

AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE DE INCÊNDIO FLORESTAL

J. Verde¹, J.L. Zêzere²

¹ Departamento de Geografia, Fac. Letras da Universidade de Lisboa, verde@geographus.com

² Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, jlzezere@fl.ul.pt

Resumo

O fogo é um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente. Em Portugal continental sofrem-se ano após ano prejuízos elevados resultantes da destruição de edificado e de vastas áreas de povoamentos florestais dos quais as populações retiram rendimentos, o que justifica a necessidade de se avaliar a perigosidade de incêndio florestal. A utilização de variáveis com forte relação espacial para elaboração de um mapa de susceptibilidade e respectivas curvas de sucesso e de predição, com recurso a validação independente, permitiu avaliar a perigosidade para todo o país, com base probabilística associada a cenários. Demonstra-se neste trabalho que com um compromisso eficaz entre o número de variáveis e a capacidade preditiva é possível avaliar com objectividade a perigosidade de incêndio florestal.

Palavras-chave: risco, perigosidade, floresta, incêndios

Abstract

Fire is a natural phenomenon, which some species use as part of their development strategies. Fire is also part of landscape renewal and forest modeler, prior to mankind's attempts to avoid it. The Portuguese forest is an important national economic resource that is threat, year after year, by wildfires. Forest fires produce heavy damages and this alone justifies wildfire hazard assessment. In this study, we use variables of strong spatial correlation to map forest fire susceptibility. Additionally, we compute the success and prediction rate curves of the susceptibility model that were used to assess the probabilistic wildfire hazard at a scenario basis, for the complete mainland Portuguese territory. In this paper we present a comprehensive methodology to assess wildfire hazard with a good compromise between the number of variables and the model predictive power.

Keywords: risk, hazard, forest, wildfires

1. Introdução

O fogo não pode e não deve eliminar-se por completo. É um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, fenómeno que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente, na sua conquista de territórios.

Neste contexto, Portugal continental tem um problema que não é o fogo em si mesmo, mas antes a forma como este se relaciona com a utilização que os cidadãos fazem do território. Embora não se trate de uma fatalidade, por quanto a nossa floresta dificilmente tem combustões espontâneas, Portugal continental sofre ano após ano prejuízos elevados resultantes da destruição de edificado e de vastas áreas de povoamentos florestais dos quais as populações retiram rendimentos, a que acrescem os avultados investimentos realizados todos os anos em meios de supressão.

As acções de prevenção que se mostram necessárias, integradas numa efectiva gestão de risco para redução dos prejuízos e optimização dos investimentos na própria prevenção e posterior supressão, devem partir de um claro conhecimento das condições de perigosidade existentes no país. Adicionalmente, não se protege adequadamente aquilo cujo valor se desconhece, e não se pode valorar o que não se conhece.

Obviando as frequentes permutas entre conceitos, em particular no discurso corrente, pretende-se aplicar aos incêndios florestais o mesmo quadro conceptual que sustenta internacionalmente a avaliação de riscos em domínios como os movimentos de massa, as cheias ou os sismos. Deste modo, procura-se demonstrar a aplicabilidade de um modelo objectivo de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade de incêndio florestal, baseado num número restrito de variáveis com forte relação espacial, e suportado pelo cálculo das respectivas taxas de sucesso e de predição.

Os resultados obtidos, de tipo probabilístico, permitirão caracterizar e cartografar a perigosidade de forma objectiva. Para além disso, poderão servir de base ao desenvolvimento de mapas de risco com a introdução posterior da componente de dano potencial.

2. O problema dos incêndios florestais em Portugal

Os incêndios florestais têm destruído, nos últimos anos, milhares de hectares em Portugal. Não sendo um fenómeno novo, tem conhecido maior mediatização nos primeiros anos deste século: as áreas ardidas foram expressivas, aproximaram-se das populações e os *media* conseguem chegar rapidamente aos locais onde a supressão do incêndio está em curso.

No intervalo 1980-2006 e segundo dados oficiais (DGRF), foram consumidos por incêndios florestais¹ mais de 3 milhões de hectares: o equivalente a quase todo o território da Bélgica, uma vez e meia o território de Israel ou doze vezes o Luxemburgo! O mesmo será dizer-se que, de acordo com os números do mais recente inventário florestal nacional, no intervalo de tempo referido ardeu o equivalente a quase toda a área actualmente ocupada por povoamentos florestais.

Os incêndios florestais podem estudar-se face às ocorrências ou às áreas ardidas. Tratar ocorrências é menos interessante: podem não resultar num problema se forem rapidamente suprimidas. Note-se, a esse propósito, que o maior número de ocorrências se regista em áreas densamente povoadas, e muito particularmente ao longo do litoral norte. Apesar de muitas, não criam especial dano. São normalmente pequenos incêndios de intervenção e supressão rápida. Pelo contrário, o interior do país, onde o número de ocorrências é menor, regista maior área ardida por ocorrência. Esse facto depreende-se da observação da figura 1, que apresenta as tipologias concelhias face aos incêndios florestais.

As tipologias concelhias foram introduzidas em 2005 pela proposta técnica do PNDFCI (ISA, 2005) com o objectivo de criar um mecanismo que permitisse, por um lado, distinguir a natureza do problema (i.e., como actuar? Sobre as ocorrências ou sobre a extensão do ardido?), e por outro, ter um mapa que com o passar dos anos permitisse avaliar a *performance* municipal na defesa da floresta contra incêndios, utilizando sempre um intervalo de referência com igual número de anos (quinze).

A distribuição dos concelhos do tipo T2 – poucas ocorrências com muita área ardida – apresenta claramente parte do eixo florestal nacional que, como se tem observado em anos recentes, regista incêndios com uma área ardida por ocorrência bastante expressiva.

¹ É considerado incêndio florestal todo aquele que atinja um espaço florestal, mesmo que numa área inferior, por exemplo, a uma área agrícola igualmente afectada pela mesma ocorrência.

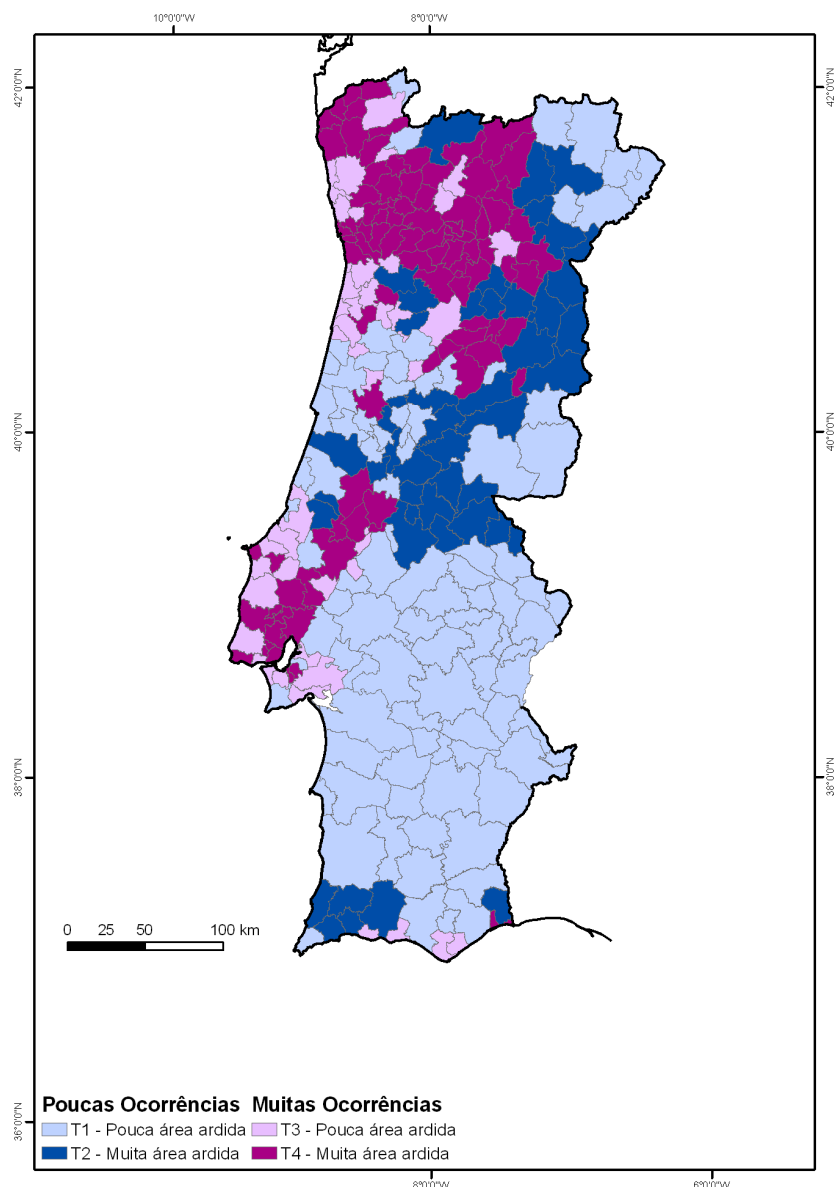


Figura 1 – Tipologias concelhias de incêndios florestais (1992-2006) Fonte: DGRF

Os números nos últimos dez anos são expressivos, e verões como os de 2003 e 2005 ficaram marcados na memória, com a destruição de centenas de milhar de hectares e prejuízos avultados. Porém, apesar de graves, não são exactamente uma novidade. Em anos anteriores os incêndios florestais já haviam queimado muitos hectares de espaços florestais. Quase 292 mil hectares em 1985, 204 mil em 1989, ou 215 mil hectares em 1998 são exemplos de que este não é um problema recente (fig. 2). De qualquer forma, é marcada a tendência, desde 1975, de aumento das áreas afectadas por esse fenómeno.

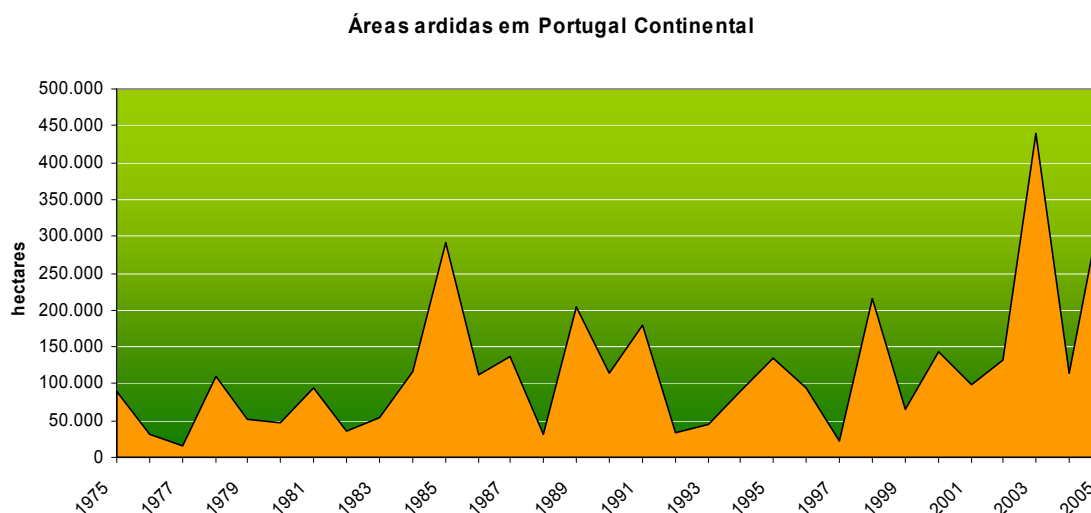


Figura 2 – Área ardida em Portugal continental, por ano, entre 1975 e 2005
Fonte: DGRF/ISA

Os dois terços que o país tem de espaços florestais são fornecedores de diversos produtos, essenciais para actividades industriais como a pasta e papel, cortiça e mobiliário. Adicionalmente «contribuem para gerar 3,2% do PIB, 15 mil postos de trabalho directos, [...] 12% do PIB industrial e 11% das exportações» (APIF, 2005, p13).

Por si só, o que acima se reproduz, acrescenta ao problema. Tanto mais quanto «o valor da floresta portuguesa será de 7.750 milhões de euros» e o problema dos incêndios florestais coloca em causa «a sustentabilidade de 64% do território coberto por florestas e matagais» (APIF, 2005).

A perda de valor dos espaços florestais é um fenómeno que interessa contrariar. Destes espaços depende, como se viu, a criação de riqueza para o país. O combate aos incêndios florestais tem sido feito, desde 1980, no seio da protecção civil, cuja actuação é orientada essencialmente para a protecção das populações e edificado. No entanto, a protecção civil também é – ou deve ser – a protecção de tudo aquilo que garanta a subsistência dos cidadãos. Para além de quaisquer factores emocionais ou políticos, tomar opções com base em aspectos económicos, contrariar a perda de valor dos espaços florestais, também pode e deve constituir uma preocupação de protecção civil, enquanto esta tiver a responsabilidade de combater incêndios florestais.

Não se pode gerir correctamente aquilo que se desconhece, e para se fazer uma correcta gestão de risco é necessário conhecer aquilo que está sujeito ao risco e as características dos territórios que contribuem para a existência de um risco.

O problema em apreço consiste na mitigação do risco de incêndio. Como se verá, a mitigação deve basear-se no conhecimento da perigosidade de incêndio florestal, sobre a qual se poderá calcular risco. Antes que tal aconteça, e os prejuízos causados pelos incêndios sejam integrados no modelo, procurar-se-á estabelecer a base para esse cálculo demonstrando, sem prejuízo para metodologias mais complexas, como é possível construir um mapa de perigosidade de incêndio florestal com recurso a poucas variáveis, de forte correlação espacial.

Em fase posterior, e sobre os resultados aqui expressos, poder-se-á avançar para um mapa de risco com a aplicação completa do modelo adoptado. Deste modo, o objectivo passa por descrever e aplicar um modelo de cálculo que se materializa na cartografia de perigosidade de incêndio florestal, usando poucas variáveis, cuja capacidade preditiva se aferirá com validações independentes.

3. O modelo conceptual

A concretização dos objectivos anteriormente expressos obriga a uma definição muito clara do modelo a adoptar e dos conceitos que lhe servem de base. Tratando-se de um modelo de risco – embora neste documento não se desenvolva na totalidade –, há que definir todos os conceitos, procurando clarificar as ideias que se pretendem transmitir sempre que se aplicam termos como susceptibilidade, perigosidade e risco, entre outros.

É difícil conseguir consensos quanto à terminologia dos modelos de risco. A esse propósito, já Bachmann e Allgöwer apontam a necessidade de se definir uma base conceptual consistente. Em artigo de 1999, referem que «the somewhat inconsiderate use of the various terms ‘danger’, ‘hazard’, and ‘risk’ may result in misunderstandings that can have fatal consequences» (Bachmann e Allgöwer, 1999, p1). Efectivamente, se não existir um entendimento comum da terminologia, podem utilizar-se produtos cujo conteúdo não corresponde ao esperado; um mapa de risco que forneça informação de prejuízo financeiro não permitirá uma leitura correcta se alguém o procurar interpretar apenas como um mapa que informa acerca da susceptibilidade do território. Se este erro acontecer em meio operacional e estiver na base de decisões ligadas ao pré-posicionamento de meios ou opções de supressão pode revelar-se desastroso.

Como referem os mesmos autores, «the phenomenon fire has many aspects as people who are dealing with it (...) based on their primary interests, each of these ‘communities’ has different

notions of the term ‘wildfire risk’» (ob.cit., p.1). Esta observação é tão verdadeira quanto são várias as formações daqueles que produzem cartografia de risco², incluindo a engenharia florestal, engenharia ambiental, geografia e outras. O quadro conceptual que aqui se pretende aplicar é o mesmo que orienta, internacionalmente, outros estudos como as avaliações de riscos derivados de movimentos de massa, cheias ou sismos.

Em discurso corrente a palavra “risco” é utilizada de forma indiscriminada para referir situações de dano potencial e probabilidades de ocorrência. Tão depressa se utiliza o termo “risco” para transmitir a noção de iminência de ocorrência de algum fenómeno, quanto a seguir se utiliza a mesma palavra para referir perdas, sejam financeiras, materiais ou pessoais. Se, em discurso corrente, uma terminologia coerente é apenas desejável, em documentos técnicos ela é mandatória. De uma forma simplificada, no modelo conceptual que aqui se aplica, *risco é dinheiro e segurança*. A probabilidade de ocorrência associada às condicionantes do território é algo diferente, trata-se de *perigosidade*.

Segundo Bachmann e Allgöwer (1999, p.5), risco de incêndio florestal define-se como «the probability of a wildfire to occur at a specified location and under given circumstances and its expected outcome as defined by the impacts on the affected objects», que Pereira e Santos (2003, p.31) traduzem como «a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objectos afectados». Esta definição de Bachmann e Allgöwer cumpre o objectivo de cobrir todas as componentes do modelo de risco, e é a definição adoptada neste documento para caracterizar risco de incêndio florestal.

A figura 3 apresenta o modelo de risco que orienta este estudo. No âmbito deste trabalho, avaliar-se-á apenas a perigosidade. As componentes seguintes, necessárias ao cálculo do risco, poder-se-ão tratar mais tarde em estudo que se sirva deste como base.

² Atente-se à designação *cartografia de risco* e não *mapas de risco*. Cartografia de risco, enquanto designação genérica, inclui os mapas que podem produzir-se sob o modelo conceptual de risco (e.g. susceptibilidade, probabilidade de ocorrência, perigosidade, elementos em risco, vulnerabilidade, dano potencial, risco), ao contrário de mapa de risco que é um documento cujas componentes essenciais se conhecem e precisam estar presentes.

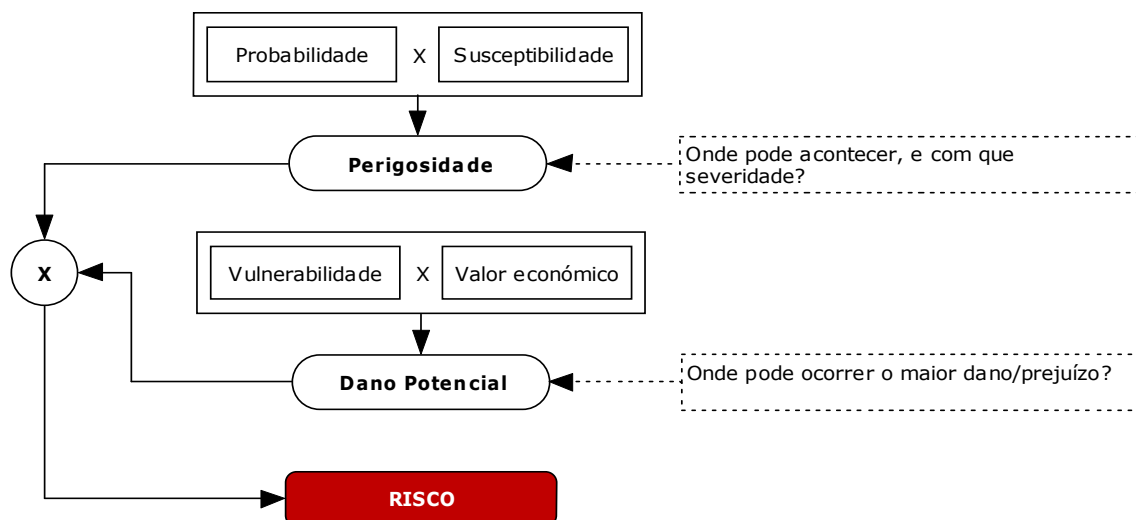


Figura 3 – Componentes do modelo de risco

Apresentado o modelo de forma esquemática, apresentam-se os conceitos que suportam cada componente.

Probabilidade

A probabilidade expressa a verosimilhança de que um determinado evento ocorra e, deste modo, pode entender-se como um indicador de certeza da ocorrência desse evento. Numa abordagem clássica, entende-se que todos os eventos, não estando condicionados à existência prévia de outros, têm a mesma possibilidade de ocorrer e portanto uma probabilidade igual. Em probabilidades condicionadas, entende-se que um determinado evento tem uma dada probabilidade de ocorrer, condicionada à probabilidade de que um evento anterior tenha ocorrido.

Susceptibilidade

A susceptibilidade expressa a propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afectada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas. Uma unidade territorial será mais ou menos susceptível conforme seja mais afectada ou potencie a ocorrência e desenvolvimento do fenómeno. No caso dos incêndios florestais, uma determinada área será tanto mais susceptível quanto melhor permitir a deflagração e/ou progressão do incêndio.

Perigosidade

A perigosidade equivale ao que na literatura anglo-saxónica se designa por *hazard*. A perigosidade é, segundo a definição de Varnes (1984), a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores, num determinado intervalo de tempo e numa dada área. Esta noção de perigosidade engloba duas dimensões: tempo e espaço. Assim sendo, engloba as duas componentes descritas anteriormente, a probabilidade, cujo cálculo se pode basear no histórico existente para o evento, e a susceptibilidade, que endereça os aspectos relacionados ao território para o qual se estuda o fenómeno.

Vulnerabilidade

A vulnerabilidade expressa o grau de perda a que um determinado elemento está sujeito em face da ocorrência do fenómeno tratado. A vulnerabilidade expressa-se numa escala que varia entre zero – não ocorre qualquer dano – e um – o dano é total, resultando na destruição do elemento em risco (Varnes, 1984; Cardona, 2003).

Dano Potencial

Na literatura encontra-se muitas vezes a expressão matemática de risco como sendo o produto da perigosidade pela vulnerabilidade, $R = P \times V$ (UNDP-BCPR, 2004). Uma dificuldade que essa abordagem levanta é não conseguir diferenciar adequadamente a perda real de elementos diferentes com a mesma vulnerabilidade. Olhando os incêndios, e a título de exemplo, uma pequena edificação pode ter uma vulnerabilidade superior à de um povoamento florestal que tenha no fogo parte da sua estratégia reprodutiva, estando por isso a edificação sujeita a um grau de perda superior. Porém, se com base nessa informação, e com $R = P \times V$ se assumir que o risco é superior no edificado, procurar-se-á defender em primeiro lugar a edificação deixando arder o povoamento. Mas o povoamento poderá ter um valor económico muito superior ao da pequena edificação que se optou por proteger. Deste modo, o esforço de protecção do edificado permitiu uma perda financeira superior à que se teria se a prioridade fosse a protecção do povoamento florestal. Para reposição da performance dos elementos afectados, seria mais barato – e mais rápido – repor o edificado do que o povoamento. É nesta medida que a introdução de uma variável adicional, a variável *valor económico*, é útil. O dano

potencial é, assim, o produto entre a vulnerabilidade e o valor económico do elemento em risco.

Risco

Como foi previamente referido, e recuperando a definição apresentada por Bachmann e Allgöwer, risco é a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objectos afectados. Com base nesta definição, e transportando para os incêndios florestais o mesmo quadro conceptual internacionalmente aceite em outros domínios, o risco será aqui entendido como o produto entre a perigosidade e o dano potencial (fig. 4).

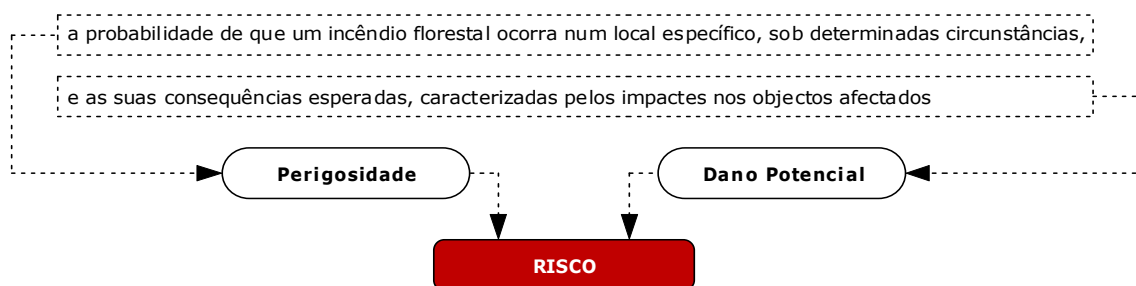


Figura 4 – Definição de Bachmann e Allgöwer (1999) conforme o modelo de risco adoptado

4. Metodologia

A avaliação da perigosidade de incêndio florestal para Portugal Continental realizou-se com base matricial, após preparação e transformação para esse formato da informação vectorial disponível. A utilização de layers matriciais apresenta como vantagem a facilidade de cálculo e definição de áreas lógicas pequenas, o que em formato vectorial seria mais complicado e exigiria uma capacidade de processamento superior. O tamanho de pixel adoptado foi de 80 metros, limitação imposta pelo modelo digital de elevação a partir do qual se derivaram os declives (fonte: <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/srtm.htm>). Para concretização do modelo utilizaram-se três variáveis: histórico (cartografia anual de áreas ardidas), declive e ocupação do solo. Havendo acesso a uma série estatística de 32 anos (1975 a 2006, fontes: DGRF, ISA/DEF) fizeram-se vários ensaios procurando estabelecer qual a combinação temporal mais sólida para criação do modelo, ficando anos disponíveis para validação

independente. Neste artigo utiliza-se a série 1975 a 1994 para elaboração do mapa de susceptibilidade, ficando os anos de 1995 a 2004 disponíveis para validação independente. À data de elaboração deste estudo, as áreas ardidas em 2006 não se encontravam ainda disponíveis via Landsat, levando à opção de usar blocos de 10 anos, especificamente 20 anos para modelação e 10 para validação.

4.1 O histórico

A variável «histórico» entra neste modelo de acordo com uma abordagem frequencista que permite uma leitura em percentagem: qual é, a cada ano, a probabilidade de que cada unidade de terreno matricial sofra combustão? Trata-se de aproveitar uma longa série estatística que permite introduzir um padrão de recorrência no cálculo, distinguindo os locais onde o fogo é um fenómeno frequente.

$$P = \frac{f}{\Omega} \times 100 \quad [1]$$

Em que f é o número de vezes que cada pixel ardeu e Ω é o número de anos da série. Depreende-se que um pixel que ardeu todos os anos terá probabilidade de 100%, enquanto que um pixel que nunca ardeu terá probabilidade zero. As razões pelas quais determinado pixel nunca ardeu são desconhecidas e, perante a existência de combustível, não se pode garantir que a verosimilhança de que esse pixel combustível venha a ser afectado seja efectivamente zero, apenas que é reduzida. Por outro lado, dado o modelo ser multiplicativo, sendo o zero elemento absorvente da multiplicação, os pixeis com essa probabilidade não podem ser considerados como tal. Deste modo, optou-se por reclassificar todos os pixeis de valor zero (absorventes) para um (neutros). Assim, pixeis que nunca sofreram combustão no intervalo considerado serão neutros, não afectando o resultado final. Os restantes pixeis são classificados de acordo com a probabilidade que resulta da aplicação da fórmula expressa em [1]. Um pixel que tenha ardido 10 vezes em 20 anos terá uma probabilidade anual de sofrer uma combustão de 50%.

4.2 O declive

A influência do declive na progressão dos incêndios florestais é conhecida. Quanto maior o declive mais depressa o fogo se propaga, por aquecimento dos combustíveis acima na vertente, e como factor potenciador do vento (Macedo e Sardinha, 1993; Ferreira de Castro et al, 2003). Assume-se, portanto, que o declive é uma variável a considerar, mas não pode dizer-se com segurança que a relação entre declive e susceptibilidade é linear, nem tão pouco resulta como prático usar todos os valores possíveis no cálculo. Deste modo, o declive foi primeiramente reclassificado de tal modo que a layer tivesse as seguintes classes, em graus: [0 – 2],] 2 – 5],] 5 – 10],] 10 – 15],] 15 – 20] e] 20 – 90]. Para cada classe determinou-se a relação entre os pixeis ardidos no intervalo de referência e aqueles que podiam ter ardido, resultando numa densidade para cada classe. A tabela 1 apresenta os scores atribuídos a cada classe, de acordo com a relação anteriormente expressa.

Declives Classe	Pixeis		Proporção	Score
	Disponíveis	Ardidos		
0 – 2	3.769.671	176.063	0,0467	47
2 – 5	4.620.398	410.381	0,0888	89
5 – 10	3.113.286	603.791	0,1939	194
10 – 15	1.363.989	424.216	0,3110	311
15 – 20	659.408	253.866	0,3850	385
> 20	392.260	168.735	0,4302	430
Total	13.919.012	2.037.052		

Tabela 1 – Scores das classes de declive definidos a partir das áreas ardidas entre 1975 e 1994

4.3 A ocupação do solo

Avaliar perigosidade de incêndio florestal pressupõe a existência de espaços susceptíveis à ocorrência e propagação deste fenómeno, não fazendo sentido a avaliação em territórios onde não existem espaços florestais ou rurais. Assim, da análise foram deliberadamente retirados todos os espaços cuja ocupação do solo corresponde, conforme a classificação Corine Land Cover 2000 (CLC2000), a espaços artificializados, águas interiores e oceano, os níveis 1, 4 e 5, respectivamente. A figura 5 apresenta os territórios aos quais se aplicou o modelo. Existem áreas ardidas cartografadas sobre o que o CLC2000 considera áreas artificiais ou mesmo águas interiores (áreas cuja ocupação se alterou ou que em época estival se encontram secas), no entanto, por uniformidade de critério, essas áreas ardidas não são consideradas neste modelo que restringe a análise aos níveis 2 e 3.

Os tipos de ocupação do solo podem ser classificados de acordo com o seu comportamento face ao fogo, determinado a partir da análise histórica. Com uma série temporal razoavelmente longa, podem ser determinados *scores* de favorabilidade para as várias classes de ocupação do solo, procedendo de forma similar à aplicada aos declives (tabela 1). Deve notar-se que a diferença do total de pixeis entre declives e ocupação do solo se deve sobretudo a diferenças entre as duas camadas de informação. Embora ambas correspondam aos limites interiores do mesmo território, Portugal continental, o facto de para a ocupação do solo não se utilizarem os códigos de nível 1, 4 e 5 motiva a diferença de pixeis disponíveis e ardidos entre estas duas variáveis.

4.4 A integração dos dados

A partir dos *scores* obtidos para declives e ocupação do solo, a informação matricial foi reclassificada de tal modo que os pixeis pertencentes a cada classe assumissem o valor, ou *score* que as tabelas 1 e 2 apresentam.

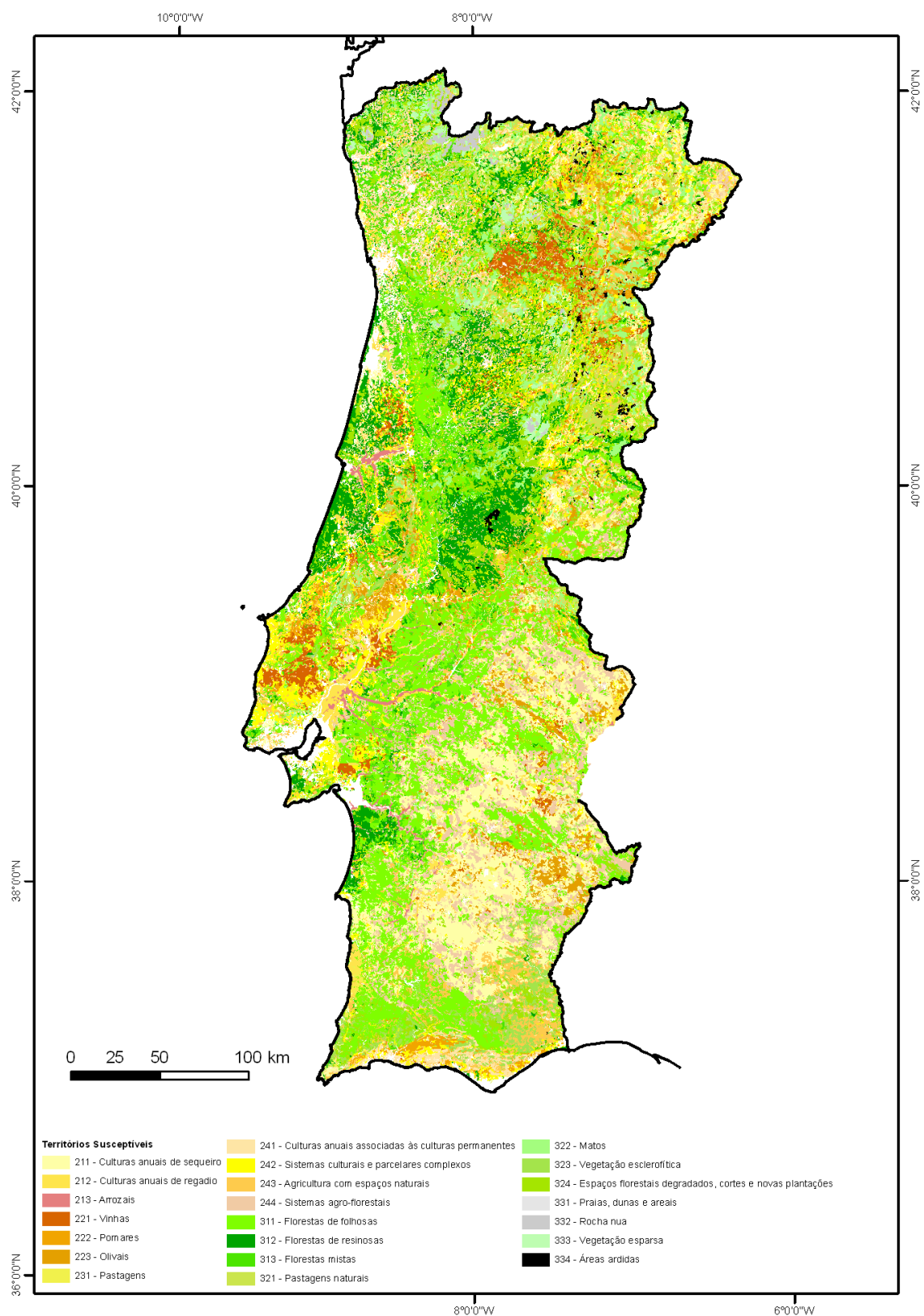


Figura 5 – Territórios susceptíveis a incêndios florestais
(Fonte: Corine Land Cover 2000)

Ocupação Código	Píxeis		Proporção	Score
	Disponíveis	Ardidos		
211	1.708.124	82209	0,0481	48
212	304.212	7269	0,0239	24
213	83.543	662	0,0079	8
221	363.891	8010	0,0220	22
222	156.557	5298	0,0338	34
223	422.767	7772	0,0184	18
231	58.999	2444	0,0414	41
241	656.927	10909	0,0166	17
242	972.839	17430	0,0179	18
243	1.063.543	75674	0,0712	71
244	874.533	20794	0,0238	24
311	1.908.393	212452	0,1113	111
312	1.079.951	214363	0,1985	198
313	820.553	145770	0,1776	178
321	289.554	157757	0,5448	545
322	526.757	290650	0,5518	552
323	303.814	46371	0,1526	153
324	1.505.318	578481	0,3843	384
331	18.868	456	0,0242	24
332	69.070	32018	0,4636	464
333	121.568	79077	0,6505	650
334	49.378	27389	0,5547	555
Total	13.359.159	2.023.255		

Tabela 2 – Scores das classes de ocupação do solo, definidos a partir de áreas ardidas entre 1975 e 1994

A informação histórica, vertida para o modelo sob a forma de probabilidade anual, conforme referido no ponto 4.1, foi integrada juntamente com os *scores* de favorabilidade dos declives e ocupação do solo de acordo com a seguinte regra:

$$\text{Cond.Única} = pa \times SfD \times SfOS \quad [2]$$

Em que *pa* é a probabilidade anual, *SfD* é o *score* de favorabilidade dos declives e *SfOS* é o *score* de favorabilidade da ocupação do solo.

Por multiplicação simples das *layers* matriciais, obtém-se uma representação do território a que correspondem condições únicas. As condições únicas que resultam deste produto, quando classificadas e cruzadas com as áreas ardidas, permitem realizar dois tipos de curva: curvas de sucesso e curvas de predição. Estas curvas, para além de permitirem concluir acerca da validade do modelo de susceptibilidade, servem ainda como orientação para a definição das classes a utilizar no mapa final. A curva de sucesso de um modelo preditivo constroi-se a partir do cruzamento do mapa de susceptibilidade resultante do processo de integração dos

dados, com a distribuição das áreas ardidas utilizadas para definir os scores das tabelas 1 e 2 (i.e., áreas ardidas entre 1975 e 1994, no caso de estudo). Neste sentido, a taxa de sucesso avalia apenas o grau de ajuste entre o modelo preditivo e os dados que o originaram, não permitindo uma validação cabal do mapa de susceptibilidade. A curva de predição do modelo obtém-se através do cruzamento do mapa de susceptibilidade com a distribuição de áreas ardidas que não foram consideradas na construção do modelo (i.e., no caso em apreço, áreas ardidas entre 1995 e 2004). Deste modo, os resultados da curva de predição podem ter uma interpretação preditiva, visto que decorrem de um processo de validação independente.

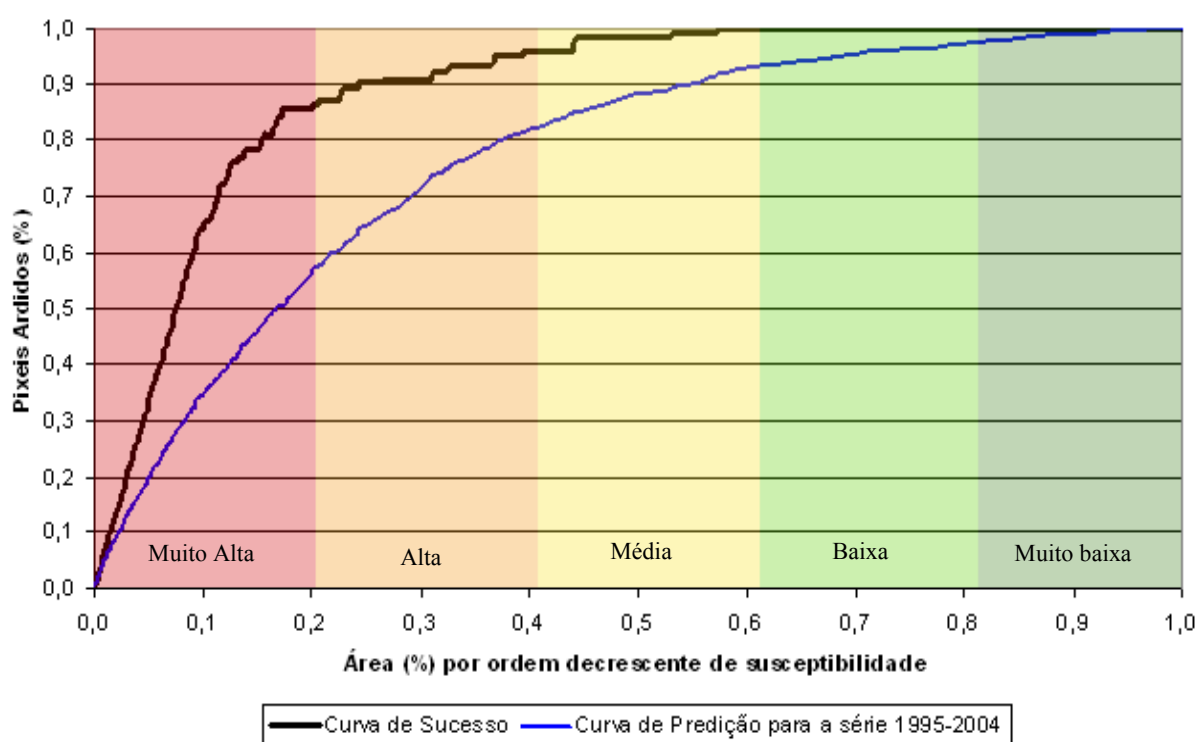


Figura 6 – Curva de sucesso para a série 1975-1994 e curva de predição para a série 1995-2004. As cores assinalam as classes de susceptibilidade definidas com base em quintis, cuja expressão espacial está expressa na figura 7

A curva de sucesso do mapa de susceptibilidade demonstra que, para as variáveis utilizadas, com apenas 10% da área tratada se conseguem enquadrar mais de 64% dos píxeis ardidos. Quando se consideram os 24% da área total classificada como mais susceptível, verifica-se que ela integra mais de 90% da área ardida no período 1975-1994. A curva de predição apresenta, como seria de esperar, resultados menos bons do que os da curva de sucesso. Apesar disso, verifica-se que 50% da nova área ardida está constrangida aos 17% da área classificada como mais susceptível pelo modelo preditivo. Adicionalmente, alargando a área

classificada como mais susceptível para 30%, constata-se que ficam explicadas 73% das novas áreas ardidas. A interpretação preditiva destes valores permite concluir que, por exemplo, num horizonte temporal não definido, 73% das futuras áreas ardidas vão ocorrer na área correspondente aos 30% do território nacional classificado como mais susceptível pelo modelo preditivo.

A curva de predição para a série 1995-2004 sobre o mapa de susceptibilidade para 1975-1994 apresenta-se muito regular, sem quebras expressivas que facilitem classificações. Desse modo, uma classificação objectiva e puramente matemática parece adequada. É o caso da classificação baseada nos quantis que, remetendo para cada classe o mesmo número de observações, é neutra. Assim, o mapa de susceptibilidade obtido por multiplicação dos scores das três variáveis foi reclassificado em quintis. A opção por quintis prende-se com o que está legalmente previsto (Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho) e com o que tradicionalmente se utiliza nos mapas de susceptibilidade aos incêndios florestais, cinco classes com a denominação qualitativa de “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto” (figura 7).

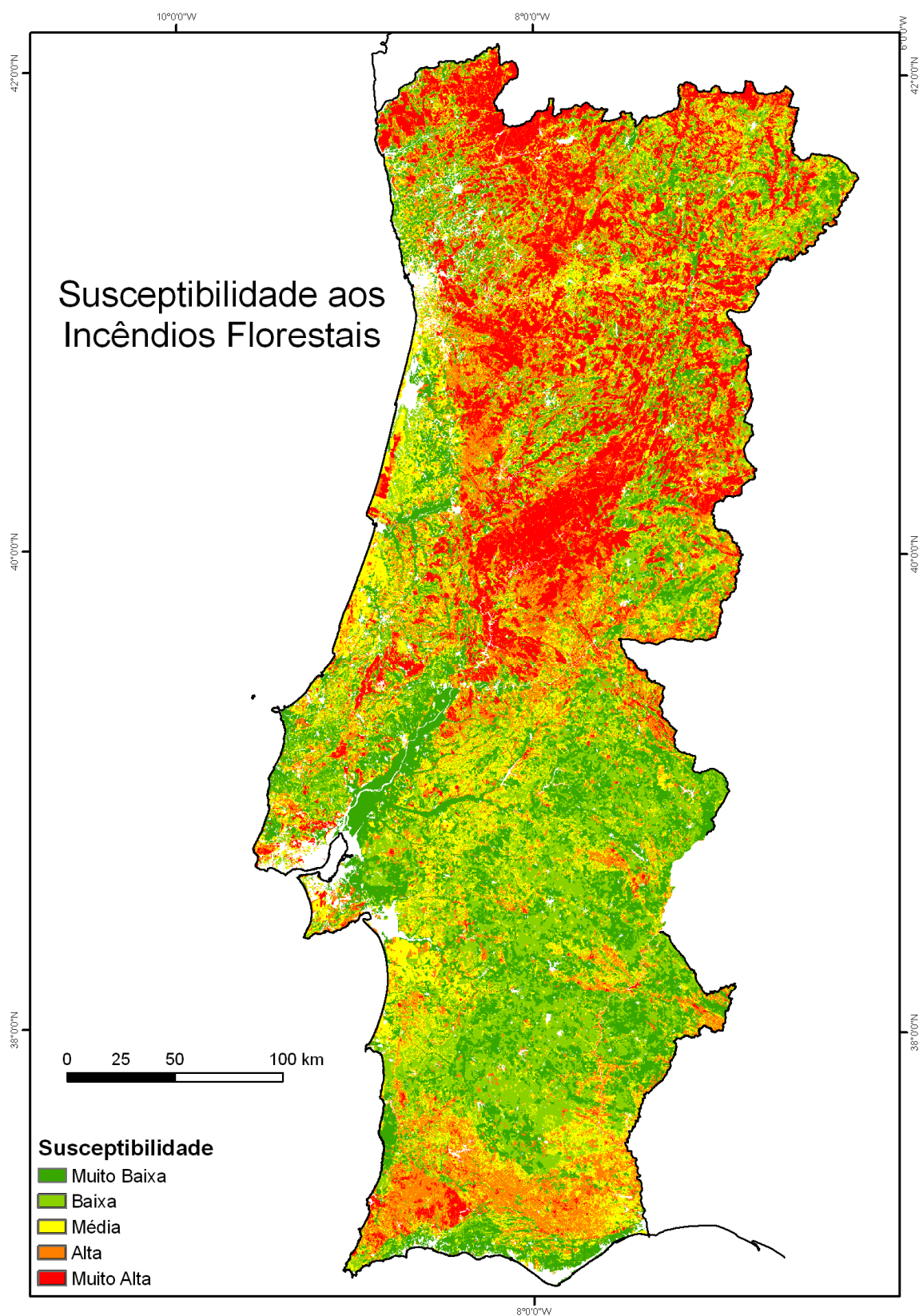


Figura 7 – Susceptibilidade aos incêndios florestais

5. Avaliação da perigosidade

A cartografia de perigosidade de incêndio florestal é em tudo similar ao mapa de susceptibilidade com a diferença de que tem um cenário subjacente para o qual se podem determinar as probabilidades de envolvimento de cada unidade de terreno matricial no incêndio. Em 2003 arderam, de acordo com dados oficiais, 425.726 hectares, o pior ano registado. A partir do mapa de susceptibilidade apresentado e da determinação das taxas de predição para cada classe, pode partir-se para um mapa de perigosidade tendo por base um cenário similar, sabendo-se assim qual a probabilidade de que cada pixel – individualmente – venha a ser afectado por um incêndio florestal.

A determinação das probabilidades para cada pixel assenta na aplicação da fórmula (Zêzere et al, 2004):

$$P = 1 - \left(1 - \frac{aaf}{at} \times vpred \right) \quad [3]$$

Em que *aaf* é a área total afectada (i.e., a área ardida do cenário assumido), *at* é a área total da classe de susceptibilidade e *vpred* é o valor preditivo da mesma.

Considere-se um cenário em que a área ardida total em Portugal continental é de 500 mil hectares, ultrapassando o pior ano registado até ao momento. Qual seria a probabilidade de que cada pixel fosse afectado por um incêndio? Essa probabilidade apresenta-se na tabela 3.

Classe de Susceptibilidade	Área (n.º de pixeis, pixel=80m)	Valor preditivo	Probabilidade por pixel
Muito Baixa	2.783.096	0,03	0,85 %
Baixa	2.780.358	0,05	1,40 %
Média	2.758.308	0,12	3,38 %
Alta	2.634.032	0,28	8,42 %
Muito Alta	2.401.267	0,52	16,81 %

Tabela 3 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal Continental, para um cenário de 500 mil hectares de área ardida total num ano.

No cenário apresentado, a probabilidade de que qualquer pixel da classe de susceptibilidade muito baixa seja afectado é muito reduzida, abaixo de 1%. Não sendo seguro, em probabilidades, dizer-se que a possibilidade de ocorrência seja absolutamente nula, no cenário presente seria muito improvável que essa classe fosse afectada.

A classe de susceptibilidade alta apresenta uma probabilidade de 8,42 % e, note-se, a probabilidade de que cada pixel da classe de susceptibilidade muito alta seja afectado é quase exactamente o dobro daquela da classe imediatamente abaixo. Para a classe mais susceptível, cada pixel tem 16,8% de probabilidade de ser afectado por um incêndio. O valor preditivo combinado das duas classes de susceptibilidade mais elevada atinge os 80%, sendo que a área abrangida pelas duas classes corresponde apenas a 37,7% do total de Portugal Continental. Por outras palavras, a fracção das áreas queimadas fora das duas classes de susceptibilidade máxima, correspondente a 63,3% do território nacional, estará limitada a 20% do total das futuras áreas ardidas.

Dentro do mesmo cenário traçado, pode revelar-se útil saber qual é probabilidade de que uma determinada área seja afectada, quando inserida nas várias classes de susceptibilidade. Considere-se uma mata pública de 100 hectares. Dependendo da classe de susceptibilidade em que esta mata se insira, qual seria a probabilidade de que uma parte da mata seja afectada por um incêndio num cenário em que, num dado ano, ardessem 500 mil hectares? É possível responder a essa questão aplicando a fórmula (Zêzere et al., 2004):

$$P' = 1 - \left(1 - \frac{aaf}{at} \times vpred \right)^{aer} \quad [4]$$

em tudo similar a [3] com excepção para a potência *aer* que designa a área do elemento em risco.

No exemplo proposto, para o cenário de área ardida total de 500 mil hectares, considere-se a mata pública com 100 hectares (157 pixeis), totalmente inserida na classe de susceptibilidade mais elevada. A probabilidade de que uma parte desta mata venha a arder é praticamente 100%. Mesmo na classe de susceptibilidade mais baixa, a probabilidade continuaria elevada, nos 74%. Pode dizer-se que num cenário de área ardida anual de 500 mil hectares, as probabilidades de uma mata extensa ser afectada por um incêndio são muito elevadas, qualquer que seja a classe de susceptibilidade. Tratando-se de um cenário do qual Portugal esteve já muito próximo (2003 e 2005), e face ao valor directo e indirecto da floresta portuguesa, trata-se de um risco que se pode considerar inaceitável.

Considere-se um cenário menos severo, similar à situação de 2006, em que a área ardida total foi de 69.752,78 hectares. Neste cenário as probabilidades de que qualquer pixel, individualmente, seja percorrido por incêndio, são menores (tabela 4). A mesma mata pública de 100 hectares utilizada anteriormente como exemplo, teria neste cenário apenas 17% de

probabilidade de ser parcialmente afectada, na classe mais baixa, e 98% na classe de susceptibilidade mais elevada.

Classe de Susceptibilidade	Área (n.º de pixeis, pixel=80m)	Valor preditivo	Probabilidade por pixel
Muito Baixa	2.783.096	0,03	0,12 %
Baixa	2.780.358	0,05	0,20 %
Média	2.758.308	0,12	0,47 %
Alta	2.634.032	0,28	1,17 %
Muito Alta	2.401.267	0,52	2,34 %

Tabela 4 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal Continental, para um cenário de 69.752,78 hectares de área ardida total num ano.

6. Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que é possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal com recurso a poucas variáveis como o histórico de incêndios, o declive e a ocupação do solo. A relação que o fogo tem com a ocupação do solo e o declive permite conhecer os locais onde a susceptibilidade é superior, a que se junta o histórico de incêndios para a melhor definição de padrões e diferenciação de locais onde a recorrência surge como um problema. Esse facto é tanto mais relevante quanto os incêndios florestais portugueses têm uma causalidade maioritariamente relacionada com actos negligentes e/ou dolosos. Em condições equivalentes, territórios com a mesma ocupação do solo e declive teriam a mesma susceptibilidade. O padrão de ocorrência, por estar associado à causalidade, vem diferenciar o território susceptível introduzindo indirectamente factores que de outro modo seriam mais complicados trabalhar: o comportamento humano e aspectos sociais.

As vantagens de implementação de um modelo simplificado com recurso a apenas três variáveis passam pela rapidez da actualização periódica e facilidade processual. Apenas o histórico tem alterações anuais, e a ocupação do solo é uma cartografia com actualizações periódicas. Os declives em espaços susceptíveis (áreas rurais) são razoavelmente estáveis. Processualmente, implementar e actualizar o modelo é uma tarefa que recorre a temas ou *layers* que se podem obter de forma gratuita e rápida. A Direcção-Geral dos Recursos Florestais, autoridade florestal nacional, fornece gratuitamente a cobertura digital de áreas ardidas com recurso ao Landsat. Por outro lado, é possível obter coberturas de ocupação do solo a partir da internet como é o caso do Corine Land Cover, e existem igualmente modelos digitais de elevação a partir dos quais se podem derivar os declives.

Verificando-se que é rápido e menos complexo implementar modelos como o aqui descrito, começam a existir menos razões para não se fazer uma avaliação de perigosidade, instrumento de base para acções de mitigação de risco, tais como acções de prevenção – intervenção directa no território como a criação de faixas de gestão de combustíveis – e apoio ao pré-posicionamento de meios de supressão durante as fases mais favoráveis à ocorrência de incêndios florestais.

Não obstante os resultados favoráveis, com um bom compromisso entre o número de variáveis e a qualidade do produto final, devidamente validado, existem melhoramentos que podem aplicar-se ao método utilizado: será interessante verificar-se até que ponto as variáveis meteorológicas melhoram os resultados e, se assim for, se o fazem de um modo que justifique os procedimentos adicionais. Será também relevante introduzir melhoramentos na informação relativa à ocupação do solo, usando dados mais actualizados que corrijam deficiências que uma cobertura certamente terá, sete anos depois da sua realização.

Sendo certo que a avaliação de perigosidade fornece, desde logo, respostas úteis à gestão de risco, é igualmente certo que a utilidade deste método só será total quando sobre o resultado agora conseguido se adicionar a componente de dano potencial. Depois de se conseguir responder onde é mais provável que o fogo ocorra, importa determinar onde existem maiores valores a perder. Só depois de se responder a esta questão se pode gerir o risco adequadamente, contribuindo para uma floresta mais resiliente. Só se protege racionalmente aquilo cujo valor se conhece.

Agradecimentos

À Prof. Doutora Maria José Vasconcelos (IICT) e ao Prof. Doutor José Miguel Cardoso Pereira (ISA) pela cedência dos levantamentos de áreas ardidas Landsat entre 1975 e 1983.

Referências

APIF (2005) – Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, MADRP, Miranda do Corvo

Bachmann, A., Allgöwer, B. (1999) – The need for a consistent wildfire risk terminology, in Proceedings from the Joint Fire Science Conference and Workshop, Boise, Idaho, June 15-17

Cardona, O.D. (2003) – Indicators for Disaster Risk Management. First Expert Meeting on Disaster Risk Conceptualization and Indicator Modelling, Manizales-Colombia, 38p.

Ferreira de Castro, C., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., Correia, S. (2003) – Combate a Incêndios Florestais, Manual de Formação Inicial do Bombeiro, 2ª Ed, Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, 93p.

ISA (2005) – Proposta Técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, ISA, Lisboa (www.isa.utl.pt/pndfci)

Macedo, F.W., Sardinha, A.M. (1993) – Fogos Florestais, Vol I, 2ª Ed, Publ. Ciência e Vida, Lisboa, 430p.

Pereira, J.C., Santos, M.T., (2003) – Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 64 p.

United Nations Development Programme – Bureau for Crisis Prevention and Recovery (UNDP-BCPR) (2004) – Reducing Disaster Risk: A challenge for Development. A Global report, UNDP Publications, New York, 161p.

Varnes, D.J., International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) – Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, UNESCO, Paris.

Zêzere, J.L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M.L., Vieira, G., Ferreira, A.B. (2004) – Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal), in Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, p133-146