

A Selectividade do Fogo Face À Exposição das Encostas

Maria do Carmo Nunes¹, Maria J. Vasconcelos^{1,2} e José M.C. Pereira²

¹Instituto de Investigação Científica Tropical

Travessa Conde da Ribeira, 9, 1º, 1300-142 Lisboa, Portugal

Tel/Fax: 213640046, e-mail: mcarmonunes@hotmail.com

²Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-018 Lisboa, Portugal

RESUMO

Os factores que influenciam a ocorrência e a propagação dos fogos florestais são as condições meteorológicas, o combustível florestal e a topografia da região. Com este estudo pretende-se investigar, se os fogos florestais são selectivos em relação à topografia, nomeadamente se existe preferência por determinadas classes de exposição das encostas, como se verificou relativamente ao coberto vegetal em trabalhos já publicados pelos autores. A análise estatística foi efectuada a duas escalas espaciais - local e regional, sendo os fogos agrupados em três classes de tamanho, para avaliar os padrões de selectividade relativamente à sua dimensão. Esta estratificação dos dados permitiu, indirectamente, inferir se são as condições meteorológicas ou a exposição das encostas que determinam preferencialmente a propagação dos fogos, uma vez que os fogos grandes acontecem em condições extremas, de ventos fortes e temperaturas elevadas. Os resultados indicam que, independentemente da sua dimensão, os fogos são selectivos à exposição das encostas, sendo esta selectividade mais relevante nos fogos grandes. Esta abordagem permite responder a questões pertinentes para o ordenamento florestal do país, com a identificação de potenciais padrões de selecção do fogo.

PALAVRAS-CHAVE: Fogos florestais, Selecção de recursos, Exposição das encostas, SIG, Portugal.

1. Introdução

A paisagem Portuguesa tem vindo a sofrer alterações nas últimas décadas, sendo um dos principais agentes destas alterações o fogo florestal (Rego, 1992; Moreira *et al.*, 2001a). A tendência para o aumento do número de fogos no território Português (Pereira e Santos, 2003), deve-se a factores ambientais e humanos. De acordo com Moreira *et al.* (2001b) o abandono das actividades agrícolas foi uma das causas para o aumento da ocorrência de fogos florestais, devido à acumulação de combustível, principalmente mato, no espaço rural. O fogo também é o factor que mais contribui para a alteração dos padrões da paisagem Mediterrânica com grande relevância na degradação do ecossistema Mediterrânico (Moreira *et al.*, 2001a; Moreno, 1999; Lloret *et al.*, 2003; Pausas e Vallejo, 1999). De acordo com estes autores alterações de parâmetros do regime do fogo, tais como dimensão, intensidade ou período de retorno, têm vindo a verificar-se e podem dever-se a múltiplas acções desenvolvidas pelo Homem.

Os fogos florestais acontecem em Portugal na estação seca, no Verão, tendo ardido em média cerca de 100000ha por ano, nas últimas duas décadas (Pereira e Santos, 2003), e sendo a maior incidência na região Centro-Norte. Este distúrbio da paisagem Portuguesa é a principal causa de perda de produção florestal, afectando a qualidade de vida das populações locais e a economia nacional (Nogueira, 1990; Silva, 1990; Vasconcelos *et al.*, 2001). Segundo alguns investigadores (Houghton *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 2002) prevêem-se para esta região do globo, alterações climáticas que resultarão num aumento da temperatura com diminuição da precipitação e conseqüente aumento do risco de incêndio. Estas alterações terão implicações a nível da preservação de *habitats* e de ecossistemas. Por outro lado, a emissão de gases com efeito de estufa, subjacente ao fenómeno fogo florestal (Silva, 2004), não pode ser esquecida, pois Portugal comprometeu-se a não ultrapassar determinados níveis de emissão, ao subscrever o protocolo de Quioto. Com este panorama, exige-se a tomada de medidas de combate à agressão da floresta Portuguesa através de programas rigorosos de monitorização e de ordenamento florestal.

2. Os fogos florestais

Um fogo florestal é um evento natural cujo comportamento envolve muitas incertezas. O comportamento do fogo é condicionado por três factores principais: as

condições meteorológicas (vento, temperatura, e humidade), a carga e distribuição espacial do combustível e a topografia, interagindo estes factores entre si e criando um ambiente próprio (Agee, 1997). Cada um destes factores varia com a região em que ocorre o evento, com o tipo de ecossistema e com o historial de fogo nessa região (Fryer e Johnson, 1988; Harrington *et al.*, 1991; Johnson, 1992). A contribuição relativa dos factores que controlam o comportamento dos fogos florestais tem sido assunto de grande controvérsia. Alguns autores defendem a tese de que são as condições meteorológicas que determinam o tamanho e a severidade do fogo e que os fogos grandes são conduzidos por condições atmosféricas extremas, ardendo tudo intensivamente, com reduzida influência do tipo ou carga do combustível presente na região (Agee, 1997; Bessie e Johnson, 1995; Keeley e Fotheringham, 2003). Outros autores (Rothermel, 1972; Minnich, 1995; Cumming, 2001) defendem que são a carga e a distribuição espacial do combustível que mais determinam a propagação do fogo, tendo neste caso os factores externos fraca contribuição.

Com excepção das duas últimas décadas, o historial do fogo na região Mediterrânica, não é bem conhecido (Moreno, 1999). Durante os últimos anos na região sudoeste da Europa tem-se verificado um regime de fogo muito artificial, com um aumento da incidência de fogos florestais, que tem estado relacionado, em parte com alterações climáticas e de ordem sócio-económica com o abandono das práticas agrícolas (Moreno, 1999; Rego, 1992; Moreira *et al.*, 2001b). Estudos realizados em ecossistemas Mediterrânicos (Keeley e Fotheringham, 2003; Moritz, 2003), onde os fogos florestais são uma característica natural destas regiões, sugerem que as condições climáticas têm um carácter preponderante no regime dos fogos, em oposição à idade dos povoamentos ou ao padrão espacial do combustível. Fogos severos ocorrem em condições meteorológicas propícias à propagação do fogo, com ventos fortes e temperaturas elevadas do ar, e consomem quase indiscriminadamente todos os tipos de combustível.

Do estudo efectuado sobre a avaliação da selectividade do fogo ao coberto vegetal em Portugal Continental (Nunes *et al.*, 2005), concluiu-se que os fogos são selectivos ao coberto do solo, nas três classes de tamanho de fogos analisadas (<500ha, 500-1500ha e >1500ha), e que algumas das classes de coberto podem conter a propagação dos fogos, principalmente nos fogos de menores dimensões. As classes que são preferidas são as de ocupação arbustiva (fogos pequenos), sendo pelo contrário as mais evitadas as classes relacionadas com áreas de culturas anuais, vinha, pomar, olival. Nas classes de fogo de maiores dimensões a preferência pela classe ocupação arbustiva (*oar*) era menor sendo

substituída pela classe pinheiro bravo/manso/outras resinosas (*pir*). Na generalidade, concluiu-se que o combustível exerce um controlo significativo sobre a propagação dos fogos, sendo esse controlo menor nos fogos de grandes dimensões cuja propagação é mais fortemente condicionada pelas condições meteorológicas. Estas conclusões assemelham-se a resultados obtidos em ecossistemas Mediterrânicos localizados na Califórnia, (Keeley e Fotheringham, 2000, 2003; Moritz, 2003).

Outro factor que poderá ser preponderante no comportamento do fogo, além da cobertura vegetal, é a topografia da região. Heyerdahl *et al.* (2001) analisou a frequência dos fogos a diferentes parâmetros da topografia (exposição, altitude e declive), e também ao coberto do solo, tendo verificado que a frequência dos fogos está mais relacionado com a exposição das encostas do que com o tipo de coberto. No entanto, como o efeito da topografia, principalmente a exposição das encostas, afecta o teor de humidade e consequentemente a carga de combustível acumulado modificando o regime do fogo (Tande, 1979; Taylor e Skinner, 1998), a influência destes dois factores nem sempre é separável. As encostas viradas a norte recebem menos radiação solar directa, pelo que as temperaturas são mais baixas relativamente às encostas viradas a sul (Heyerdahl *et al.*, 2001). Em regiões de latitude da ordem dos 45°N uma encosta com 50% de declive e virada a sul recebe o dobro da radiação solar de outra virada a norte (Holland e Steyn, 1975) e consequentemente atinge temperaturas mais elevadas e teores mais baixos de humidade. Segundo Black (1987) em ecossistemas Mediterrânicos e em certas condições uma encosta virada a norte com vegetação de 10 anos de idade pode acumular tanto de biomassa como outra virada a sul com 80 anos de idade.

3. Metodologia e análise estatística

3.1. Metodologia

Neste artigo é proposta uma abordagem para determinar se existe selectividade do fogo à exposições das encostas, e em caso afirmativo determinar quais as classes de exposição que são preferidas e evitadas, em Portugal Continental. A selectividade do fogo a esta variável é analisada testando as hipóteses de que as proporções de área ardida dos diferentes tipos de exposição das encostas não são diferentes daquelas presentes nas correspondentes vizinhanças. Por outro lado, de uma forma expedita, agrupando os fogos em três classes de tamanho diferentes, é possível verificar se os fogos de grandes dimensões têm um comportamento diferente de fogos de pequenas dimensões, e inferir

sobre se são as condições meteorológicas, ou a exposição da encosta, que controlam a propagação dos fogos florestais.

A metodologia desenvolvida pode ser sintetizada nos seguintes passos:

- 1- Desenvolvimento de um método adequado à determinação das vizinhanças de cada área ardida, de forma a que as mesmas ficassem com a mesma geometria e área igual ou múltipla da área da correspondente área ardida. Este procedimento foi realizado com recurso a técnicas de morfologia matemática (Serra, 1982).
- 2- Processamento da informação em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), com a criação do modelo digital do terreno (MDT), e do mapa de exposições das encostas a partir do MDT. Sobreposição do mapa de exposições com os mapas das áreas ardidas e com os mapas das vizinhanças. Foram processadas as tabelas de dados alfanuméricos relativas a cada mapa resultante das sobreposições efectuadas, donde se obtiveram os vectores das proporções para a exposição das encostas que foram utilizados na análise estatística dos dados.
- 3- Análise estatística dos vectores das proporções da exposição das encostas recorrendo aos métodos das permutações de multi-resposta e ao teste t de *Student* para amostras emparelhadas.

Para avaliar o possível efeito das condições meteorológicas os fogos foram agrupados em classes de tamanho, definidas de acordo com a estratificação da Comissão Europeia (2001), a saber, fogos pequenos (área inferior a 500ha), fogos grandes (área compreendida entre 500ha e 1500ha) e fogos muito grandes (área superior a 1500ha).

Na figura 3.1. apresenta-se um esquema da metodologia desenvolvida.

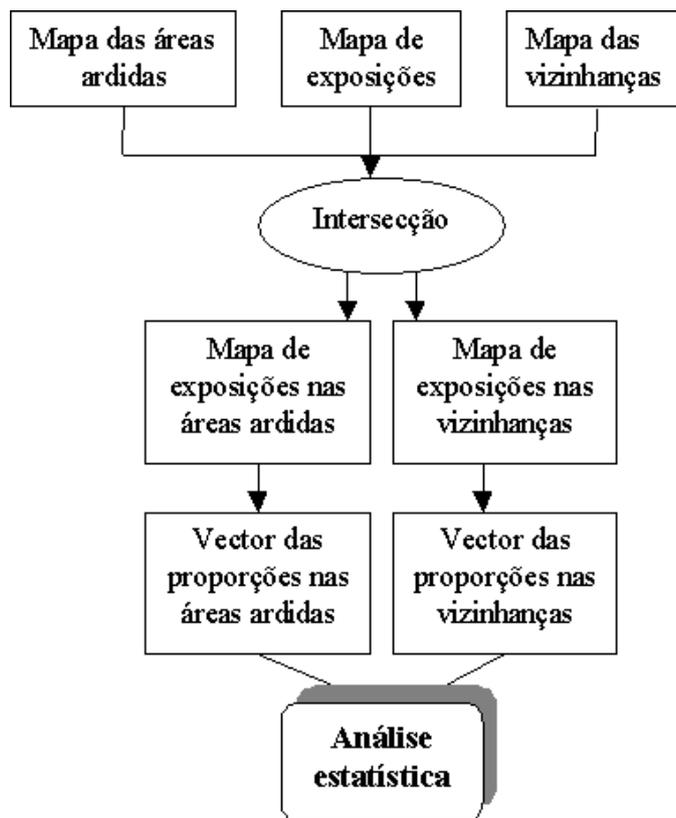


Figura 3.1. Esquema da metodologia desenvolvida para obter os vectores das proporções.

O estudo da selectividade do fogo relativamente aos recursos disponíveis foi realizado a duas escalas: à escala local, em que as áreas das vizinhanças são aproximadamente iguais às áreas das correspondentes áreas ardidas, e também à escala regional em que se define a vizinhança de cada fogo como a região ecológica de Portugal (figura 3.2) (Manique e Albuquerque, 1985) em que se insere.

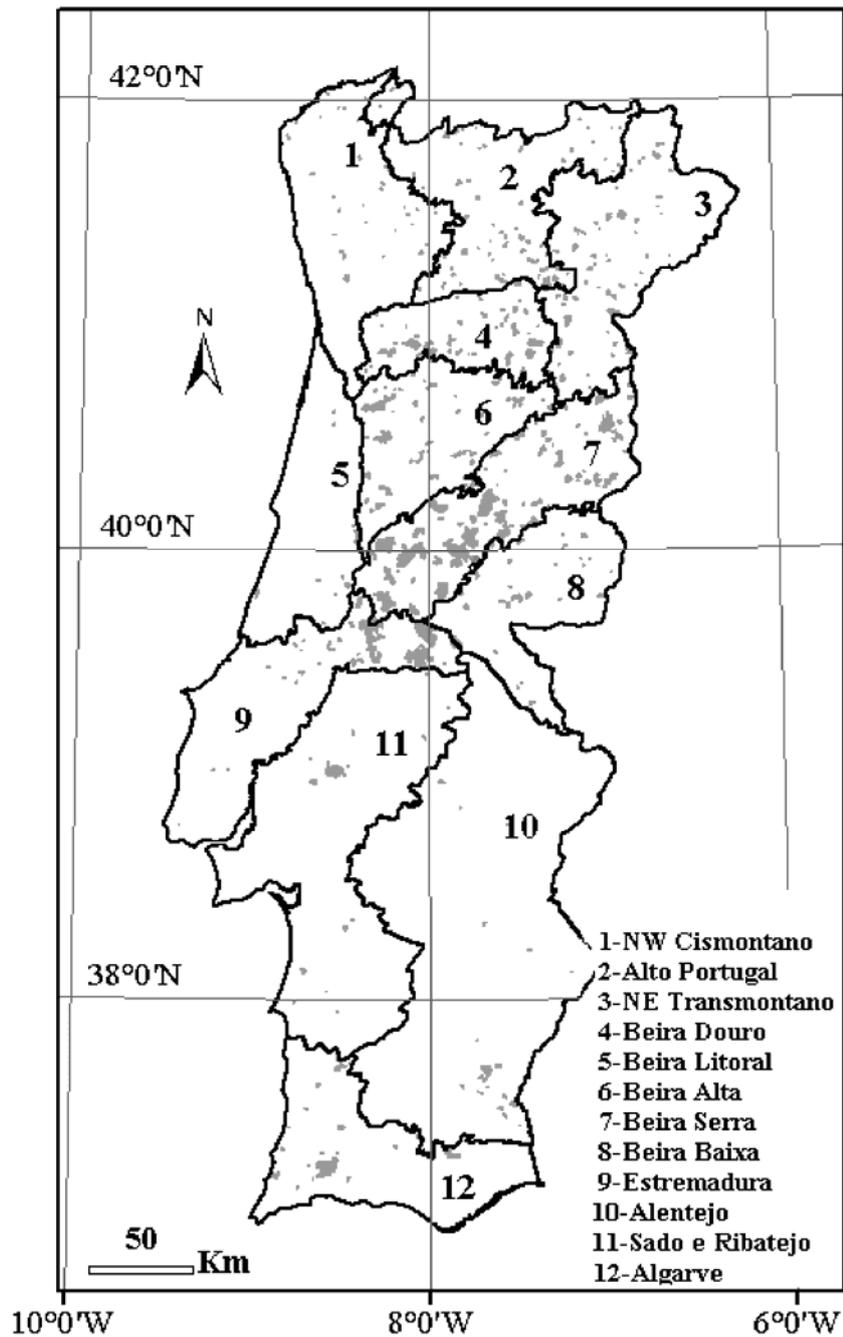


Figura 3.2. Carta Ecológica de Portugal Continental sobreposta com as áreas aridas de 1991 (Adaptado de Nunes *et al.*, 2005).

A exposição das encostas identifica a direcção descendente de máxima variação do declive, podendo ser vista como a direcção da inclinação da encosta, sendo expressa em graus, de 0° a 360°, medidos no sentido dos ponteiros do relógio a partir do norte. Regiões planas com declive nulo tomam o valor -1 e são classificadas na classe plano. O mapa foi reclassificado para as direcções principais da rosa dos ventos (N, E, S, W).

O mapa de exposições das encostas foi sobreposto com cada um dos mapas dos fogos e das vizinhanças, de cada um dos anos em análise e efectuados todos os procedimentos descritos (figura 3.1.) até obter os vectores das proporções. Na figura 3.3. apresenta-se um extracto do mapa resultante da sobreposição do mapa de exposições com o mapa dos fogos, e na figura 3.4. o extracto relativo à sobreposição com o mapa das correspondentes vizinhanças.

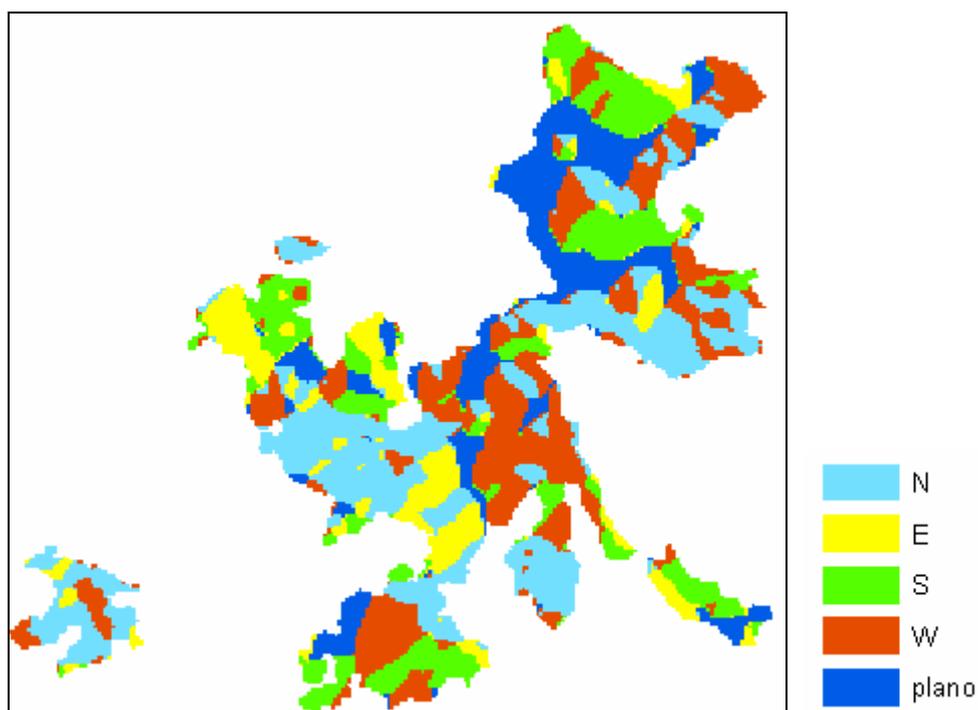


Figura 3.3. – Extracto do mapa de exposições resultante da sobreposição com o mapa dos fogos de 1991.

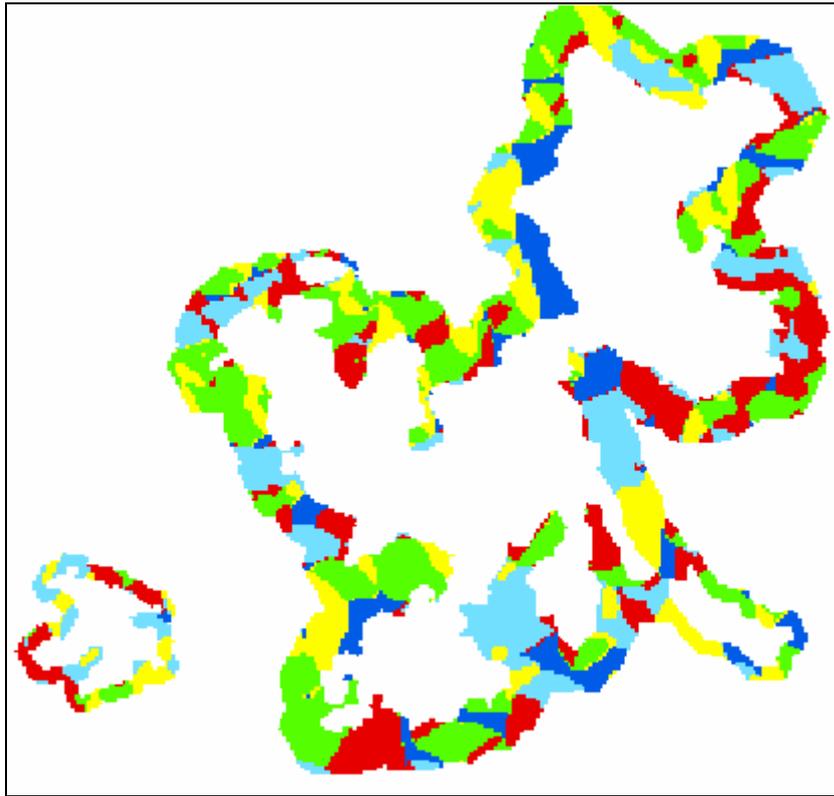


Figura 3.4. – Extracto do mapa de exposições resultante da sobreposição com o mapa das vizinhanças dos fogos de 1991.

3.2. Análise estatística

Os métodos de análise estatística utilizados neste estudo são habitualmente aplicados no estudo da selectividade de recursos ou de *habitats* por animais, tendo sido pela primeira vez aplicados ao estudo da selectividade do fogo por Nunes *et al.*, 2005. O fogo é, nesta perspectiva, visto como um animal que selecciona o seu *habitat*, sendo considerado cada evento (área ardida), como independente de qualquer outro. Na maioria dos métodos de análise de selecção de recursos, é feita a comparação do recurso utilizado com o recurso disponível, recorrendo a testes de hipóteses. Quando o recurso é usado desproporcionalmente ao disponível considera-se que existe selectividade.

Um dos métodos de análise estatística utilizado neste trabalho é a análise de permutações de multi-resposta (Mielke e Berry, 2001), em que cada evento ou área ardida é tratado individualmente, comparando-se as componentes dos vectores das proporções das classes de exposição das encostas de cada área ardida com as componentes dos vectores

das proporções nas correspondentes vizinhanças não ardidadas e envolventes às áreas ardidadas. Esta robusta técnica das permutações de multi-resposta, baseada em distâncias do espaço Euclidiano, designado por procedimento das permutações de multi-resposta (Multiresponse Permutation Procedure - MRPP) e os procedimentos multivariados de permutações de blocos aleatórios (Multivariate Randomized Block Permutation Procedure – MRBP) permitem facilmente analisar a estrutura de dados, sem partir de pressupostos sobre o modelo de distribuição da população (Biondini *et al.*, 1991). Esta técnica desenvolvida por Mielke (1986), é uma análise univariada ou multivariada para identificar possíveis diferenças entre dois ou mais grupos.

Neste procedimento é calculada a distância média dos valores observados dentro de um dado grupo de observações, a qual é comparada com a distância média que resultaria do cálculo das distâncias entre todas as possíveis combinações das observações nas condições da hipótese nula, ou seja considerando que os dois grupos não são diferentes (H_0). Se, existirem dois grupos, então a distância média entre observações de um dado grupo será inferior à distância média obtida de todas as possíveis combinações entre todos os valores observados. O teste estatístico é sobre a média das distâncias observadas dentro do grupo, representado por δ , ponderado pelo número de observações do grupo. O delta observado da realização particular de um dado acontecimento (δ_0), é comparado com o δ resultante de todas as combinações possíveis entre todas as observações.

O valor exacto da probabilidade p (p -value¹), associado à realização de um dado δ (δ_0), é a probabilidade de observar um valor de δ tão extremo (ou mais extremo) do que δ_0 , nas condições da hipótese nula, ou seja $p(\delta < \delta_0 / H_0)$, que é o nível de significância do teste. Sendo o número de observações elevado ($M > 24$) no teste estatístico normalizado da estatística $T = (\delta_0 - \mu_\delta) / \sigma_\delta$, (com μ_δ a média e desvio padrão σ_δ de δ , nas condições da hipótese nula), é feita a aproximação a uma distribuição de Pearson tipo III (Biondini *et al.*, 1991). Se a hipótese de que os dois grupos não são diferentes (H_0) for verdadeira, então cada uma das possíveis permutações será igualmente provável; por outro lado a existência de agrupamentos implica que a distância média entre objectos de um grupo seja menor do que a distância média entre todos os pares de valores observados. A técnica das permutações de multi-resposta é eficiente mesmo quando o número de observações é

¹ o menor valor de α para o qual os dados observados indicam que a hipótese nula deve ser rejeitada.

reduzido, pois o valor exacto da probabilidade p é calculado por enumeração de todas as combinações possíveis, sob a hipótese nula (Cade e Richards, 2001).

Outra análise efectuada foi o teste de t de *Student* para amostras emparelhadas, em que é utilizada a mesma estrutura dos dados da análise de permutações de multi-resposta. O teste efectuado é para testar se a média das proporções de área ardida em cada classe de tipo de exposição das encostas, é significativamente diferente da média das proporções de área ardida na vizinhança, ou seja se a média das diferenças emparelhadas, de cada classe, é significativamente diferente de zero (Zar, 1999).

4. Resultados

4.1. Escala Local

4.1.1. Análise das permutações de multi-resposta

Os resultados da análise das permutações de multi-resposta (tabela 4.1), levam a que se rejeite a hipótese nula para valores p muito inferiores a 0.01. Os valores das diferenças dos vectores multivariados das medianas são representados graficamente na figura 4.1., e mostram que são as classes dos fogos grandes (500-1500ha) e muito grandes (>1500h), aquelas em que a selectividade do fogo é mais acentuada.

Tabela 4.1. – Resultados das permutações de multi-resposta - diferenças dos vectores multivariados das medianas da variável exposição das encostas nas classes *N*, *E*, *S*, *W* e *plano*, nas áreas ardidas e vizinhanças (ardido-disponível), valores de p e número de fogos (N_j), para as classes de tamanho dos fogos segundo a UE.

Fogos (ha)	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>Plano</i>	p	N_j
< 500	0.005	-0.002	0.000	0.008	-0.011	6.6×10^{-13}	2497
500-1500	0.016	-0.002	0.003	0.027	-0.045	4.2×10^{-6}	188
> 1500	-0.007	0.004	0.028	0.033	-0.058	6.8×10^{-5}	65

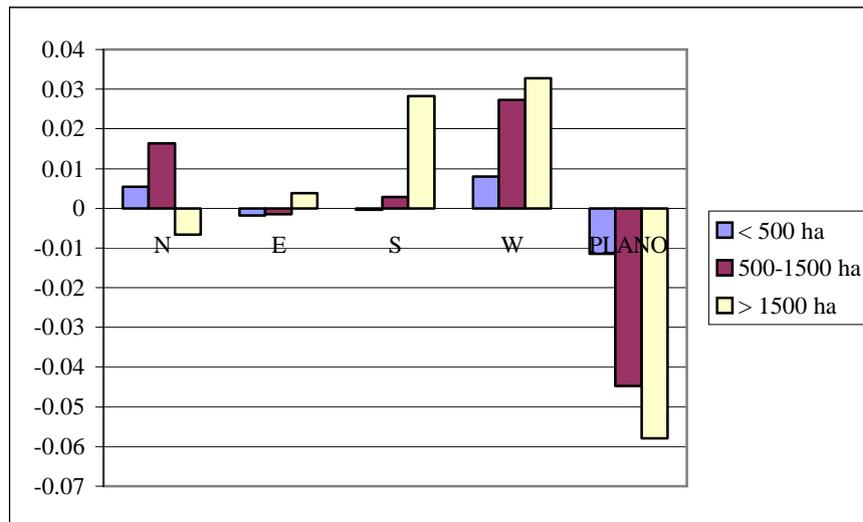


Figura 4.1. - Distribuição das diferenças dos vectores multivariados das medianas (ardido-disponível), relativo às classes de exposição das encostas *N*, *E*, *S*, *W* e *plano*, para as classes de tamanho dos fogos segundo a UE.

Nos fogos muito grandes a preferência é pelas classes *oeste* (*W*) e *sul* (*S*), enquanto que nos fogos grandes a preferência é pelas encostas *oeste* (*W*) e *norte* (*N*). Relativamente aos fogos pequenos, com valores das diferenças muito mais baixos, são preferidas as classes *norte* (*N*) e *oeste* (*W*). Por outro lado, a classe *plano* é sempre evitada, nas três classes de tamanho de fogos, com maior expressão nas duas classes dos fogos de maiores dimensões.

4.1.2. Teste t de Student para amostras emparelhadas

Dos resultados do teste t de Student (tabela 4.2.) deduz-se que as classes com valores de p inferiores a 0.05, e para as quais se rejeita H_0 (a negrito), são a classe plano (em todas as classes de tamanho dos fogos), a classe oeste (*W*) nas classes de fogos de 500 a 1500ha e superiores a 1500ha, a classe norte (*N*) para os fogos inferiores a 500ha e entre os 500 e 1500ha, e ainda a classe sul (*S*) nos fogos de maior dimensão.

Tabela 4.2. - Valores da probabilidade p (p -value) obtidos do teste t de *Student* para as classes de exposição N , E , S , W e *plano*, nas classes de fogos designadas pela UE.

Fogos (ha)	N	E	S	W	<i>plano</i>
< 500	0.012	0.130	0.852	0.410	1.1×10^{-9}
500-1500	0.028	0.410	0.865	0.028	1.0×10^{-8}
> 1500	0.645	0.675	0.014	0.014	2.0×10^{-6}

4.2. Escala regional

4.2.1. Análise das permutações de multi-resposta

Os resultados obtidos da análise das permutações de multi-resposta para a variável exposição das encostas, também analisado para as mesmas classes de exposição (N , S , E , W e *plano*), são apresentados na tabela 4.3., bem como os valores obtidos da probabilidade p e o número de fogos por região ecológica (N_j).

Tabela 4.3. – Resultados das permutações de multi-resposta - diferenças dos vectores multivariados das medianas das classes de exposição, N , E , S , W e *plano*, nas áreas ardidadas e nas correspondentes regiões ecológicas, valores de p e número de fogos por região ecológica (N_j).

Regiões ecológicas	N	E	S	W	<i>plano</i>	p	N_j
NW Cismontano	0.023	0.027	0.040	0.043	-0.133	3.3×10^{-41}	559
Alto Portugal	0.005	0.039	-0.001	-0.002	-0.041	8.6×10^{-17}	527
NE Transmontano	0.063	0.028	-0.044	0.039	-0.087	1.4×10^{-20}	425
Beira Douro	0.021	-0.028	0.003	0.045	-0.038	3.9×10^{-8}	308
Beira Litoral	-0.107	0.014	0.001	-0.075	0.167	6.0×10^{-5}	52
Beira Alta	0.042	0.012	-0.007	0.047	-0.093	1.4×10^{-9}	283
Beira Serra	0.007	-0.007	-0.002	0.027	-0.024	5.3×10^{-5}	347
Beira Baixa	0.005	0.068	-0.024	-0.018	-0.032	1.1×10^{-2}	91
Estremadura	-0.027	0.013	0.064	0.022	-0.073	6.3×10^{-3}	93
Alentejo	0.017	-0.046	-0.006	-0.066	0.101	2.3×10^{-4}	77
Sado/Ribatejo	-0.089	-0.069	0.069	0.033	0.055	5.8×10^{-3}	44
Algarve	0.031	-0.002	-0.036	-0.046	0.053	2.4×10^{-2}	70

Verifica-se que a significância do teste é para todas as regiões inferior a 0.05 ($p < 0.05$), rejeitando-se portanto a hipótese nula para todas as regiões ecológicas, o que indica que o recurso foi consumido desproporcionalmente ao disponível, para a variável exposição das encostas. Na figura 4.2. representa-se graficamente a distribuição destes valores.

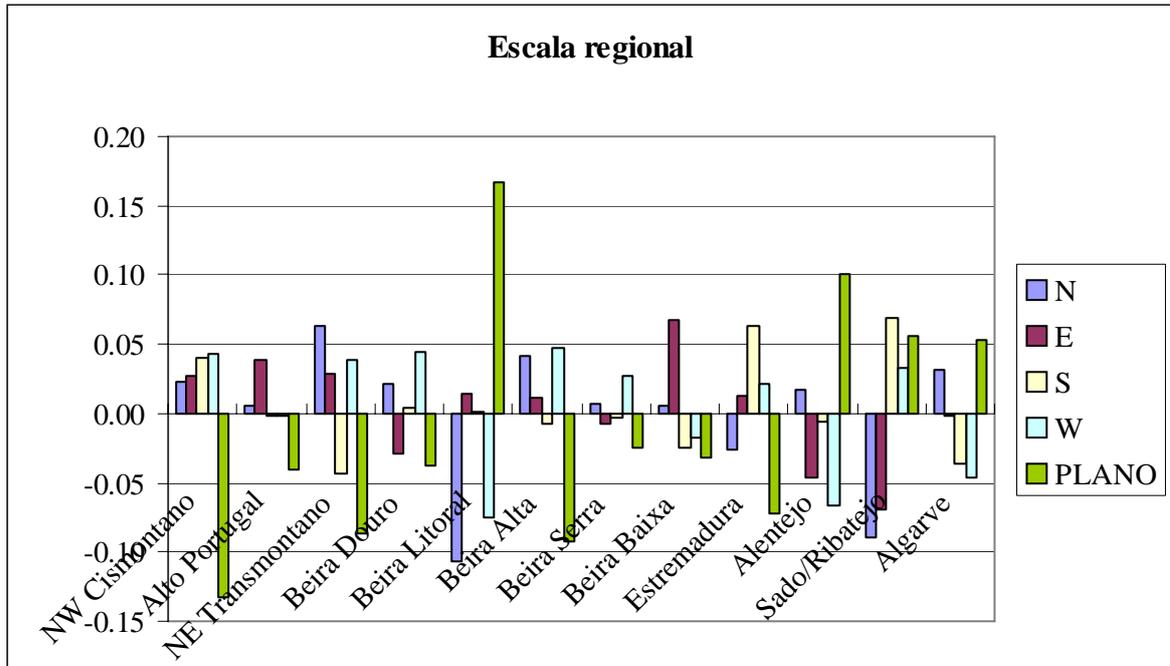


Figura 4.2. – Distribuição dos valores das diferenças dos vectores multivariados das medianas das classes de exposição *N*, *E*, *S*, *W* e plano, para as regiões ecológicas.

A figura 4.2. mostra que existem diferenças na preferência às exposições das encostas por região ecológica, sendo a classe plano a que apresenta valores das diferenças dos vectores multivariados das medianas mais elevados. Esta classe é preferida nas regiões Beira Litoral, Alentejo, Sado/Ribatejo e Algarve, e evitada nas restantes regiões. Relativamente à classe norte (*N*), esta é evitada nas regiões Beira Litoral, Estremadura e Sado/Ribatejo, e preferida nas restantes. A classe oeste (*W*) é evitada nas regiões Beira Litoral, Beira Baixa, Alentejo, Algarve e preferida nas restantes regiões, enquanto a classe sul (*S*) é preferida nas regiões NW Cismontano, Estremadura, Sado/Ribatejo e evitada nas restantes. Por último a classe este (*E*) é evitada nas regiões Beira Douro, Beira Serra, Alentejo e Sado/Ribatejo e preferida nas restantes.

4.2.2. Teste t de Student para amostras emparelhadas

Os resultados do teste de t de Student para as regiões ecológicas (tabela 4.4.) mostram que as regiões em que se rejeita H_0 ($p < 0.05$) (a negrito), para mais classes de exposição são o NW Cismontano e o NE Transmontano, nas quais só não se rejeita H_0 para as classes oeste (*W*) e este (*E*) respectivamente.

Tabela 4.4. – Valores da probabilidade p (p -value) resultantes do teste t de Student para a variável exposição das encostas das direcções N, S, E, W, e plano, da análise à escala regional.

Regiões ecológicas	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>plano</i>
NW Cismontano	0.015	0.001	0.003	0.296	5.0x10⁻³⁷
Alto Portugal	0.151	0.009	0.093	0.760	0.002
NE Transmontano	0.000	0.058	0.000	0.038	2.4x10⁻⁹
Beira Douro	0.282	0.132	0.518	0.288	0.047
Beira Litoral	0.000	0.482	0.777	0.122	0.007
Beira Alta	0.015	0.210	0.406	0.142	6.8x10⁻⁶
Beira Serra	0.583	0.971	0.486	0.813	0.951
Beira Baixa	0.741	0.118	0.328	0.940	0.304
Estremadura	0.491	0.361	0.098	0.769	0.050
Alentejo	0.449	0.071	0.688	0.155	0.320
Sado e Ribatejo	0.097	0.109	0.269	0.939	0.275
Algarve	0.202	0.952	0.788	0.076	0.631

5. Discussão e conclusões

5.1. Discussão

De acordo com os resultados obtidos, para a **escala local**, das permutações de multi-resposta (tabela 4.1), a hipótese nula é rejeitada para todas as classes de tamanho dos fogos, com valores p muito inferiores a 0.05, concluindo-se assim, que os fogos são selectivos à exposição das encostas para as direcções *N*, *S*, *E*, *W*, e plano, sendo a classe plano claramente evitada em todas as classes de tamanho dos fogos. Nas classes de fogos inferiores a 500ha e entre 500 a 1500ha, existe uma ligeira preferência pelas classes oeste (*W*) e norte (*N*), sendo esta preferência mais marcada na classe dos fogos de tamanho

intermédio. Quanto aos fogos de maiores dimensões (>1500ha) a preferência é pelas classes oeste (*W*) e sul (*S*), sendo a classe norte (*N*) é ligeiramente evitada.

Relativamente ao teste *t* de *Student* (tabela 4.2.), confirma os resultados obtidos com a análise das permutações de multi-resposta, em que as classes para as quais se rejeita H_0 (a negrito), são aquelas que são preferidas ou evitadas de acordo com a técnica das permutações, exceptuando a classe oeste (*W*) na classe de fogos de menores dimensões.

Quanto aos resultados obtidos para o estudo à escala regional, com base na análise das permutações de multi-resposta, rejeita-se a hipótese nula para todas as regiões ecológicas, com valores *p* muito inferiores a 0.05 (tabela 4.3), não existindo contudo um padrão de preferência comum a todas as regiões, e tendo-se verificado que, por exemplo a classe plano é preferida nas regiões em predomina essa classe (Beira Litoral, Alentejo, Sado/Ribatejo e Algarve. Relativamente aos resultados obtidos com o teste *t* de *Student* as regiões ecológicas em que existem mais classes para as quais se rejeita H_0 são o NW Cismontano e NE Transmontano não se tendo verificado resultados muito claros para as restantes regiões.

Uma das razões para estes resultados poderá estar relacionado com o facto de, no caso da análise à escala regional, a vizinhança considerada como disponível reflectir a distribuição de áreas classes de exposição da região ecológica. Neste caso, está incluído o artefacto de ser mais provável haver ignições nos tipos de exposição que cobrem a maior parte da área e de, portanto, ser esse mesmo o tipo de exposição que está disponível na vizinhança imediata, apesar ser a distribuição regional que é utilizada nos calculos. Pelo contrário, o estudo à escala local, em que as proporções do tipo de exposição no disponível está restringido à vizinhança envolvente à área ardida, permitiu separar a selectividade relativa à propagação do fogo da eventual dependência da localização dos pontos de ignição tornando o estudo da selectividade dos fogos independente dos padrões espaciais de ignição.

Heyerdahl *et al.* (2001) avaliou a relação entre a frequência do fogo e diferentes parâmetros da topografia (exposição, altitude e declive), e também com o coberto do solo, tendo verificado que a frequência dos fogos está mais relacionada com a exposição das encostas do que com o tipo de coberto. Estes autores concluíram também que naquela região (Estado de Washington, USA), os fogos são mais frequentes nas encostas viradas a sudoeste do que nas naquelas viradas a nordeste, e que os fogos moderados e severos

ocorrem mais nas encostas a norte e leste, enquanto que os de baixa severidade acontecem com maior frequência nas encostas viradas a sul e a oeste, e ainda que nos povoamentos de floresta, os fogos ocorrem mais nas encostas viradas a sul do que a norte. Se compararmos estes resultados com os obtidos no presente estudo, existem semelhanças, principalmente quanto aos povoamentos de floresta, pois verificou-se que o comportamento dos fogos de maiores dimensões, em que existe preferência pela classe pinheiro bravo/manso/outras resinosas (*pir*), também apresentam preferência pelas encostas viradas a sul (*S*), e oeste (*W*) e evitando o norte (*N*), de acordo com os resultados da permutações de multi-resposta.

5.2. Conclusões

Um dos resultados surpreendentes deste estudo foi a constatação de que são os fogos grandes que exibem maior selectividade à exposição das encostas, enquanto que relativamente ao coberto do solo (Nunes *et al.*, 2005), são os fogos pequenos que apresentam maior selectividade.

O resultados destes trabalhos serão um contributo importante para o conhecimento de quais os tipos de coberto do solo que poderão ser utilizados como barreiras na propagação dos fogos florestais e também de onde melhor as posicionar em função da topografia da região.

Para finalizar, o presente estudo foi efectuado recorrendo a métodos de selecção de recursos naturais em que foram introduzidos conceitos e metodologias diferentes, abrindo portas a trabalhos futuros que permitirão conhecer melhor o comportamento do fogo nas regiões Mediterrânicas. Programas de investigação da dinâmica da paisagem sob o efeito do fogo, contemplando o factor ecológico, são exigidos para que se tomem as acções adequadas à protecção da paisagem Mediterrânica. Esperemos que estes resultados sejam um contributo para melhorar as acções relativas à prevenção e combate aos incêndios florestais, e que possa servir uma melhor gestão da floresta Portuguesa.

6. Referências bibliográficas

Agee J.K. 1997. The severe weather wildfire – too hot to handle? Northwest science 71:153-156.

- Bessie** W.C. e Johnson E.A. 1995. The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forest. *Ecology*, 76 (3): 747-762.
- Biondini** M., Mielke P. e Redente E., 1991. Permutation technique based on Euclidian distance analysis spaces: a new and powerful statistical method for ecological research. Feoli E. and L. Orlóci (eds.) *Computer Assisted Vegetation Analysis*, 221-240, 1991©Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherland.
- Black** C.H. 1987. Biomass, nitrogen and phosphorus accumulation over a southern California fire cycle chronosequence. In *Plant Response to Stress: Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems*, eds. J.D. Tenhunen F.M. Catarino, O.L. Lange and W.C. Oechel, 445-458. Berlin: Springer.
- Cade** S. Brian e Richards e D. Jon, 2001. User Manual for Blossom Statistical Software, Midcontinent Ecological Science Center, U.S. Geological Survey, Colorado, 111p.
- Comissão Europeia**, 2001. Système communautaire d'informations sur les incendies de forêts. Rapport 2001, Données 1985-1999.
http://europa.eu.int/comm/agriculture/fore/fires/reports/2001_fr.pdf
- Cumming**, S.G. 2001. Forest Type and Wildfire in the Alberta Boreal Mixedwood: What do Fires Burn? *Ecological Applications*, 11(1):97-110.
- Fryer** G.I. and Johnson E.A. 1988. Reconstructing fire behavior and effects in a subalpine forest. *Journal Applied Ecology* 25:1063-1072.
- Harrington** J., Kimmins J. Lavender D. Zoltai S. and Payette S., 1991. The effect of climate change on forest ecology in Canada. In *Proceedings of the 10th World Forestry Congress*, 17-26 Sept. 1991, Paris. École Nationale du Genie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, France. *Rev. For. Issue. Vol. 2*:49-58.
- Heyerdahl** Emily K., Brubaker e Agee James K., 2001. Spatial controls of historical fire regimes: a multiscale example from the interior west, USA. *Ecology*, 82 (3), 2001:660-678.
- Holland** P.G. e Steyn D.G. 1975. Vegetational responses to latitudinal variation in slope angle and aspect. *Journal of Biogeography* 2:179-183.
- Houghton** J.T., Meiro Filho L.G., Callander B.A., Kattenburg A. Maskell K. (eds) 1996. *Climate Change 1995. The second Assessment Report of IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Johnson** E. A. 1992. Fire vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Keeley** Jon E. e Fotheringham C.J, 2001. Historic Fire Regime in Southern California Shrublands. *Conservation Biology*, vol.15, nº. 6:1536-1548.
- Keeley** Jon E. and Fotheringham C.J. 2003. Impact of past, present, and future fire regimes on North American Mediterranean shrublands. *In Fire and Climatic Change in temperate ecosystems of the Western Americas:218-262. Ecological studies*160, Springer 2003.
- Lloret** F., Calvo E., Pons X., Díaz-Delgado R., 2003. Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology* 17:745-759.
- Manique** J. de Pina e Albuquerque, 1985. Carta Ecológica de Portugal Continental. Estação Agronómica Nacional, Lisboa.
- Minnich**, R.A., 1995. Fuel-driven fire regimes of the California chaparral. In *Brushfires in California: Ecology and Resource Management*. Eds. J.E.Keeley, and T. Scott:21-27. Fairfield, WA: International Association of Wildland Fire.
- Mielke**, P.W., 1986. Non-metric statistical analyses: some metric alternatives. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 13:377-387.
- Mielke**, P.W. e Berry, K.J., 2001. *Permutation Methods: A distance Function Approach*. Springer-Verlag, N.Y., 352pp.
- Moritz** Max A. 2003. Spatiotemporal analysis of controls on shrubland fire regimes: age dependency and fire hazard. *Ecology*, 84(2):351-361.
- Moreira** Francisco, Ferreira Paulo G., Rego Francisco C. e Stephen Bunting 2001a. Landscape Changes and Breeding bird assemblages in Northwestern Portugal: the role of fire. *Landscape Ecology* 16: 175-187.
- Moreira** Francisco, Rego Francisco C., Ferreira Paulo G. 2001b. Temporal (1958-1959) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology* 16:557-567.
- Moreno** J.M. 1999. Forest Fires: Trends and Implications in Desertification Prone Areas of Southern Europe. In P. Balabanis, D. Peter, A. Ghazi and M. Tsogas (Eds. *Mediterranean Desertification: Research Results and Policy Implications*, Vol. 1, pp.115-150. DG Research, European Commission EUR, 19303.

- Nogueira**, C.D.S., 1990. A F, A Floresta Portuguesa, DGF Informação, 2:18-28.
- Nunes M.C.S.**, Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C., Dasgupta N., Alldredge R.J. Rego F.C., 2005. Land cover type and fire in Portugal. Do fires burn land cover selectively? *Landscape Ecology*, vol.20, nº.6, pp.661-673, Springer Science+Business Media B.V. DOI: 10.1007/s10980-005-0070-8.
- Pausas J.G.** e Vallejo V.R. 1999. The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In *Remote Sensing of Large Wildfires in European Mediterranean*, Emilio Chuvieco (ed.), Springer, New York, cap.2:2-16.
- Pereira** José M.C. e T.N. Santos 2003. Fire risk and burned area mapping in Portugal. Direcção Geral das Florestas, Lisboa, Portugal.
- Rego** Francisco 1992. Land use change and wildfires. *In Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes:367-373*. Edited by A. Teller, P. Mathy and J.N.R. Jeffers. Elsevier Applied Science. London, UK.
- Rothermel** R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Research Paper INT-115. Ogden, UT. 40pp.
- Santos** F.D., Forbes K., Moita R. (editors), *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*, Gradiva, Lisbon, Portugal, 2002.
- Serra**, J. 1982. *Image analysis and mathematical morphology*, Academic Press, London.
- Silva**, J.M. 1990. La gestion forestière et la silviculture de prevention des espaces forestiers menacés par les incendies au Portugal. *Revue Forestière Française*, 40 (nº spécial) :337-345.
- Silva** T. L. B. P. 2004. Estimativa das emissões atmosféricas originadas por incêndios em Portugal Continental ao longo do período compreendido entre 1990 e 1999. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 89p.
- Tande** G.F., 1979. Fire history and vegetation pattern of coniferous forests in Jasper National Park, Alberta. *Canadian Journal of Botany* 57:1912-1931.
- Taylor** A.H. e Skinner C.N., 1998. Fire history and landscape dynamics in a late-successional reserve, Klamath Mountains, California, USA. *Forest Ecology and Management* 111:285-301.

Vasconcelos, M.J.P., Silva, S., Tomé, M., Alvim, M., Pereira, J.M.C. 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 67, nº1:73-81.

Zar, Jerrold H. 1999. *Biostatistical analysis*. Fourth edition, Prentice-Hall, New Jersey, Upper Saddle River, USA.