

Avaliação Indirecta da Carga de Combustível em Pinhal Bravo

Paulo Fernandes*, Carlos Loureiro*, Hermínio Botelho, António Ferreira*** e Marta Fernandes*****

*Engenheiro Florestal

**Professor Associado

*** Estagiário

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento Florestal. Quinta de Prados, 5000-911 VILA REAL

Sumário. Muitas das actividades associadas à gestão do fogo não são possíveis sem a avaliação da carga de combustível florestal. Desenvolveram-se equações para quantificar a carga de combustível dos vários componentes do complexo-combustível em pinhal bravo: folhada, material lenhoso caído, vegetação do sub-bosque e biomassa foliar na copa das árvores. Os modelos utilizam variáveis independentes de fácil obtenção que descrevem a estrutura do combustível (espessura, altura, coberto, volume), a dimensão das árvores (diâmetro à altura do peito), ou relacionam a quantidade de combustível com a idade e estrutura do povoamento.

Palavras-chave: *Pinus pinaster* Aiton; gestão do fogo; biomassa; dinâmica do combustível; inventário do combustível

Abstract. The evaluation of forest fuel loading is required by most fire management activities. Equations addressing each component of the maritime pine fuel complex - litter, downed woody fuel, understory vegetation, and tree crown foliage - were developed in order to quantify their respective fuel loadings. The models use easily obtainable independent variables that describe fuel structure (depth, height, cover, volume), tree dimension (diameter at breast height), or relate fuel load to stand age and structure.

Key words: *Pinus pinaster* Aiton; fire management; biomass; fuel dynamics; fuel inventory

Résumé. La plupart des activités de gestion du feu ne sont possibles qu'après estimation de la charge du combustible forestier. On a défini des équations qui permettent de quantifier la charge des différents composants de l'ensemble du combustible en peuplements de pin maritime: litière, bois mort, végétation du sous-bois, et feuillage des arbres. Les modèles utilisent des variables indépendantes, d'obtention aisée, qui décrivent la structure du combustible (épaisseur, hauteur, recouvrement, volume), la dimension des arbres (diamètre à la hauteur de la poitrine) ou qui associent l'accumulation du combustible par rapport à l'âge et à la structure du peuplement.

Mots clés: *Pinus pinaster* Aiton; gestion du feu; biomasse; dynamique du combustible; inventaire du combustible

Introdução

Os impactes do fogo no ambiente e do Homem sobre o fogo são intermediados e condicionados pela vegetação, o que justifica a sua descrição como um combustível. A magnitude e velocidade de libertação de energia por um fogo é directamente proporcional à carga de combustível (BYRAM, 1959), isto é, à quantidade de biomassa por unidade de área.

Importa distinguir o combustível total daquele que está efectivamente disponível para a combustão e que depende, entre outros factores, da dimensão dos elementos constituintes. O padrão de descrição de combustíveis considera três classes de diâmetro, respectivamente inferior a 6 mm, de 6 a 25 mm, e de 25 a 75 mm; a biomassa viva só é contabilizada se pertencente à classe fina (ROTHERMEL, 1972). É o combustível fino que controla a propagação do fogo, pelo que é especialmente importante quantificar as suas propriedades.

As actividades de cartografia da combustibilidade, gestão de combustíveis, e planeamento da pré-supressão e supressão de incêndios são hoje apoiadas por sistemas de predição do comportamento do fogo (e.g. ANDREWS, 1983), cujo funcionamento requer estimativas da carga de combustível. A possibilidade de controlo de um incêndio é relacionável com a carga de combustível, o que permite definir e atribuir prioridades de protecção (WILSON, 1992). Finalmente, a avaliação da carga de combustível é crucial no fogo controlado, uma vez que o sucesso de uma queima está dependente da obtenção de um efeito específico e pré-determinado de redução de combustível

(BROWN *et al.*, 1991).

Idealmente, a aquisição de informação quantitativa acerca do combustível florestal deveria recorrer a procedimentos de inventário baseados em amostragem destrutiva. No entanto a morosidade e custos associados a estes métodos inviabilizam o seu uso pelas entidades que gerem os espaços florestais. A alternativa é dada por abordagens indirectas mas razoavelmente exactas, que normalmente assentam no estabelecimento de relações preditivas entre a carga de combustível e variáveis de fácil medição. Assim, a quantidade de manta morta é frequentemente relacionada com a sua espessura (HARRINGTON, 1986; VAN WAGTENDONK *et al.*, 1998), ou com características do povoamento (SACKETT e HAASE, 1991; FULE e COVINGTON, 1994), enquanto que o combustível lenhoso é estimável por métodos de intercepção linear (VAN WAGNER, 1968; BROWN, 1971). As equações para estimativa de componentes da biomassa arbustiva e arbórea recorrem a variáveis dimensionais do caule ou tronco (BROWN, 1976), copa (FRANSEN, 1983), ou ambos (BROWN, 1978).

A predição da carga de combustível pode também utilizar o tempo de acumulação (ou idade do povoamento) como variável independente, resultando em curvas de acumulação de combustível de grande utilidade, nomeadamente na racionalização do planeamento da gestão do combustível (e.g. FENSHAM, 1992).

Os estudos de caracterização de combustíveis florestais em povoamentos de *Pinus pinaster* Ait. em Portugal têm visado essencialmente o desenvolvimento de modelos de combustível

(FERNANDES *et al.*, 1991; NATÁRIO e PEREIRA, 1992) para uso em sistemas de predição do comportamento do fogo baseados no modelo de propagação de ROTHERMEL (1972). Existem diversos modelos para avaliar a biomassa arbustiva à escala da espécie (e.g. PEREIRA *et al.*, 1995), geralmente com problemas de escala que restringem a sua aplicabilidade. No vale do Tâmega, a carga de combustível por componente (folhada, fetos, arbustos) foi relacionada, com graus diversos de sucesso, com as características estruturais do povoamento e do sub-bosque (FERNANDES, 1991), mas apenas as comunidades de *Erica umbellata* - *Chamaespartium tridentatum* dispõem de um esquema preditivo prático e de âmbito mais alargado (FERNANDES e REGO, 1998a).

Este estudo tem como objectivo o desenvolvimento de formas indirectas, expeditas e fiáveis de estimar a carga de combustível no ecossistema pinhal bravo, dada a sua ausência generalizada. Consideraremos não só o estrato superficial (folhada e vegetação do sub-bosque), que constitui o vector de propagação primário da maioria dos fogos, como também o estrato arbóreo; independentemente de estarem ou não envolvidas no avanço do fogo, as copas das árvores influenciam o comportamento do fogo no combustível superficial (PYNE *et al.*, 1996).

Métodos

Excepto onde mencionado, o trabalho de campo decorreu de 1998 a 2000 em povoamentos puros e regulares de pinheiro bravo no norte e centro de Portugal, mais concretamente nos Perímetros Florestais de Entre Vez e Coura e Vieira e Monte-Crasto no Alto

Minho, em várias áreas de floresta pública e privada em Trás-os-Montes, essencialmente localizadas nas Serras do Alvão, Marão e Padrela, e no Perímetro Florestal de S. Pedro Dias, Lousã. Os locais de amostragem situam-se a altitudes de 350 a 970 metros sobre substrato granítico ou xistoso, com variações de 10 a 15°C na temperatura média anual e de 800 a 2400 mm na precipitação anual.

A selecção da(s) parcela(s) de amostragem num determinado povoamento fez-se por inspecção visual, tendo tido como critérios a uniformidade estrutural do estrato arbóreo e do sub-bosque. A fim de caracterizar sumariamente o povoamento, e visando a possibilidade de correlação com as cargas de combustível, efectuou-se uma avaliação dendrométrica de cada parcela de amostragem, medindo o diâmetro à altura do peito (1,30 m) e altura de todas as árvores vivas incluídas num círculo com 500 m² de área, e calculando posteriormente a área basal, densidade, e índice de classe de qualidade de acordo com MARQUES (1987). Quando desconhecida, a idade do povoamento foi determinada por contagem do número de anéis de crescimento em verrumadas extraídas de três árvores dominantes.

No Perímetro Florestal do Entre Vez e Coura a técnica do fogo controlado é utilizada, e está documentada, desde 1991 (REGO e FERREIRA, 2000), sendo conhecido o tempo decorrido desde a última queima nas várias parcelas amostradas. Da mesma forma, uma parte das parcelas de estudo em Trás-os-Montes tinha previamente sido sujeita a queimas experimentais em datas diversas (de 1988 a 1999), o que permitiu analisar a dinâmica de acumulação de combustível.

A metodologia de amostragem diferiu de acordo com o componente do complexo-combustível. No entanto, independentemente da sua natureza, o peso seco do material recolhido obteve-se após secagem em estufa de convecção durante 48 horas à temperatura de 65°C, e, quando referido à unidade de área, exprimiu-se em t ha⁻¹.

Procedimentos específicos

Folhada

A folhada compreende os horizontes L, matéria orgânica não lenhosa que mantém intactas as suas características morfológicas, e F, a camada de fermentação que iniciou o processo de decomposição mas cujas partículas são ainda reconhecíveis (BROWN, 1970), correspondendo respectivamente às designações O_i e O_e da terminologia de solos florestais (VAN WAGTENDONK *et al.*, 1998). Designaremos os dois horizontes respectivamente como folhada superior e folhada inferior.

Para a medição e recolha da folhada utilizaram-se unidades de amostragem quadradas com 0,07 m², posicionadas aleatoriamente (ainda que evitando sobreposições entre folhada e vegetação do sub-bosque) e definidas por uma estrutura metálica que se manteve imóvel através de espigões. A folhada exterior ao perímetro do quadrado removeu-se cuidadosamente com uma lâmina de ferro de aresta afiada, a fim de expor o perfil da folhada no interior da unidade de amostragem. Mediram-se as espessuras dos horizontes L e F ao longo dos quatro lados do quadrado para obter o valor médio de espessura de cada camada (HARRINGTON, 1986). Recolheu-se separadamente o combustível de cada

horizonte, efectuando uma pré-remoção (finalizada em laboratório) dos materiais lenhoso e inorgânico.

A determinação do volume das amostras permitiu quantificar vários parâmetros complementares que descrevem o grau de compactação da folhada superior: a massa volúmica e a razão de compactação (ROTHERMEL, 1972), a porosidade (ROTHERMEL e ANDERSON, 1966), e a distância entre partículas (DUPUY, 1995). Requerendo os cálculos informação adicional sobre a densidade aparente e relação entre superfície e volume das partículas, assumiram-se os valores respectivos de 660 kg m⁻³ e 46 cm⁻¹ (FERNANDES e REGO, 1998b).

A queda anual de folhada foi caracterizada em dois povoamentos, localizados respectivamente na Serra do Alvão e em Andrães (Vila Real). O estudo iniciou-se em Outubro de 1999 e decorreu exactamente durante um ano, tendo consistido na colheita semanal da biomassa depositada em cinco micro-parcelas com 4 m² (2x2 m) delimitadas em cada local; toda a manta morta foi removida do interior das unidades de amostragem antes do início do trabalho. O material recolhido foi separado em laboratório em três categorias: agulhas, material lenhoso <6 mm, e material lenhoso >6 mm (incluindo pinhas).

Combustível lenhoso

VAN WAGNER (1968) desenvolveu um método relativamente simples de avaliação da quantidade de resíduos lenhosos provenientes de exploração florestal ou de operações silvícolas, baseado no cálculo do volume interceptado por um transecto linear e sua posterior conversão em carga. O nosso objectivo consistiu no exame da

possibilidade de adaptação da técnica para avaliar o combustível lenhoso integrado na folhada e que é apenas parcialmente visível, assumindo portanto que o volume não detectado pelo transecto é proporcional àquele que é mensurável.

A amostragem decorreu num povoamento na Serra do Alvão com 33 anos de idade e um gradiente notório de acumulação de combustível lenhoso, resultante de queda natural ou de operações de desrama efectuadas em anos anteriores. Em amostras de 1 m², localizadas aleatoriamente e delimitadas por uma estrutura metálica rectangular (0,5 x 2,0 m), estabeleceu-se um transecto linear posicionado centralmente no sentido da maior dimensão do rectângulo, que funcionou como linha de amostragem ao longo da qual se mediram os diâmetros das peças lenhosas interceptado de acordo com as regras indicadas por VAN WAGNER (1968). Os valores foram registados numa ficha, indicando o diâmetro e a posição ao longo da linha de 2 metros. Em seguida, todo o combustível lenhoso incluído na amostra (sobre e na folhada) era colhido, e posteriormente separado nas fracções de diâmetro <6 mm e >6 mm.

Sub-bosque

A obtenção de dados referentes ao sub-bosque lenhoso dispensou o trabalho de campo, dado o volume de informação disponível, referente a comunidades arbustivas no Norte (FERNANDES, 1991; REGO *et al.*, 1993; BOTELHO *et al.*, 1994) e Centro do País (NATÁRIO e PEREIRA, 1992), e no Noroeste de Espanha (VEGA *et al.*, 1992).

Compilaram-se os dados contidos nas publicações anteriores, complemen-

tando-os por resultados não publicados de alguns inventários de combustível. A disponibilidade simultânea da carga e da estrutura (altura e coberto) da vegetação arbustiva sob coberto de *Pinus pinaster* constitui o elemento de unificação entre as várias proveniências de dados. A base de dados assim constituída contempla, grosso modo, três tipos de dominância: i) por *Chamaespartium tridentatum* e *Erica umbellata*, muito representativo do domínio bioclimático sub-atlântico, ii) por *Ulex europaeus* e/ou *U. minor*, típico do norte atlântico, e iii) por ericáceas diversas (nomeadamente *Erica arborea*), importante no centro atlântico-mediterrâneo.

O sub-bosque do pinhal bravo é por vezes dominado por um estrato de fetos (*Pteridium aquilinum*), especialmente nas estações mais produtivas (MARQUES, 1987). A sua amostragem considerou a condição viva ou morta da estrutura aérea das plantas. Colheram-se na Serra do Marão amostras de 0,5 m² (1x0,5 m) representativas de cada uma das situações, respectivamente em Junho e Janeiro. Antes do corte mediu-se a altura média e percentagem de coberto da vegetação contida na unidade de amostragem, a fim de permitir o cálculo da massa volúmica.

Folhagem de *Pinus pinaster*

O trabalho de campo referente à biomassa foliar das copas decorreu na Primavera de 1992 no âmbito de um estudo dos efeitos do fogo controlado em árvores de *Pinus pinaster* (BOTELHO, 1996). Amostraram-se árvores na Serra da Padrela e nos Perímetros Florestais de Vieira e Monte-Crasto e S. Pedro Dias, nas quais se mediram as seguintes características dimensionais para correlação com a quantidade de agulhas

na copa: diâmetro à altura do peito, altura, comprimento da copa, e diâmetro da copa (tomado como o seu máximo diâmetro).

Após abate das árvores, dividiu-se a copa em quatro estratos de igual comprimento, medindo o diâmetro da copa na base de cada secção, e individualizando a colheita de biomassa foliar por secção. O volume de cada estrato foi calculado assumindo troncos de cone, com excepção do andar superior, equiparado a um cone; esta forma de cálculo constitui a melhor aproximação ao volume de um parabolóide, o sólido geométrico que melhor descreve a copa das coníferas (MAWSON *et al.*, 1976). De forma a padronizar os dados, a altura correspondente ao topo de cada secção foi transformada em altura relativa (variando de 0 a 1) em relação à altura total da árvore, e a biomassa foliar exprimiou-se em percentagem acumulada ao longo do perfil da árvore. Os procedimentos descritos neste parágrafo tiveram como objectivo a descrição e modelação da distribuição vertical de agulhas na copa do pinheiro.

Análise estatística

Uma análise preliminar gerou matrizes de correlação para detectar a existência de relações entre as cargas de combustível e as variáveis independentes, isto é os parâmetros descritivos da estrutura do povoamento e do combustível e o tempo de acumulação. Análises gráficas ajudaram a especificar a forma funcional mais adequada em cada caso.

Os modelos derivaram-se por análise de regressão linear e não-linear, utilizando como critérios de escolha do melhor modelo o erro padrão da estimativa (s_{yx}), que expressa a precisão, e o coeficiente de determinação (R^2), que avalia a bondade do ajustamento (MYERS, 1986). Em casos de violação dos pressupostos do método dos mínimos quadrados transformaram-se logaritmicamente ambos os membros da equação, corrigindo o enviesamento induzido pela transformação de acordo com SNOWDON (1991), ou recorreu-se a regressão não-linear ponderada, sendo os factores de ponderação seleccionados com base no cálculo da função de verosimilhança máxima (CROW e LAIDLAY, 1980).

Resultados e discussão

Relações entre a carga e a estrutura do combustível

O Quadro 1 apresenta a variação observada nos descritores estruturais básicos dos vários componentes do complexo-combustível em povoamentos de *Pinus pinaster*. Excluiu-se à partida o estabelecimento de relações preditivas entre a carga de combustível e variáveis estruturais do povoamento, dada a perturbação induzida pela influência humana. Ainda assim, observaram-se algumas correlações significativas ($P < 0,05$), nomeadamente entre o diâmetro médio à altura do peito (DAP) e as quantidades de folhada e de arbustos, que tendem respectivamente a aumentar e a diminuir com o acréscimo daquela variável.

Quadro 1 - Variação amostral dos descritores estruturais de cada tipo de combustível

Variável	Média	Intervalo de variação
Folhada (n=70)		
Espessura da folhada superior, cm	2,8	1,2 - 5,5
Espessura da folhada inferior, cm	2,4	0,4 - 6,0
Espessura total, cm	5,2	1,6 - 10,0
Carga de folhada superior, t ha ⁻¹	5,7	1,5 - 8,6
Carga de folhada inferior, t ha ⁻¹	10,6	2,0 - 25,2
Carga total de folhada, t ha ⁻¹	16,3	5,1 - 32,1
Combustível lenhoso (n=30)		
Coberto da classe <6 mm, %	3,6	1,8 - 6,6
Coberto da classe >6 mm, %	4,0	0,8 - 14,4
Carga da classe <6 mm, t ha ⁻¹	0,9	0,3 - 2,0
Carga da classe >6 mm, t ha ⁻¹	3,8	1,2 - 15,2
Feto (<i>Pteridium aquilinum</i>) seco (n=10)		
Altura, m	0,31	0,11 - 0,45
Coberto, %	84	70 - 100
Carga da classe <6 mm, t ha ⁻¹	4,0	2,1 - 5,8
Arbustos (n=37)		
Altura, m	0,42	0,02 - 1,31
Coberto, %	54,5	1,0 - 100,0
Carga da classe <6 mm, t ha ⁻¹	6,1	0,1 - 20,8
Folhagem arbórea (n=56)		
Diâmetro à altura do peito, cm	7	1 - 20
Altura, m	4,6	1,6 - 10,4
Comprimento da copa, m	3,0	1,1 - 6,6
Diâmetro da copa, m	1,2	0,5 - 3,3
Carga, kg árvore ⁻¹	2,7	0,2 - 10,9

Folhada

A relação entre a quantidade de folhada e a sua espessura é aproximadamente linear. Após exclusão de observações incaracteristicamente compactadas com massas volúmicas superiores a 30 kg m⁻³, derivou-se a seguinte equação:

$$\text{CRG L} = 2,163 \text{ ESP L}^{0,926} \quad (1)$$

(R² = 0,73, s_{yx} = 0,73, n=64)

em que CRG L é a carga de folhada superior em t ha⁻¹, e ESP L é a sua espessura em cm. 85% da variância residual de (1) é explicável pela massa volúmica, mas é impossível relacionar

esta variável com parâmetros facilmente mensuráveis no campo, apesar de tender (não significativamente, P=0,113) a diminuir com o aumento da espessura. Aquando da colheita das amostras verificámos que a presença de quantidade significativas de material lenhoso ou arbustivo na folhada originava uma estrutura mais porosa.

Da mesma forma:

$$\text{CRG F} = 4,791 \text{ ESP F}^{0,922} \quad (2)$$

(R² = 0,60, s_{yx} = 3,71, n=66)

sendo CRG F a carga de folhada inferior em t ha⁻¹, e ESP F a sua profundidade em cm. Também neste caso a massa volúmica do estrato explicou uma porção

considerável (79%) dos resíduos de (2), não havendo qualquer relação entre a massa volúmica e a espessura. A menor qualidade do ajustamento de (2) em relação a (1) dever-se-á à maior dificuldade em definir objectivamente a espessura do horizonte F.

Estabeleceu-se também uma relação para avaliação global da carga de folhada (CRG LF) a partir da sua espessura (ESP LF). Não havendo nos dados qualquer evidência de não-linearidade, ajustou-se um modelo linear, forçando-o através da origem para fazer corresponder uma carga nula à ausência de espessura:

$$\text{CRG LF} = 3,128 \text{ ESP LF} \\ (R^2 = 0,91, s_{yx} = 4,27, n=66) \quad (3)$$

É importante notar que a equação (3) é adequada somente quando ambos os horizontes estão bem representados, equivalendo o seu coeficiente à massa volúmica média (31,3 kg m⁻³). Uma equação similar desenvolvida para plantações de *Pinus pinaster* no sudoeste da Austrália (McCORMICK, 1973) tem um declive quase idêntico (3,07), mas sobrestima a carga de combustível em folhadas menos profundas.

A massa volúmica de um determinado tipo de folhada é frequentemente assumida constante e independente da sua espessura e quantidade (e.g. BROWN, 1981). Sendo assim, a massa volúmica constitui uma alternativa grosseira mas aceitável ao uso das equações (1) e (2), e

pode ser mais prática em certas situações (por exemplo a avaliação da remoção de combustível num fogo controlado). Exprimindo aquela variável em t ha⁻¹ cm⁻¹ (FINNEY e MARTIN, 1993) temos que 1 cm de folhada superior corresponde a 2,2 t ha⁻¹, e 1 cm de folhada inferior representa cerca de 4,8 t ha⁻¹.

O Quadro 2 caracteriza a folhada superior de pinheiro bravo em relação aos parâmetros estruturais que descrevem o grau de compactação do leito combustível. A consistência das médias é bastante evidente, ainda que os valores extremos observados denotem uma variação apreciável. DUPUY (1995), para o coeficiente de compactação e distância entre partículas, e DELAVEAUD (1981) para a massa volúmica, obtiveram valores médios virtualmente idênticos aos deste estudo.

A compactação da manta morta florestal difere extraordinariamente entre espécies, sendo os extremos inferior e superior representados respectivamente por caducifólias de folha larga (e.g. VALETTE e PORTIER, 1992) e por coníferas de agulha curta (e.g. VAN WAGTENDONK *et al.*, 1998). O Quadro 2 indicia uma folhada razoavelmente arejada, qualificável como moderadamente compacta, e que equipara o pinheiro bravo a outras coníferas de agulha média a comprida (BROWN, 1970 e 1981; DELAVEAUD, 1981).

Quadro 2 - Descritores da compactação da folhada superior de *Pinus pinaster*

Parâmetro	Média ± erro padrão	Intervalo de variação
ρ_b , kg m ⁻³	20,4±0,5	10,9-33,4
β	0,0309±0,0008	0,0165-0,0506
λ , cm ³ cm ⁻²	0,713±0,019	0,408-1,298
d, cm	0,42±0,01	0,30-0,59

ρ_b = massa volúmica; β = coeficiente de compactação; λ = porosidade; d = distância entre partículas

Combustível lenhoso

Os métodos que estimam a carga de combustível lenhoso depositado sobre o solo florestal multiplicam o respectivo volume lenhoso pela densidade específica do material. Esta conversão não é aplicável neste estudo, uma vez que a linha de amostragem interceptou apenas uma parte do combustível colhido nas parcelas. Assim sendo, e para minimizar os cálculos envolvidos, substituiu-se o volume pela percentagem de coberto, o que simplifica a utilização dos resultados.

A regressão das cargas de combustível lenhoso (CRG LN, t ha⁻¹) nos respectivos cobertos (CLN, %), individualizando as classes de tamanho, resultou nas seguintes equações:

$$\text{CRG LN}<6 = 0,278 \text{ CLN}<6 \\ (R^2 = 0,57, s_{yx} = 0,29, n=30) \quad (4)$$

$$\text{CRG LN}>6 = 0,937 \text{ CLN}>6 \\ (R^2 = 0,95, s_{yx} = 0,75, n=30) \quad (5)$$

Usando a forma geral do modelo linear $y=a+bx$ o valor de a não foi significativamente diferente de zero ($P>0,05$) em ambos os casos, pelo que se constrangeram as equações de forma a que a ausência de carga correspondesse a um coberto nulo. O desempenho de (5) é consideravelmente melhor, o que não surpreende, uma vez que não só a probabilidade de intercepção por um transecto será maior para peças lenhosas de maiores diâmetros, as quais emergem mais facilmente da camada de agulhas, como o erro associado à medição dessas intercepções deverá ser menor.

A efectividade das equações não é limitada apenas pelo pressuposto em que assentam, isto é, a proporcionalidade entre a carga total de combustível lenhoso e aquela que é detectável pelo

transecto. Diferenças de densidade específica entre os combustíveis lenhosos, essencialmente devidas a dimensões distintas (RYAN e PICKFORD, 1978; SACKETT, 1980; NALDER *et al.*, 1997) fazem com que haja variação na carga associada a um determinado volume.

Sub-bosque

Uma análise de covariância mostrou não haver influência do tipo de vegetação sobre a biomassa arbustiva ($P=0,626$). Por outro lado, verifica-se uma correlação altamente significativa ($P<0,0001$) da quantidade de arbustos com a altura média da vegetação ($R=0,71$) e sua percentagem de coberto ($R=0,88$). A combinação entre estas duas variáveis exprime o volume da vegetação (Ivarb) e permitiu ajustar o modelo

$$\text{CRG ARB}<6 = 0,555 (\text{Ivarb})^{0,743} \\ (R^2 = 0,94, s_{yx} = 2,31, n=37) \quad (6)$$

sendo CRG ARB<6 a carga arbustiva fina (t ha⁻¹) e Ivarb o índice de volume, calculado como o produto entre a altura (m) média dos arbustos e a sua percentagem de coberto.

A equação (6) compartilha 25 observações com a equação prévia de FERNANDES e REGO (1998a), mas é mais abrangente e tem uma capacidade preditiva acrescida. Trata-se de um modelo genérico, desenvolvido com dados de proveniência geográfica variada e respeitantes a várias comunidades florísticas, e que consideramos robusto e aplicável à Península Ibérica ocidental atlântica, sub-atlântica e atlântico-mediterrânea, desde que espécies dos géneros *Cytisus* ou *Cistus* não dominem o sub-bosque.

O valor médio obtido para a massa

volúmica do feto (*Pteridium aquilinum*) vivo foi de $0,165 \pm 0,024 \text{ kg m}^{-3}$, muito similar aos $0,15 \text{ kg m}^{-3}$ de MARECHAL (1990). À medida que o Outono avança vão secando progressivamente e tombam sobre a folhada, reduzindo 10 vezes o volume ocupado (MARECHAL, 1990), e originando uma estrutura consideravelmente mais compacta ($1,690 \pm 0,240 \text{ kg m}^{-3}$) mas cuja massa volúmica (MV Pt) é relacionável com a altura (H Pt):

$$\text{MV Pt} = 3,332 - 5,231 \text{ H Pt} \\ (R^2 = 0,53, s_{yx} = 0,55, n=10) \quad (7)$$

Folhagem de *Pinus pinaster*

Verificou-se que a biomassa foliar do pinheiro bravo (CRG FOL, kg árvore^{-1}) está mais bem correlacionada com as variáveis associadas à copa das árvores do que com aquelas que descrevem o seu fuste. O melhor desempenho foi dado pela regressão linear $\text{CRG FOL} = 0,729y - 0,407$, em que y é o produto entre o diâmetro da copa (m) e o seu comprimento (m), explicando 90% da variação observada na quantidade de agulhas. Este resultado não surpreende, uma vez que aquela combinação de parâmetros constitui uma aproximação ao volume da copa, mas é dificilmente aplicável numa avaliação à escala do povoamento. Em alternativa recorreu-se ao diâmetro à altura do peito, que se revelou superior à altura das árvores, a outra variável de uso prático:

$$\text{CRG FOL} = 0,217 \text{ DAP}^{1,243} \\ (R^2 = 0,88, s_{yx} = 0,04, n=56) \quad (8)$$

A quantidade de folhagem por hectare obtém-se multiplicando o resultado de (8) pelo número de árvores por hectare.

As médias da massa volúmica e da carga por unidade de área de agulhas,

calculadas com base no volume e área de projecção da copa de cada árvore, respectivamente, são $1,348 \pm 0,107 \text{ kg m}^{-3}$ e $1,908 \pm 0,155 \text{ kg m}^{-2}$. Estes parâmetros são relativamente pouco sensíveis a variações morfológicas, mas ambos respondem positivamente a acréscimos na razão entre o comprimento e o diâmetro da copa, o que indica que a disponibilidade e continuidade de combustível serão maiores em povoamentos densos e não desramados.

O estudo da distribuição foliar em relação ao perfil vertical da árvore recorreu ao conceito de altura relativa (Hrel), que variou de 0 a 1, correspondentes respectivamente ao nível do solo e ao topo da copa. Não se observaram agulhas vivas para $\text{Hrel} < 0,25$, sendo que, em média, 74% das agulhas estão concentradas em $\text{Hrel} > 0,75$. A distribuição vertical de biomassa foliar ao longo do perfil da árvore modelou-se como

$$\text{FOL rel} = 100 \exp\left(2,349 \frac{\text{Hrel} - 1}{\text{Hrel}}\right) \\ (R^2 = 0,96, s_{yx} = 0,11, n=224) \quad (9)$$

sendo FOLrel a quantidade acumulada de agulhas da copa (em percentagem da quantidade total) correspondente a uma determinada altura relativa na árvore. Juntando (8), (9) e a densidade do povoamento (DENS, árvores ha^{-1}) segue-se que

$$\text{CRG FOLrel} = 0,217 \times 10^3 (\text{DAP}^{1,243}) \\ \exp\left(2,349 \frac{\text{Hrel} - 1}{\text{Hrel}}\right) \times \text{DENS} \quad (10)$$

onde CRG FOLrel é a biomassa foliar (t ha^{-1}) acumulada até uma determinada Hrel na copa das árvores. O perfil vertical da biomassa foliar pode também ser descrito pela densidade de agulhas, sendo distinguíveis três classes de massa volúmica: $0,6 \text{ kg m}^{-3}$ se $\text{Hrel} \leq 0,75$, $2,2 \text{ kg m}^{-3}$ quando $0,75 < \text{Hrel} < 0,95$, e $10,0$

kg m⁻³ quando $H_{rel} \geq 0,95$ (zona apical). Outros resultados sobre a repartição vertical das agulhas (LEMOINE *et al.*, 1986) e da sua área foliar (PORTÉ *et al.*, 2000) em *Pinus pinaster* não são comparáveis a estes, por tomarem como referência variáveis não disponíveis neste estudo.

Entre as aplicações potenciais da informação anterior incluem-se não só a geração de *inputs* para modelos de comportamento do fogo, e, no âmbito do fogo controlado, a avaliação do volume de copa afectada e da queda de agulhas dessecadas após a queima, como também a utilização em estudos relativos ao crescimento e funcionamento dos povoamentos.

Os dados subjacentes à análise descrevem apenas árvores de porte reduzido (altura até 10 m e DAP até 20 cm) e algo jovens (idade até 18 anos), mas que todavia representam as situações de maior vulnerabilidade do povoamento face à possibilidade de ocorrência de fogo de copas. A investigação futura deverá estender a amostragem para árvores de maiores dimensões, e considerar também a biomassa lenhosa. SILVA *et al.* (1991) apresentam equações para estimar os resíduos lenhosos do pinheiro bravo após exploração florestal, mas um modelo deste tipo deverá idealmente discriminar entre classes de tamanho e permitir avaliações em função da quantidade de copa removida para aplicação a operações de desrama.

Dinâmica do combustível

Deposição anual de folhada

A queda total de folhada nos povoamentos estudados, respectivamente Andrães e serra do Alvão, foi de 6,74 e

9,01 t ha⁻¹ ano⁻¹, com a seguinte repartição: agulhas, 78% e 65%; material lenhoso <6 mm, 5% em ambos os locais; material lenhoso >6 mm, 17% e 30%. Os valores são consentâneos com a diferença de área basal entre os povoamentos (21 e 42 m² ha⁻¹), mas é legítimo esperar a influência de factores como a classe de qualidade e a idade (BERG *et al.*, 1999). Importa frisar que devido a variações meteorológicas a variação inter-anual poderá ser bastante importante, conforme observou MONTERO *et al.* (1990); PORTÉ *et al.* (2000) referem que a senescência das agulhas de pinheiro bravo com três anos é bastante sensível ao stress hídrico.

A queda anual de agulhas medida neste estudo inclui-se no intervalo de variação 1,2 - 6,6 t ha⁻¹ indicado para os pinhais europeus (BERG *et al.*, 1999). Informação comparativa relativa ao *Pinus pinaster* é relativamente escassa. Assim, BERG *et al.* (1999) reportam 3,4 t ha⁻¹ no Furadouro, centro de Portugal, enquanto que MONTERO *et al.* (1990) observaram no centro de Espanha, e no decurso de um período de 4 anos, valores máximos similares aos nossos. HERNANDEZ *et al.* (1992) para Zamora, Espanha, e SOLARI e SICCARDI (1998) para a Ligúria, Itália, indicam quantidades bastante menores e inferiores a 2 t ha⁻¹.

A deposição de agulhas foi marcadamente sazonal, com o período Agosto-Outubro a concentrar 70% da queda anual de biomassa foliar em Andrães e 64% no Alvão. A deposição acumulada de agulhas em percentagem do seu valor total (QAL) seguiu uma relação logística com o tempo que, não havendo efeito estatístico do local, ou da sua interacção com o tempo, se descreve através da seguinte equação:

$$QAL = \frac{100}{1 + \exp(7,020 - 0,194ts)} \quad (11)$$

($R^2 = 0,99$, $s_{yx} = 3,7$, $n=104$)

sendo ts o número de semanas (1 a 52) decorrido desde o início do ano. PAUSAS (1997), em *Pinus sylvestris*, e MONTERO *et al.* (1990), também referem padrões temporais logísticos na queda de agulhas, com picos em Agosto-Outubro e Julho-Setembro, respectivamente. Embora a forma da curva logística não deva variar apreciavelmente entre anos, ocorrem flutuações em resposta às condições ambientais (VOSE e ALLEN, 1991).

A deposição dos restantes componentes da folhada não evidenciou qualquer sazonalidade, e, tal como sucedeu com as agulhas, o local não influenciou a evolução temporal do valor percentual acumulado. As equações (12) e (13) descrevem adequadamente o padrão observado:

$$QALN < 6 = 0,020 ts^{2,125} \quad (12)$$

($R^2 = 0,97$, $s_{yx} = 4,7$, $n=104$)

$$QALN > 6 = 0,080 ts^{1,768} \quad (13)$$

($R^2 = 0,97$, $s_{yx} = 4,6$, $n=104$)

sendo QALN a deposição acumulada de combustível lenhoso (por classe de tamanho) em percentagem do valor anual.

Acumulação de combustível

O Quadro 3 documenta os intervalos de variação dos dados utilizados no estudo da acumulação de combustível. O acréscimo temporal da carga de combustível é usualmente (e.g. FENSHAM, 1992; FERNANDES e REGO, 1998c) descrito por um modelo exponencial que tende para uma assíntota. No entanto, e tal como constatado anteriormente (McNAB *et al.*, 1978; JOHANSEN *et al.*, 1981), esta abordagem pode não ser suficiente por si só: após ajustamento da equação em

função do tempo de acumulação verificámos que porções consideráveis da variância residual das cargas de folhada eram explicadas pelas características do povoamento, das quais se destacou nitidamente a área basal (R^2 entre 0,44 e 0,66). Equações integrando as duas variáveis foram então ajustadas à quantidade de folhada superior e à quantidade total de folhada, após pesquisa da forma funcional mais adequada:

$$CRG L = 1,108 (G^{0,473}) (1 - \exp(-0,871 t)) \quad (14)$$

($R^2 = 0,93$, $s_{yx} = 1,34$, $n=28$)

$$CRG LF = 2,025 (G^{0,677}) (1 - \exp(-0,276 t)) \quad (15)$$

($R^2 = 0,94$, $s_{yx} = 4,40$, $n=20$)

sendo G a área basal em $m^2 ha^{-1}$, e t o tempo de acumulação em anos desde o último fogo controlado (ou a idade, em povoamentos não sujeitos a tratamento de combustíveis). Basicamente, as equações (14) e (15) informam-nos que a acumulação de folhada obedece a um padrão temporal, mas que o valor máximo alcançado depende da área basal, que exprime o efeito conjugado do solo, clima e gestão silvícola. A divisão de três pelo coeficiente de regressão associado ao tempo indica o tempo necessário para que a carga de combustível alcance 95% do valor máximo possível (PILLERS e STUART, 1993), sendo 3-4 anos para (14) e de 11 anos para (15).

As expressões (14) e (15) fornecem orientações gerais úteis como instrumento de planeamento, mas convém não perder de vista as suas limitações. A dinâmica da acumulação a curto prazo de folhada após fogo controlado é influenciada pela quantidade de folhada residual e, em menor grau, pela eventual ocorrência de um efeito de copa dessecada pelo calor libertado pelo fogo.

Quadro 3 - Variação amostral das variáveis utilizadas na modelação da acumulação de combustível

Variável	Média	Intervalo de variação
Folhada (n=28)		
Tempo de acumulação, anos	10	1 - 30
Idade do povoamento, anos	24	10 - 40
Diâmetro à altura do peito, cm	16,3	4,9 - 30,0
Densidade, árvores ha ⁻¹	1699	480 - 3657
Altura, m	10,8	3,7 - 20,0
Área basal, m ² ha ⁻¹	29,1	6,9 - 56,5
Classe de qualidade, m	17	13 - 23
Carga de folhada superior, t ha ⁻¹	5,7	1,5 - 8,6
Carga de folhada inferior, t ha ⁻¹	10,6	2,0 - 25,2
Carga total de folhada, t ha ⁻¹	16,3	5,1 - 32,1
Arbustos (n=77)		
Tempo de acumulação, anos	11	1 - 25
Altura, m	0,78	0,26 - 1,16
Coberto, %	77	17 - 100
Carga da classe <6 mm, t ha ⁻¹	11,5	1,7 - 16,9

A modelação do crescimento arbustivo com o tempo seguiu uma abordagem similar, ainda que as características do povoamento não tenham sido integradas na análise, dada a sua disponibilidade para apenas algumas parcelas. Utilizaram-se dados do Entre Vez-e-Coura referentes à estrutura de dois tipos de sub-bosque, respectivamente dominados por *Ulex minor* e por *Chamaespartium tridentatum* (minoritário). A carga de combustível arbustivo estimou-se com a equação (6), não excedendo os seus limites de aplicabilidade. Não sendo a biomassa arbustiva significativamente afectada pelo tipo de vegetação ($P=0,610$) nem pela sua interacção com o tempo de acumulação ($P=0,342$), ajustou-se o seguinte modelo:

$$\text{CRG ARB}<6 = 14,242 (1 - \exp(-0,211 t)) \quad (16)$$

$(R^2 = 0,95, s_{yx} = 2,57, n=77)$

Em 14 anos alcança-se 95% de 14 t ha⁻¹, o valor médio máximo, que pode no entanto variar substancialmente (de 8 a 18 t ha⁻¹), provavelmente em relação com as condições da estação, características do povoamento e historial de perturbações.

A aplicação mais óbvia das equações (14) a (16) reside no delineamento temporal de programas de gestão de combustíveis, em função da carga máxima de combustível admissível de acordo com as prioridades locais de protecção florestal.

A Figura 1 apresenta o confronto entre os valores observados e estimados para uma parte dos modelos desenvolvidos.

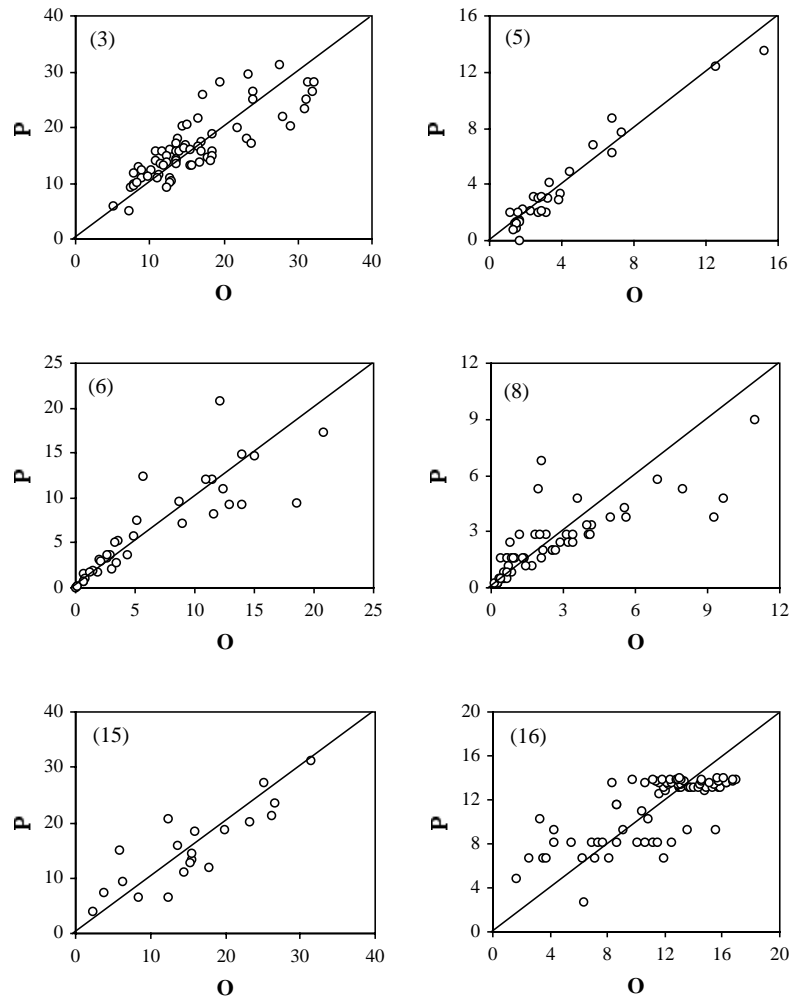


Figura 1 – Valores de carga de combustível observados (O) versus estimados (P) por alguns dos modelos desenvolvidos: folhagem (equação 3), combustível lenhoso >6 mm (5), arbustos (6), folhagem de *Pinus pinaster* (8), folhagem (15), e arbustos (16). Unidades em $t\ ha^{-1}$, excepto (8), ($kg\ árvore^{-1}$)

Conclusão

Embora a quantidade de combustível varie grandemente no espaço e no tempo pode ser estimada a partir de características estruturais do combustível

ou do povoamento, ou do próprio tempo de acumulação. O conjunto de modelos desenvolvidos constitui um método objectivo de descrição e quantificação da carga de combustível em pinhal bravo, e representa uma expansão importante em

relação ao conhecimento previamente disponível.

Os utilizadores potenciais deverão estar cientes das limitações dos resultados obtidos. Os locais estudados são razoavelmente representativos do leque de condições sob as quais o pinheiro bravo vegeta no norte e centro do País, mas o essencial da amostragem concentrou-se em Trás-os-Montes, o que limitou as comunidades florísticas do sub-bosque representadas nos dados. Também a caracterização da copa do *Pinus pinaster* como combustível potencial permanece incompleta, já que a componente lenhosa não foi alvo de estudo.

As equações são de natureza empírica e a sua utilização não deve exceder os intervalos de variação amostrados (Quadros 1 e 3). Só após validação extensiva o sistema de predição desenvolvido se poderá considerar um meio eficiente e exacto de determinar a carga de combustível a partir de variáveis facilmente obtíveis. Ainda assim, será recomendável efectuar alguma amostragem destrutiva para verificar e corrigir as estimativas se em locais ou tipos de vegetação específicos for requerida uma exactidão elevada.

Agradecimentos

Este artigo resulta fundamentalmente dos projectos de investigação FLOR/2103/95 (PRAXIS XXI), PEAM/C/IF/0009/97 (FCT/CNEFF), e ENV4-CT98-0715 (DGXII/CE). As actividades de campo desenvolvidas no Perímetro Florestal de Entre Vez-e-Coura beneficiaram da colaboração da Eng^a Sónia Ferreira (EFN).

Bibliografia

- ANDERSON, H.E., BROWN, J.K., 1987. Fuel characteristics and fire behavior considerations in the wildlands. In *Proc. Symposium and Workshop on Protecting People and Homes from Wildfire in the Interior West*, Missoula, pp. 124-130.
- ANDREWS, P.L., 1983. A system for predicting the behavior of forest and range fires. In *Proc. SCS Conf. of Computer Simulation in Emergency Planning*, La Jolla, San Diego, pp. 75-78.
- BERG, B., ALBREKTSON, A., BERG, M., CORTINA, J., JOHANSSON, GALLARDO, A., MADEIRA, M., PAUSAS, J., KRATZ, W., VALLEJO, R., McCLAUGHERTY, C. 1999. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.* **56** : 625-639.
- BOTELHO, H.S., 1996. *Efeitos do fogo controlado em árvores de povoamentos jovens de Pinus pinaster Ait.* Dissertação de Doutoramento, UTAD, Vila Real.
- BOTELHO, H., VEGA, J.A., FERNANDES, P., REGO, F., 1994. Prescribed fire behavior and fine fuel consumption in Northern Portugal and Galiza maritime pine stands. In *Proc. 2nd Int. Conf. on Forest Fire Research*, Viegas, D.X. (Ed.), Coimbra, pp. 343-353.
- BROWN, J.K., 1970. *Physical fuel properties of ponderosa pine forest floors and cheatgrass.* USDA For. Serv. Res. Note INT-74, Intermt. For. and Range Exp. Stn. Ogden, Utah.
- BROWN, J.K., 1971. A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area. *Forest Sci.* **17**(1) : 96-102.
- BROWN, J.K., 1976. Estimating shrub biomass from basal stem diameters. *Can. J. For. Res.* **6**(2) : 153-158.
- BROWN, J.K., 1978. *Weight and density of crowns of Rocky Mountain conifers.* USDA For. Serv. Res. Pap. INT-197, Intermt. For. and Range Exp. Stn. Ogden, Utah.
- BROWN, J.K., 1981. Bulk densities of nonuniform surface fuels and their application to fire modeling. *Forest Sci.* **27**(4) : 667-683.

- BROWN, J.K., REINHARDT, E.D., FISCHER, W.C., 1991. Predicting duff and woody fuel consumption in Northern Idaho prescribed fires. *Forest Sci.* **37**(6) : 1550-1566.
- BYRAM, G.M., 1959. Combustion of forest fuels. In *Forest Fire Control and Use*, Ed. Davis, K.P., pp. 61-89. McGraw-Hill Book Company, New York.
- CROW, T.R., LAIDLAY, P.R., 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. *Can. J. For. Res.* **10** : 367-370.
- DELAVEAUD, P., 1981. *Le feu, outil sylvicole? Utilisation pratique des données de combustibilité*. Mém. 3eme année, École Nationale des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Forêts / INRA, Avignon.
- DUPUY, J.L., 1995. Slope and fuel load effects on fire behaviour: laboratory experiments in pine needles fuel beds. *Int. J. Wildland Fire* **5**(3) : 153-164.
- FENSHAM, R.J., 1992. The management implications of fine fuel dynamics in bushlands surrounding Hobart, Tasmania. *J. Environ. Manage.* **36** : 301-320.
- FERNANDES, P.M., 1991. *Caracterização do combustível florestal em ecossistemas de Pinus pinaster Ait.: aplicação do Sistema BEHAVE*. Relatório final de estágio, UTAD, Vila Real.
- FERNANDES, P.M., BOTELHO, H., REGO, F., 1991. Modelação dos combustíveis em povoamentos de *Pinus pinaster* Ait. In *Comunicações do Encontro sobre Pinhal Bravo, Material Lenhoso e Resina*, SPCF/ESAC/CFC, Coimbra, pp 183-192.
- FERNANDES, P.M., REGO, F.C., 1998a. Equations for estimating fuel load in shrub communities dominated by *Chamaespartium tridentatum* and *Erica umbellata*. In *Proc. 3rd International Conf. on Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conf.*, D.X. Viegas (Ed.), Luso, Vol. II, pp. 2553-2564.
- FERNANDES, P.M., REGO, F.C., 1998b. A new method to estimate fuel surface area-to-volume ratio using water immersion. *Int. J. Wildland Fire* **8**(3) : 121-128.
- FERNANDES, P.M., REGO, F.C., 1998c. Changes in fuel structure and fire behaviour with heathland aging in Northern Portugal. In *Proc. 13th Conf. on Fire and Forest Meteorology*, IAWF, Lorne, Australia, pp. 433-436.
- FINNEY, M., MARTIN, R., 1993. Fuel loading, bulk density, and depth of forest floor in coast redwood stands. *Forest Sci.* **39**(3) : 617-622.
- FRANSEN, W.H., 1983. Modeling big sagebrush as a fuel. *J. Range Manage.* **36**(5) : 596-600.
- FULE, P.Z., COVINGTON, W.W., 1994. Double sampling increases the efficiency of forest floor inventories for Arizona ponderosa pine forests. *Int. J. Wildland Fire* **4**(1): 3-10.
- HARRINGTON, M.G., 1986. *Comparison of forest floor depth to loading relationships from several Arizona ponderosa pine stands*. USDA For. Serv. Rocky Mte. For. and Range Exp. Stn. Res. Note RM-463. Fort Collins, Arizona.
- HERNANDEZ, I., GALLARDO, J., SANTA-REGINA, I., 1992. Dynamics of organic matter in forests subject to a mediterranean semi-arid climate in the Duero basin (Spain): litter production. *Acta Oecol.* **13**(1) : 55-65.
- JOHANSEN, R., LAVDAS, L., LOOMIS, R., 1981. Estimating fuel weights before prescription burning shortleaf pine stands. *South. J. Appl. For.* **5**(3): 128-131.
- LEMOINE, B., GELPE, J., RANGER, J., NYS, C., 1986. Biomasses et croissance du pin maritime. Étude de la variabilité dans un peuplement de 16 ans. *Ann. Sci. For.* **43**(1) : 67-84.
- MARECHAL, J., 1990. *Le phytovolume et la phytomasse des strates basses sur les coupures de combustible, en région méditerranéenne*. INRA, Station de Sylviculture Méditerranéenne, Doc. PIF9012, Avignon.
- MARQUES, C.P., 1987. *Qualidade das estações florestais - povoamentos de pinheiro bravo no Vale do Tâmega*. Dissertação de Doutoramento, UTAD, Vila Real.

- MAWSON, J.C., THOMAS, J.W., DEGRAAF, R.M., 1976. *Program HTVOL: the determination of tree crown volume by layers*. USDA For. Serv., Northeastern For. Exp. Stn. Res. Pap. NE-354. Upper darby, PA.
- McCORMICK, J., 1973. *Assessing maritime pine fuel quantity*. Res. Paper N° 7, Forests Dpt. of Western Australia, Perth.
- McNAB, H., EDWARDS, M., HOUGH, W., 1978. Estimating fuel weights in slash pine-palmetto stands. *Forest Sci.* **24**(3) : 345-358.
- MONTERO, G., GOMEZ, J.A., ORTEGA, C., 1990. *Estimacion de la productividad aerea en una repoblacion de Pinus pinaster Ait. en el centro de España*. INIA, Departamento de Sistemas Forestales, Madrid.
- MYERS, R.H., 1986. *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press, Boston.
- NALDER, I., WEIN, R., ALEXANDER, M., DE GROOT, W., 1997. Physical properties of dead and downed round-wood fuels in the boreal forests of Alberta and Northwest Territories. *Can. J. For. Res.* **27** : 1513-1517.
- NATÁRIO, R.M., PEREIRA, J.M., 1992. Relatório do projecto de modelação de combustíveis para o pinhal bravo. DGF, D.S. Produção, Div. Defesa e Protecção dos Arvoredos, Lisboa.
- PAUSAS, J.G., 1997. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *J. Veget. Sci.* **8** : 643-650.
- PEREIRA, J.C., SEQUEIRA, N.M., CARREIRAS, J.M., 1995. Structural properties and dimensional relations of some Mediterranean shrub fuels. *Int. J. Wildland Fire* **5**(1) : 35-42.
- PILLERS, M., STUART, J., 1993. Leaf-litter accretion and decomposition in interior and coastal old-growth redwood stands. *Can. J. For. Res.* **23** : 552-557.
- PORTÉ, A., BOSC, A., CHAMPION, I., LOUSTAU, D., 2000. Estimating the foliage area of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) branches and crowns with application to modelling the foliage area distribution in the crown. *Ann. For. Sci.* **57** : 73-86.
- PYNE, S.J., ANDREWS, P.L., LAVEN, R.D., 1996. *Introduction to wildland fire*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- REGO, F.C., FERREIRA, S., 2000. Preparación de un plan de gestión de quema controlada para un perímetro forestal del norte de Portugal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* **9** : 29-34.
- REGO, F.C., BOTELHO, H.S., FERNANDES, P., RUAS, L., 1993. *Forest fire prevention through prescribed burning: experimental study on fire effects on litter and soil, final Report*. UTAD, Vila Real.
- ROTHERMEL, R.C., 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115 Intermt. For. and Range Exp. Stn. Ogden, Utah.
- ROTHERMEL, R.C., ANDERSON, H.E., 1966. *Fire spread characteristics determined in the laboratory*. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-30 Intermt. For. and Range Exp. Stn. Ogden, Utah.
- RYAN, K.C., PICKFORD, S.G., 1978. *Physical properties of woody fuels in the Blue Mountains of Oregon and Washington*. USDA For. Serv. Res. Note PNW-315, Pacific Northwest For. and Range Exp. Stn. Portland, Oregon.
- SACKETT, S.S., 1980. *Woody fuel particle size and specific gravity of southwestern tree species*. USDA For. Serv. Rocky Mte. For. and Range Exp. Stn. Res. Note RM-389. Fort Collins, Arizona.
- SACKETT, S.S., HAASE, S., 1991. Predicting forest floor weights indirectly. In *Proc. 11th Conf. Fire and Forest Meteorology*, Missoula, pp. 382-386.
- SILVA, R., TAVARES, M., PÁSCOA, F., 1991. Residual biomass of forest stands, *Pinus pinaster* Ait. and *Eucalyptus globulus* Labill. In *Proc. 10º Congresso Florestal Mundial*, Paris, N°5.
- SNOWDON, P., 1991. A ratio estimator for bias correction in logarithmic regressions. *Can. J. For. Res.* **21** : 720-724.

- SOLARI, P., SICCARDI, F., 1998. Soil degradation and erosion in small Mediterranean watersheds: non-linear interaction between forest fires and extreme rainfall processes. In *Proc. 3rd International Conf. on Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conf.*, D.X. Viegas (Ed.), Luso, Vol. II, pp. 1333-1344.
- VALETTE, J.C., PORTIER, D., 1992. *Caracteristiques physiques des feuilles de Quercus pubescens*. INRA, Laboratoire de Recherches Forestières Méditerranéennes, Doc. PIF9216, Avignon.
- VAN WAGNER, C.E., 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Sci.* **10** : 267-276.
- VAN WAGTENDONK, BENEDICT, J.M., SYDORIAK, W.M., 1998. Fuel bed characteristics of Sierra Nevada conifers. *West.J. Appl For.* **13**(3) : 73-84.
- VEGA, J.A., BARÁ, S., CUIÑAS, P., GÓMEZ, J., FONTURBEL, M., ALONSO, M., 1992. *Forest fire prevention through prescribed burning. Experimental study on fire effects on litter and soil, 1er informe anual*. CIF, Pontevedra.
- VOSE, J.M., ALLEN, H.L., 1991. Quantity and timing of needle fall in N and P fertilized loblolly pine stands. *For. Ecol. Manage.* **41** : 205-219.
- WILSON, A.G., 1992. *Assessing fire hazard on public lands in Victoria: fire management needs, and practical research objectives*. Res. Rep. N° 31, Fire Management Branch, Dept. of Conservation and Environment, Victoria.

Submetido para publicação em Janeiro de 2001

Aceite para publicação em Maio de 2002