mohr, H. & Phillips, R. (2004). An evaluation of fuel-reduction treatments across a landscape gradient in Piedmont forests: preliminary results of the National Fire and Fire Surrogate Study. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Biennial Southern Silvicultural Research Conference*, Ed. K. Connor, General Technical Report SRS-71, pp. 54-59.

Asheville, North Carolina: USDA Forest Service, Southern Research Station.

Weatherspoon, C. (1996). Fire-silviculture relationships in *Sierra forests*. In *Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress, vol. II, Assessments and Scientific Basis for Management Options*, pp. 1167-1176. Davis: University of California.

Weatherspoon, C. & Skinner, C. (1995). An assessment of factors associated with damage to tree crowns from the 1987 wildfires in Northern California. *Forest Science*, **41**, 430-451.

Weatherspoon, C. & Skinner, C. (1996). Landscape-level strategies for forest fuel management. In *Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress, vol. II, Assessments and Scientific Basis for Management Options*, pp. 1471-1492. Davis: University of California.

Whitlock, C. (2004). Forests, fire and climate. *Nature*, **432**, 28-29.

Whitlock, C., Shafer, S. & Marlon, J. (2003). The role of climate and vegetation change in shaping past and future fire regimes in the northwestern US and the implications for ecosystem management. *Forest Ecology and Management*, **178**, 5-21.