

ANÁLISE SENSITIVA NA AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS NA REGIÃO A NORTE DE LISBOA

J. L. Zêzere¹, R.A.C. Garcia¹, S. Cruz de Oliveira¹, E. Reis¹

¹Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa

Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa, Tel.: 217940218, Fax: 217938690; jlzezere@fl.ul.pt; rgarcia@fl.ul.pt; cruzdeoliveira@fl.ul.pt; ejmreis@fl.ul.pt .

Palavras chave: Deslizamentos, Susceptibilidade, Modelos de Avaliação Espacial, Análise Sensitiva.

1. Introdução

A avaliação da susceptibilidade aos movimentos de vertente, nomeadamente aos deslizamentos, tem revelado, nos últimos anos, uma evolução muito significativa ao nível das metodologias objectivas de cartografia indirecta, baseada em análises estatísticas, bi-variadas ou multi-variadas, que, por derivarem de ensaios matemáticos, permitem a validação independente dos resultados após o processamento dos modelos e não apenas aquando da ocorrência de fenómenos de instabilidade, o que no caso de Portugal pode demorar vários anos.

A avaliação da susceptibilidade do território à ocorrência de deslizamentos na escala regional, independentemente do método utilizado, baseia-se no pressuposto de que os futuros movimentos de vertente têm maior probabilidade de ocorrência sob condições semelhantes às que originaram instabilidade no passado. Neste contexto, o desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem a criação e cruzamento de parâmetros de uma forma cada vez mais expedita, tem justificado o aumento significativo do número de variáveis utilizadas na construção dos modelos espaciais de avaliação da susceptibilidade. Contudo, será que aumentar infinitamente a quantidade de parâmetros de entrada num modelo preditivo gera melhores resultados finais do ponto de vista da avaliação estatística, ou origina apenas um maior volume de dados disponível e um processamento da informação mais complexo e moroso? A resposta objectiva a esta questão só é possível através da aplicação de uma análise sensitiva. Esta metodologia tem como base dois critérios inalteráveis ao longo de todo o processo: um conjunto de dados de movimentos de vertente, nomeadamente a sua distribuição espacial, e o modelo de avaliação de susceptibilidade. O tópico que sofre modificações ao longo da análise é o número de variáveis tidas em conta para a elaboração do modelo de susceptibilidade e

respectivo mapa final, o qual é depois validado através do cálculo da correspondente taxa de sucesso. Este indicador permite avaliar, de forma objectiva e directamente comparável, a capacidade preditiva de qualquer modelo de susceptibilidade relativamente à distribuição espacial dos deslizamentos que estiveram na base da sua construção. Assim, através desta metodologia é possível ir incrementando a cada novo modelo uma nova variável e verificar qual a sua importância nos resultados finais.

Neste trabalho é desenvolvida uma análise sensitiva a modelos estatísticos de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de diferentes tipos de movimentos de vertente (deslizamentos rotacionais, translacionais e translacionais superficiais), baseados na interpretação *bayesiana* de funções de favorabilidade. Para cada tipo de movimento estudado, são distinguidas as variáveis condicionantes que incrementam as taxas de sucesso obtidas, dos parâmetros que pouco contribuem para a explicação da variância da distribuição espacial dos deslizamentos, seja por inexistência de correlação espacial, seja por redundância de informação, frequentemente associada a situações de autocorrelação entre variáveis.

A identificação dos factores condicionantes mais eficazes para a discriminação entre áreas estáveis e instáveis no território é uma etapa extremamente importante no processo de avaliação da susceptibilidade, pois só assim a relação custo-benefício poderá ser optimizada, aspecto indispensável quando se pensa na aplicabilidade destes estudos ao Ordenamento do Território.

2. Área de estudo e instabilidade das vertentes

O presente trabalho desenvolve-se na área-amostra de Fanhões – Trancão (20 km²), localizada na Região a Norte de Lisboa (Fig. 1). A litologia é marcadamente heterogénea, incluindo conglomerados, arenitos, margas, calcários margosos, calcários, basaltos e tufo vulcânicos, datados do Cretácico e Paleogénico. A estrutura geológica regional é monoclinal, com as formações geológicas inclinadas de forma moderada (5-25°) para S e SE.

A área-amostra de Fanhões – Trancão é parte integrante da costeira de Lousa – Bucelas, estando localizada no reverso deste relevo estrutural. Destacam-se na área dois importantes vales com disposição cataclinal: o vale da Ribeira de Fanhões e o vale do Rio Trancão, que corta o relevo de costeira em duas secções, a jusante de Bucelas. O profundo encaixe dos cursos de água cataclinais é responsável pelo desenvolvimento de vertentes com declive acentuado, que têm uma expressão significativa na área, apesar da altitude não ultrapassar os 320 metros.

A cartografia geomorfológica de pormenor, efectuada na escala de 1:2000, permitiu a identificação de 147 movimentos de vertente (Fig. 1), responsáveis por uma superfície total instabilizada de cerca de 450.000 m² (2% da área total).

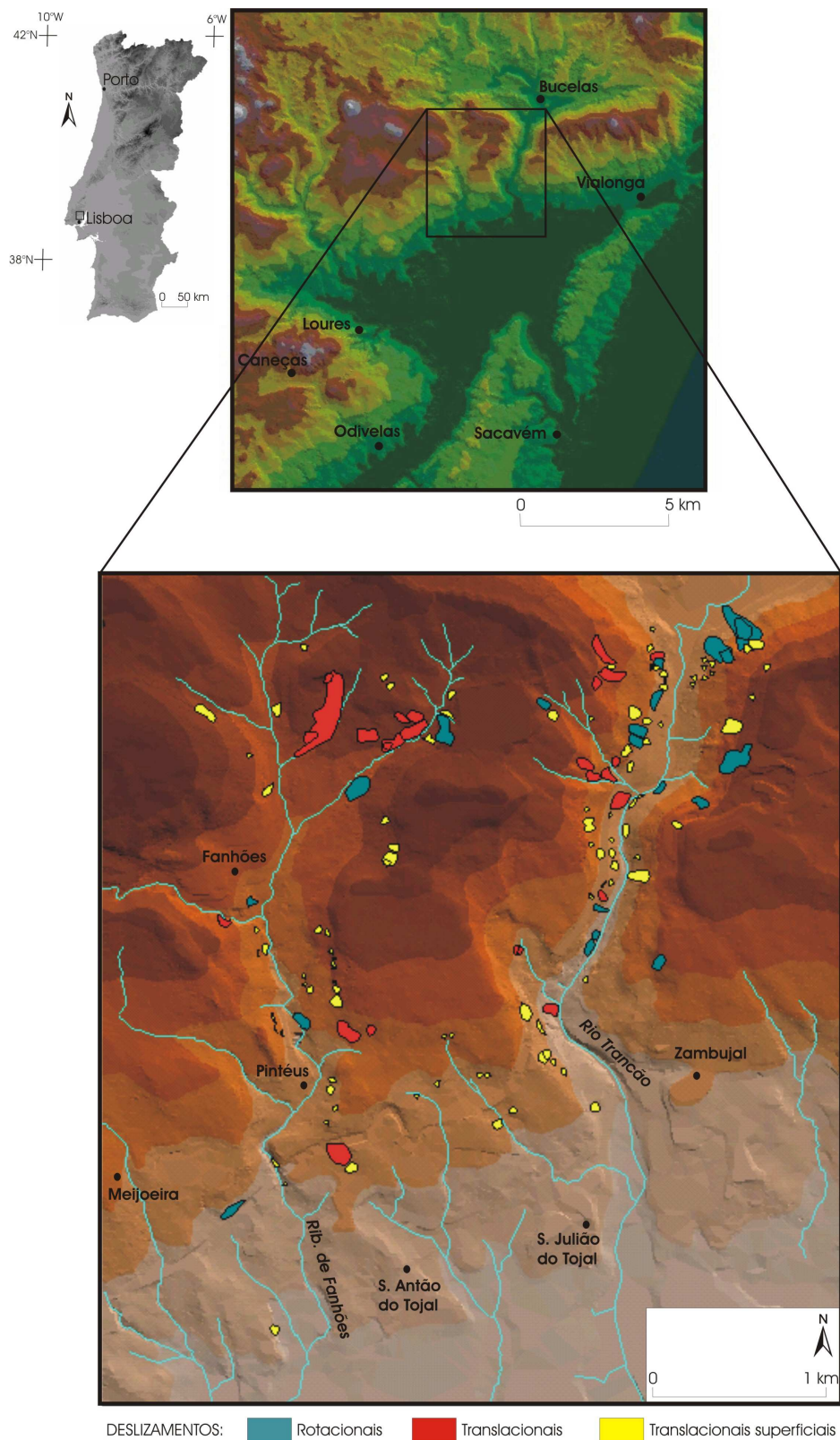


Figura 1 – Localização da área-amostra de Fanhões-Trancão e distribuição espacial dos deslizamentos rotacionais, translacionais e translacionais superficiais.

Os movimentos de vertente inventariados incluem deslizamentos rotacionais (21 casos), translacionais (26 casos) e translacionais superficiais (100 casos).

Os deslizamentos rotacionais ocorrem predominantemente na parte norte da área-amostra, afectando vertentes com declives moderados a fortes (declive médio = 21°), talhadas em arenitos, margas e calcários margosos. Este conjunto de movimentos apresenta os valores médios mais elevados no que respeita à profundidade do plano de ruptura, área abrangida e volume de material mobilizado (5 m; 6.544 m² e 14.650 m³, respectivamente).

Os deslizamentos translacionais são, em média, mais pequenos do que os rotacionais (profundidade = 3,4 m; área = 6.429 m²; volume = 6.699 m³). Estes movimentos de vertente verificam-se quando existe, em simultâneo, uma alternância de bancadas com permeabilidade e resistência ao corte distintas (margas e argilas com intercalações de calcário e calcário margoso), e uma concordância sensível entre o declive da vertente e o sentido de inclinação dos afloramentos rochosos. O declive médio das vertentes instabilizadas por deslizamentos translacionais (16°) é o mais baixo de entre o conjunto das manifestações de instabilidade consideradas.

Os deslizamentos translacionais superficiais são movimentos peliculares (profundidade entre 0,5 m e 1,5 m), que afectam quase exclusivamente os coluviões que revestem as vertentes, ao longo de superfícies de ruptura planares, frequentemente localizadas no contacto com um substrato rochosos impermeável (argilas, margas e tufos vulcânicos). Estes movimentos, embora muito numerosos, são de dimensão reduzida (área média = 1.422 m²) e envolvem um volume de materiais pouco significativo (volume médio = 357 m³).

3. Modelo de avaliação da susceptibilidade: função de favorabilidade e probabilidade condicionada

O método utilizado para a avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente baseia-se no conceito de função de favorabilidade (Chung e Fabbri, 1993; Fabbri *et al.*, 2002). Esta baseia-se no pressuposto de que a possibilidade de ocorrência futura de movimentos de vertente pode ser avaliada quantitativamente, através de relações estatísticas bivariadas entre os deslizamentos de um tipo particular verificados no passado e os vários conjuntos específicos de dados espaciais, assumidos como factores de instabilidade independentes (Reis *et al.*, 2003).

Os factores condicionantes da instabilidade geomorfológica considerados neste trabalho são (Fig. 2): o declive, a exposição, o perfil transversal das vertentes, a litologia, os depósitos superficiais, a geomorfologia e o uso do solo. A Figura 2 sistematiza as classes consideradas em cada um destes mapas temáticos (52, no total), bem como as respectivas fontes da informação. Detalhes suplementares sobre a construção da base de dados podem ser encontrados em Reis *et al.* (2003) e Zêzere *et al.* (2004).

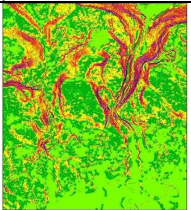
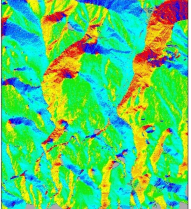



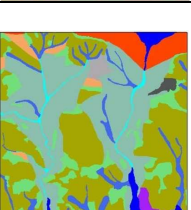
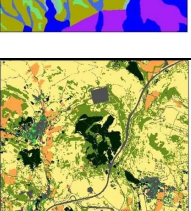
Mapa temático		Classes	ID	Fontes da informação
Declive		0 - 5°	1	Modelo Digital de Terreno (Pixel = 5 metros)
		] 5 - 10°]	2
		] 10 - 15°]	3
		] 15 - 20°]	4
		] 20 - 25°]	5
		] 25 - 30°]	6
		] 30 - 40°]	7
		> 40°	8	
Exposição		Terreno plano	1	Modelo Digital de Terreno (Pixel = 5 metros)
		N	2	
		NE	3	
		E	4	
		SE	5	
		S	6	
		SW	7	
		W	8	
		NW	9	
Perfil transversal		Côncavo	1	Interpretação e vectorização sobre mapa aerofotogramétrico na escala de 1:2000
		Rectilíneo	2	
		Convexo	3	
		Terreno plano	4	
		Auto-estrada A9 (CREL)	5	
Unidades litológicas		Arenitos e calcários	1	Mapa geológico na escala de 1:50.000. Validação com interpretação de fotografia aérea e trabalho de campo
		Margas e calcários margosos	2	
		Calcários com rudistas	3	
		Basaltos e tufo vulcânicos	4	
		Calcários lacustres	5	
		Conglomerados e arenitos	6	
Depósitos superficiais		Aluviões	1	Trabalho de campo com cartografia geomorfológica de pormenor (escala 1:2000)
		Coluviões com espessura < 0,5m	2	
		Coluviões com espessura > 0,5m	3	
		Escoada de detritos de S.J. Tojal	4	
		Dep. terraço com textura fina	5	
		Dep. terraço de cheia recente	6	
		Dep enchimento de valeiro	7	
Unidades geomorfológicas		Canal fluvial com erosão activa	1	Trabalho de campo com cartografia geomorfológica de pormenor (escala 1:2000)
		Planície aluvial	2	
		Anverso de costeira	3	
		Outras vertentes anaclinais	4	
		Vertente cataclinal	5	
		Vertente de vale	6	
		Valeiro de fundo em U	7	
		Terraço fluvial	8	
		Superfície plana	9	
		Pedreira	10	
		Outas áreas antrópicas	11	
Uso do solo		Coberto arbóreo	1	Interpretação de ortofotomapa digital na escala de 1:10.000. Validação com trabalho de campo
		Coberto arbustivo denso	2	
		Coberto herbáceo	3	
		Terrenos cultivados	4	
		Espaço verde urbano	5	
		Áreas urbanas e estradas	6	

Figura 2 – Mapas temáticos utilizados na avaliação da susceptibilidade aos movimentos de vertente e respectivas fontes de informação.

O cálculo de probabilidades *a priori* e de probabilidades condicionadas constitui o primeiro passo no processo de integração cartográfica dos dados. Deste modo, com base

na correlação entre um mapa de deslizamentos de um tipo particular e vários mapas temáticos que representam factores condicionantes da instabilidade, bem como nas relações entre áreas instabilizadas e áreas totais, é possível determinar:

(i) a probabilidade *a priori* de ocorrência de um movimento de tipo z :
 área afectada por movimentos de tipo z / área total (1)

(ii) a probabilidade *a priori* de ocorrência de uma classe j de um Tema T :
 área da classe j do tema T / área total (2)

(iii) a probabilidade condicionada de encontrar um movimento de tipo z na classe j do Tema T :

$$1 - \left(1 - \frac{1}{\text{área da classe } j} \right)^{\text{área afectada por movimentos } z \text{ na classe } j} \quad (3)$$

Os resultados obtidos com a aplicação da equação (3) estão sistematizados no Quadro 1 e podem ser entendidos como valores de favorabilidade, ou indicadores de susceptibilidade. Duma análise sumária dos scores calculados, resulta evidente que a influência de uma mesma variável pode ser muito diferente em função do tipo de movimento de vertente, facto que confirma a necessidade de modelizar separadamente cada tipo de deslizamento.

A probabilidade de encontrar um deslizamento, na presença de n mapas temáticos, usando a regra de integração da probabilidade condicionada, é obtida com a seguinte expressão (Chung e Fabbri, 1999):

$$\frac{(P_{pT1} \times P_{pT2} \times \dots \times P_{pTn})(C_{pT1} \times C_{pT2} \times \dots \times C_{pTn})}{P_{pslide}^{Tn-1} \times (T1 \times T2 \times \dots \times Tn)} \quad (4)$$

onde $T1, T2, \dots, Tn$ são os vários mapas temáticos utilizados como factores independentes de instabilidade; P_p é a probabilidade *a priori* de ocorrência de uma classe j de um Tema T ; P_{pslide} é a probabilidade *a priori* de ocorrência de um movimento de tipo z ; e C_p é a probabilidade condicionada de encontrar um movimento de tipo z na classe j do Tema T (Zêzere et al., 2004).

A equação (4) foi aplicada numa estrutura de dados matricial (pixel = 5 m) num Sistema de Informação Geográfica. Os resultados obtidos (um score para cada um dos 798.109 pixels da imagem digital) variam entre 0 e 1 e podem ser interpretados como indicadores da

probabilidade espacial relativa (ou susceptibilidade) de ocorrência futura de movimentos de vertente de tipo z na área em estudo.

Quadro 1 – Scores das variáveis utilizadas na construção dos modelos de susceptibilidade. As variáveis com maior influência na distribuição dos movimentos estão assinaladas a *bold* (ver na Figura 2 os ID das classes dos mapas temáticos).

Scores de susceptibilidade				
Mapa temático -	ID	Deslizamentos rotacionais	Deslizamentos translacionais	Deslizamentos translacionais superficiais
Declive	1	0,0015	0,0018	0,0008
	2	0,0021	0,0068	0,0026
	3	0,0057	0,0129	0,0070
	4	0,0165	0,0158	0,0161
	5	0,0218	0,0171	0,0221
	6	0,0329	0,0151	0,0363
	7	0,0401	0,0140	0,0334
	8	0,0371	0,0158	0,0357
Exposição	1	0,0001	0,0000	0,0000
	2	0,0193	0,0015	0,0056
	3	0,0023	0,0037	0,0128
	4	0,0047	0,0100	0,0123
	5	0,0044	0,0096	0,0030
	6	0,0008	0,0113	0,0011
	7	0,0033	0,0103	0,0047
	8	0,0157	0,0033	0,0176
	9	0,0462	0,0023	0,0191
Perfil transversal	1	0,0069	0,0131	0,0112
	2	0,0234	0,0094	0,0114
	3	0,0093	0,0070	0,0062
	4	0,0015	0,0008	0,0001
	5	0,0277	0,0202	0,0211
Unidades litológicas	1	0,0740	0,0062	0,0173
	2	0,0139	0,0320	0,0169
	3	0,0156	0,0034	0,0100
	4	0,0017	0,0031	0,0048
	5	0,0000	0,0000	0,0000
	6	0,0000	0,0000	0,0007
Depósitos superficiais	1	0,0029	0,0000	0,0000
	2	0,0017	0,0070	0,0024
	3	0,0153	0,0123	0,0152
	4	0,0000	0,0000	0,0000
	5	0,0000	0,0000	0,0000
	6	0,0005	0,0000	0,0032
	7	0,0125	0,0142	0,0000
Unidades geomorfológicas	1	0,0141	0,0045	0,0113
	2	0,0029	0,0000	0,0000
	3	0,0525	0,0152	0,0185
	4	0,0000	0,0000	0,0028
	5	0,0007	0,0019	0,0019
	6	0,0134	0,0223	0,0186
	7	0,0003	0,0044	0,0021
	8	0,0000	0,0000	0,0000
	9	0,0000	0,0018	0,0002
	10	0,0121	0,0000	0,0000
	11	0,0104	0,0000	0,0000
Uso do solo	1	0,0015	0,0029	0,0036
	2	0,0102	0,0099	0,0128
	3	0,0088	0,0107	0,0077
	4	0,0011	0,0047	0,0013
	5	0,0000	0,0000	0,0008
	6	0,0042	0,0027	0,0038

O processo de validação dos modelos de susceptibilidade é feito com o recurso à construção de curvas de sucesso, onde os scores obtidos a partir da equação (4) são cruzados com os movimentos de vertente utilizados na geração do respectivo modelo.

A Figura 3 sistematiza a sequência de procedimentos para a integração de dados com o objectivo de determinar a susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos.

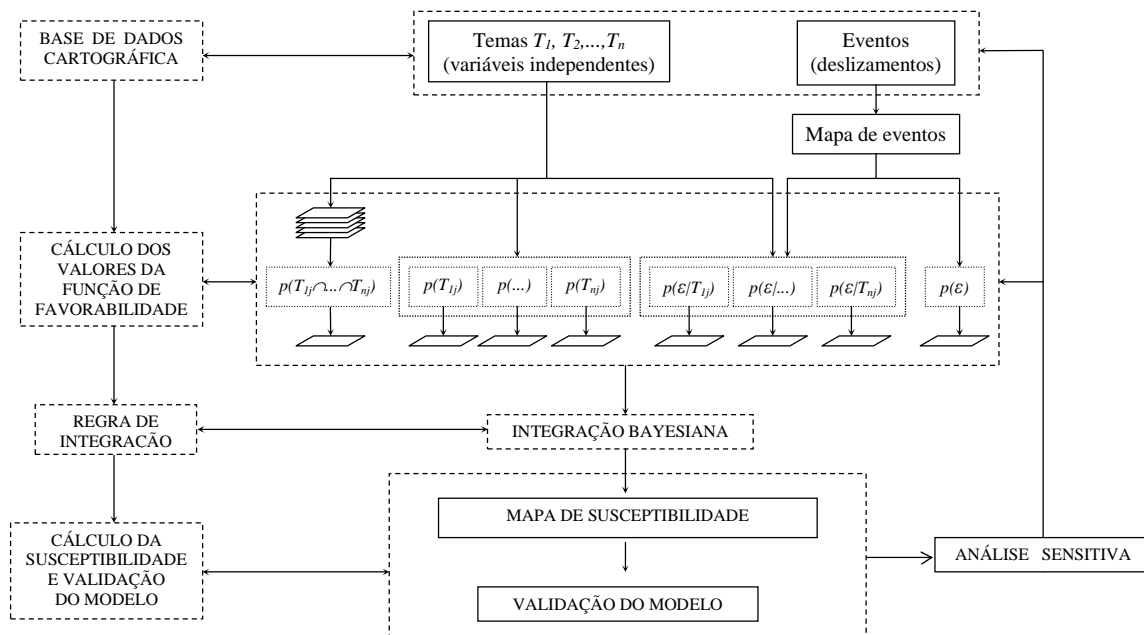


Figura 3 – Metodologia desenvolvida para a avaliação e validação da susceptibilidade do território à ocorrência de deslizamentos (adaptado de Reis *et al.*, 2003).

4. Análise sensitiva

Como já foi referido, a análise sensitiva é aplicada com o objectivo de determinar a importância relativa dos diferentes factores condicionantes utilizados na construção dos modelos de susceptibilidade. Deste modo, numa primeira fase, o modelo descrito na secção anterior foi aplicado considerando, isoladamente, cada um dos factores condicionantes da instabilidade. Os resultados obtidos estão sintetizados na Figura 4 e deles ressaltam dois aspectos fundamentais: (i) as diferentes variáveis consideradas apresentam taxas de sucesso bastante distintas, reflectindo condicionalismos desiguais sobre a instabilidade geomorfológica; e (ii) a importância relativa de um factor particular pode ser bastante diferente, em função do tipo de deslizamento. No que respeita aos deslizamentos translacionais, as variáveis “unidades litológicas” e “unidades geomorfológicas” apresentam as taxas de sucesso mais elevadas, destacando-se claramente das restantes, enquanto que no caso dos deslizamentos rotacionais, estas duas variáveis são acompanhadas de perto pelos factores “exposição” e “declive” das vertentes. Por último, os deslizamentos

translacionais superficiais são melhor preditos pelo factor “declive”, seguido pela variável “unidades geomorfológicas”.

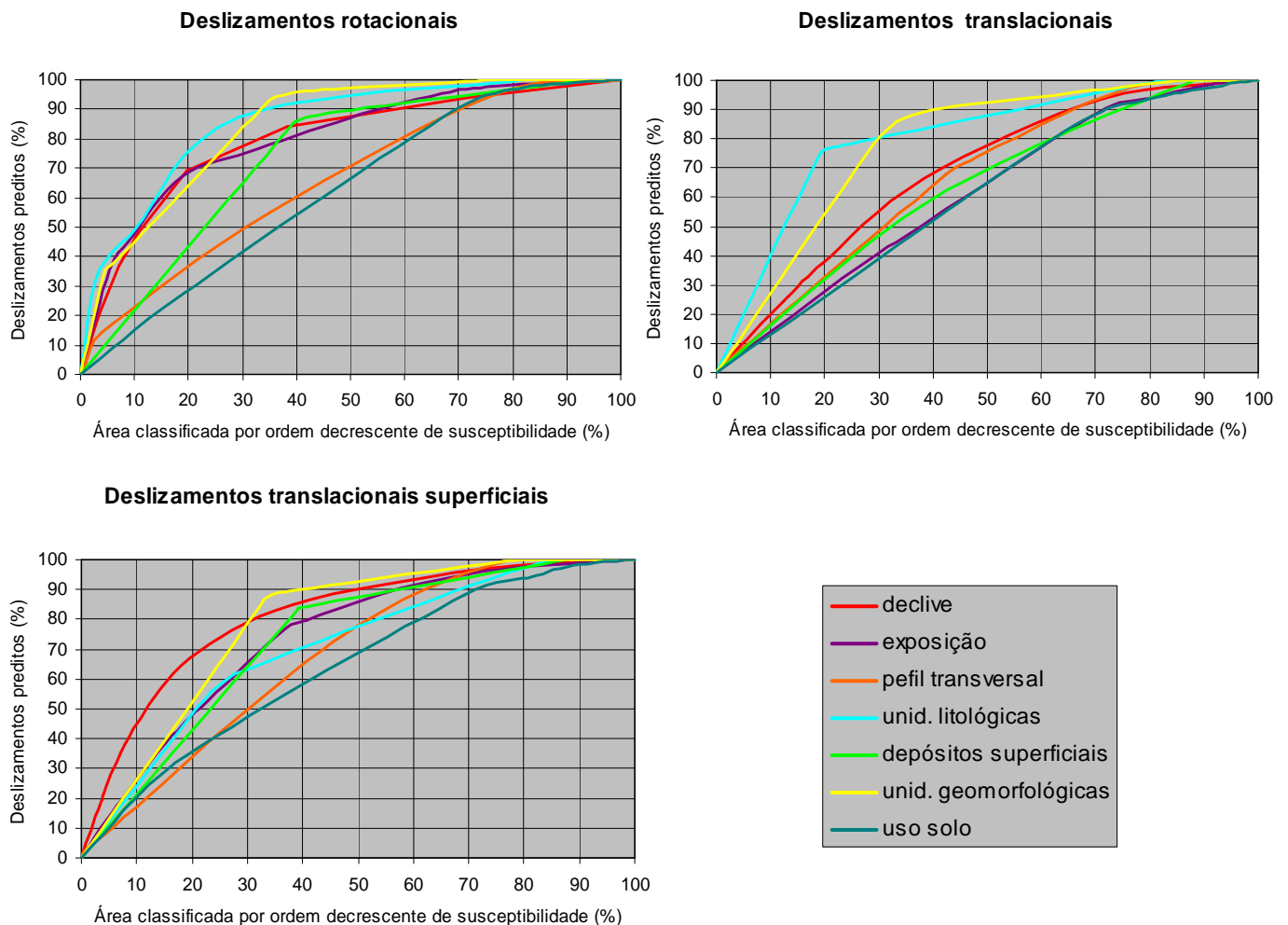


Figura 4 – Taxas de sucesso dos modelos de avaliação da susceptibilidade aos deslizamentos obtidas com a utilização isolada de cada um dos factores condicionantes de instabilidade.

O Quadro 2 sintetiza a hierarquia dos factores de instabilidade para os tipos de deslizamentos considerados, obtida a partir da informação da Figura 4. Esta hierarquia foi respeitada na continuação da análise sensitiva, desenvolvida de modo sistemático através da introdução de uma nova variável nos modelos de avaliação de susceptibilidade. Deste modo, foram obtidos sucessivamente scores de susceptibilidade com a aplicação da fórmula (4), para cada conjunto de deslizamentos estudados, considerando as seguintes situações (Quadro 2): (i) 2 variáveis (correspondentes aos campos 1 e 2); (ii) 3 variáveis (correspondentes aos campos 1 a 3); (iii) 4 variáveis (correspondentes aos campos 1 a 4); (iv) 5 variáveis (correspondentes aos campos 1 a 5); (v) 6 variáveis (correspondentes aos campos 1 a 6); e (vi) 7 variáveis (correspondentes aos campos 1 a 7).

Quadro 2 - Hierarquia dos factores condicionantes da instabilidade estabelecida a partir das respectivas taxas de sucesso.

Deslizamentos			
	Rotacionais	Translacionais	Translacionais superficiais
1	Unidades litológicas	Unidades litológicas	Declive
2	Unidades geomorfológicas	Unidades geomorfológicas	Unidades geomorfológicas
3	Exposição	Declive	Depósitos superficiais
4	Declive	Perfil transversal	Exposição
5	Depósitos superficiais	Depósitos superficiais	Unidades litológicas
6	Perfil transversal	Exposição	Perfil transversal
7	Uso do solo	Uso do solo	Uso do solo

A capacidade preditiva dos 18 modelos de susceptibilidade produzidos (6 para cada tipo de deslizamento) está sintetizada na Figura 5, através das respectivas taxas de sucesso. Por sua vez, a Figura 6 representa a variação do poder de predição dos modelos, na dependência do número de variáveis consideradas, para algumas áreas padrão de susceptibilidade máxima (5%, 10%, 20%, 30% e 40% da superfície total).

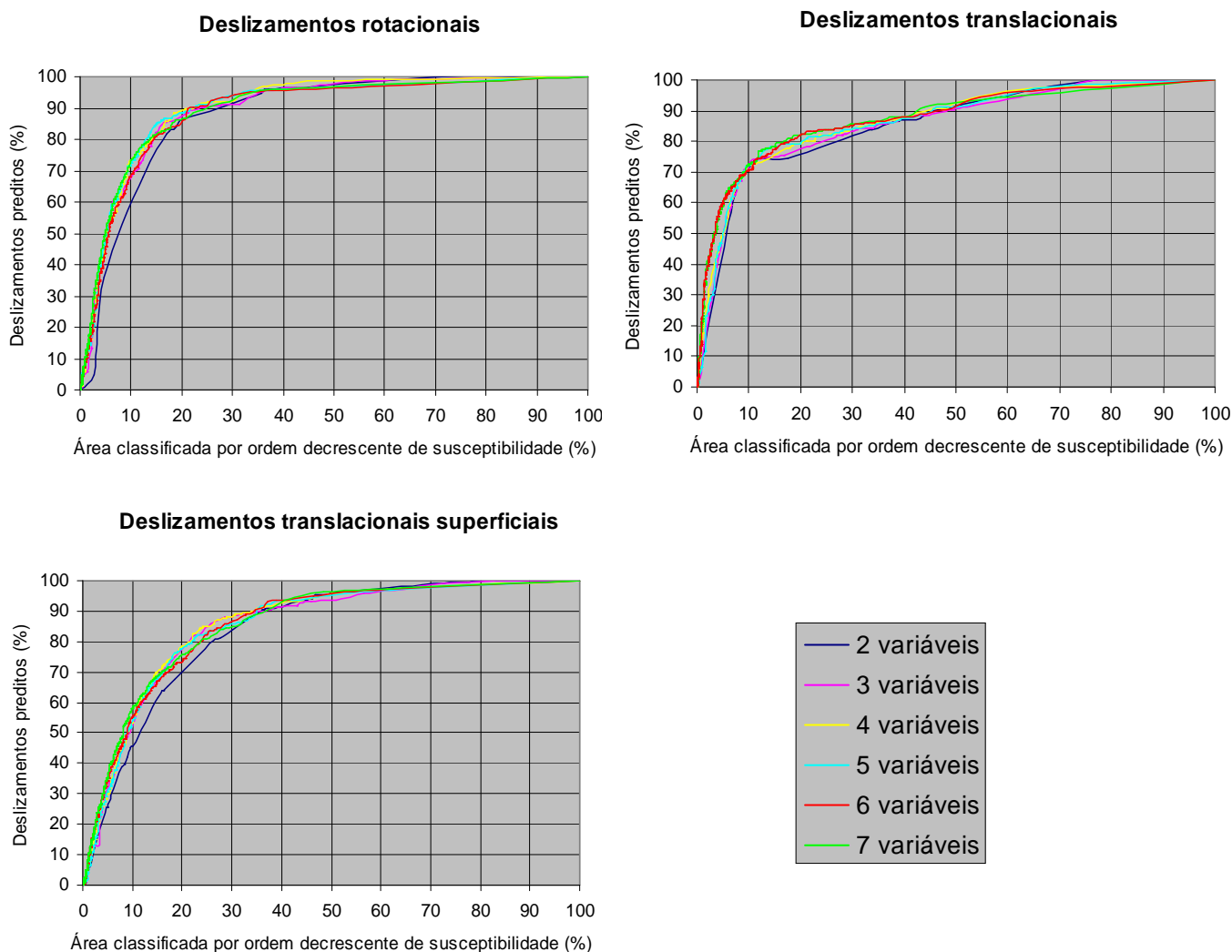


Figura 5 – Taxas de sucesso dos modelos de avaliação da susceptibilidade aos deslizamentos obtidas com a utilização de diferentes combinações de factores condicionantes de instabilidade.

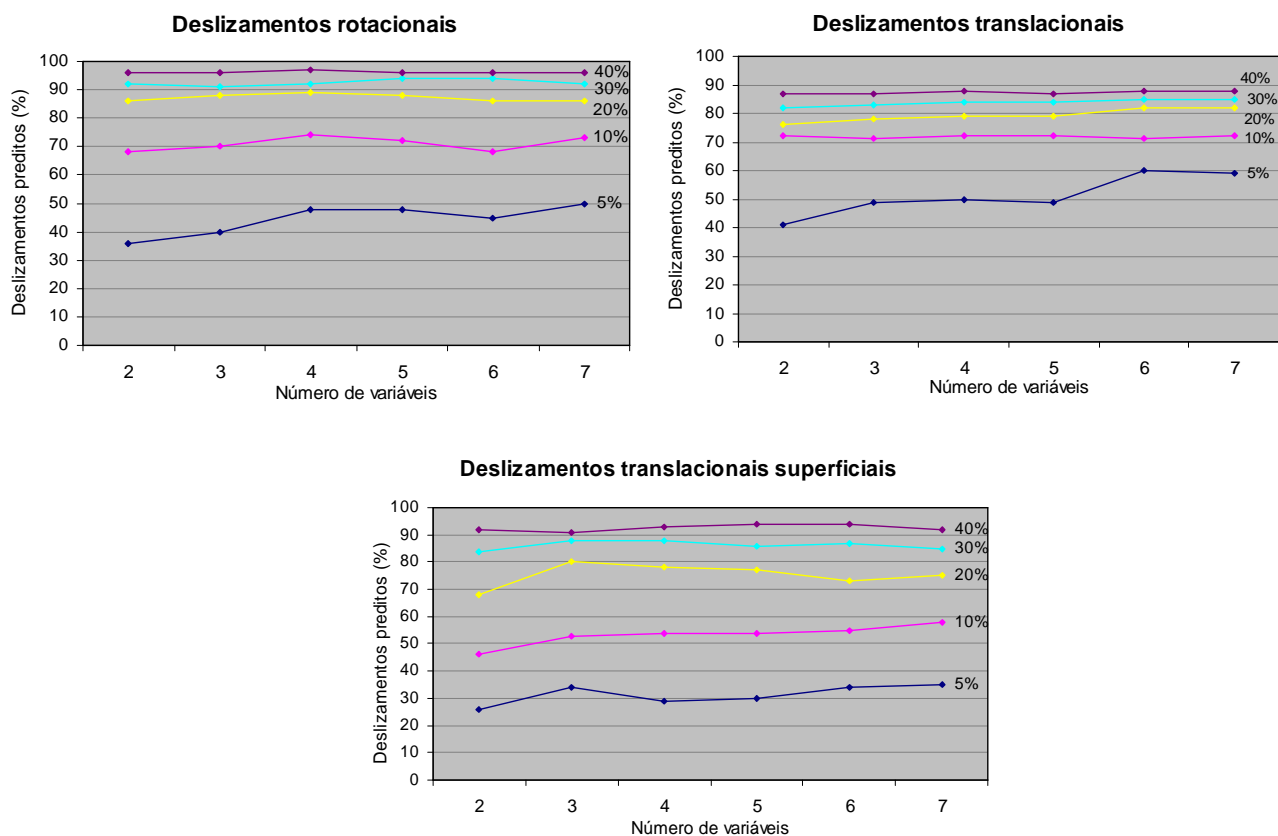


Figura 6 – Variação da capacidade preditiva dos modelos de avaliação da susceptibilidade aos deslizamentos, em função do número de variáveis consideradas, para diferentes áreas de susceptibilidade máxima (correspondentes a 5%, 10%, 20%, 30% e 40% da área total).

Da análise das figuras 5 e 6 ressaltam os seguintes aspectos:

- (i) tendencialmente, os resultados dos modelos melhoram com o incremento do número de variáveis, nomeadamente quando se isolam para análise os 5% e 10% de área total classificada como mais susceptível;
- (ii) quando se alarga a análise para os 30% e 40% de área total classificada como mais susceptível, os resultados tendem a estabilizar, com variações máximas de 4% nas taxas de predição, facto que indica uma reduzida sensibilidade dos modelos ao número de variáveis condicionantes consideradas;
- (iii) a introdução de novas variáveis nos modelos não se repercute, necessariamente, em melhores resultados nas taxas de sucesso. Por exemplo, no caso dos deslizamentos rotacionais, os resultados obtidos com cinco variáveis (unidades litológicas + unidades geomorfológicas + exposição + declive + depósitos superficiais) são sensivelmente melhores que os alcançados com seis factores (5 anteriores + perfil transversal das vertentes);
- (iv) os deslizamentos estudados podem ser preditos, com resultados bastante satisfatórios, sem recorrer à totalidade dos mapas temáticos utilizados. No que respeita aos deslizamentos rotacionais, o modelo obtido com uma combinação de 4 variáveis (unidades

litológicas + unidades geomorfológicas + exposição + declive) origina taxas de sucesso praticamente iguais às conseguidas com o conjunto dos factores condicionantes. No mesmo sentido, no caso dos deslizamentos translacionais, uma combinação de 4 variáveis, ainda que diferente da anterior (unidades litológicas + unidades geomorfológicas + declive + perfil transversal) gera uma taxa de sucesso semelhante à correspondente à totalidade dos factores. No entanto, neste caso, subsistem algumas diferenças mais significativas nos 5% de área de susceptibilidade máxima, com melhores resultados com a utilização de 7 ou 6 variáveis no modelo preditivo. Por último, no que respeita aos deslizamentos translacionais superficiais, a combinação de 3 variáveis (declive + unidades geomorfológicas + depósitos superficiais) resulta num modelo de avaliação da susceptibilidade cuja taxa de sucesso se aproxima bastante da relativa a 7 variáveis, ultrapassando-a mesmo, quando se isolam para análise 20% e 30% da área classificada como mais susceptível.

As figuras 7, 8 e 9 representam os mapas de susceptibilidade obtidos com a totalidade dos factores condicionantes (Mapas A) e com um número mais reduzido de variáveis (Mapas B). Para facilitar as comparações, o estabelecimento das classes nos mapas seguiu sempre o mesmo critério, reportando-se à área classificada por ordem decrescente de susceptibilidade (em %).

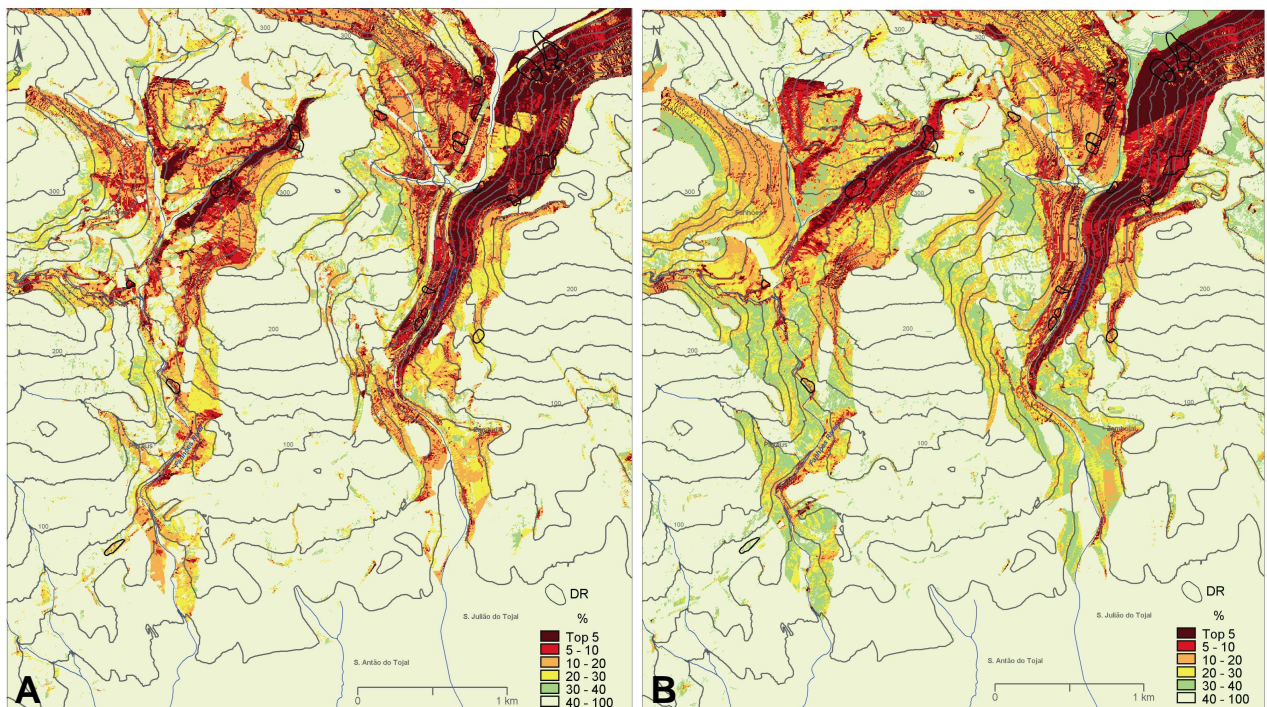


Figura 7 – Mapas de susceptibilidade aos deslizamentos rotacionais na área amostra de Fanhões – Trancão. A – modelo obtido com a totalidade [7] dos factores condicionantes; B – modelo obtido com 4 variáveis (unidades litológicas + unidades geomorfológicas + exposição + declive). DR – deslizamentos rotacionais. As classes reportam-se à área classificada por ordem decrescente de susceptibilidade (em %).

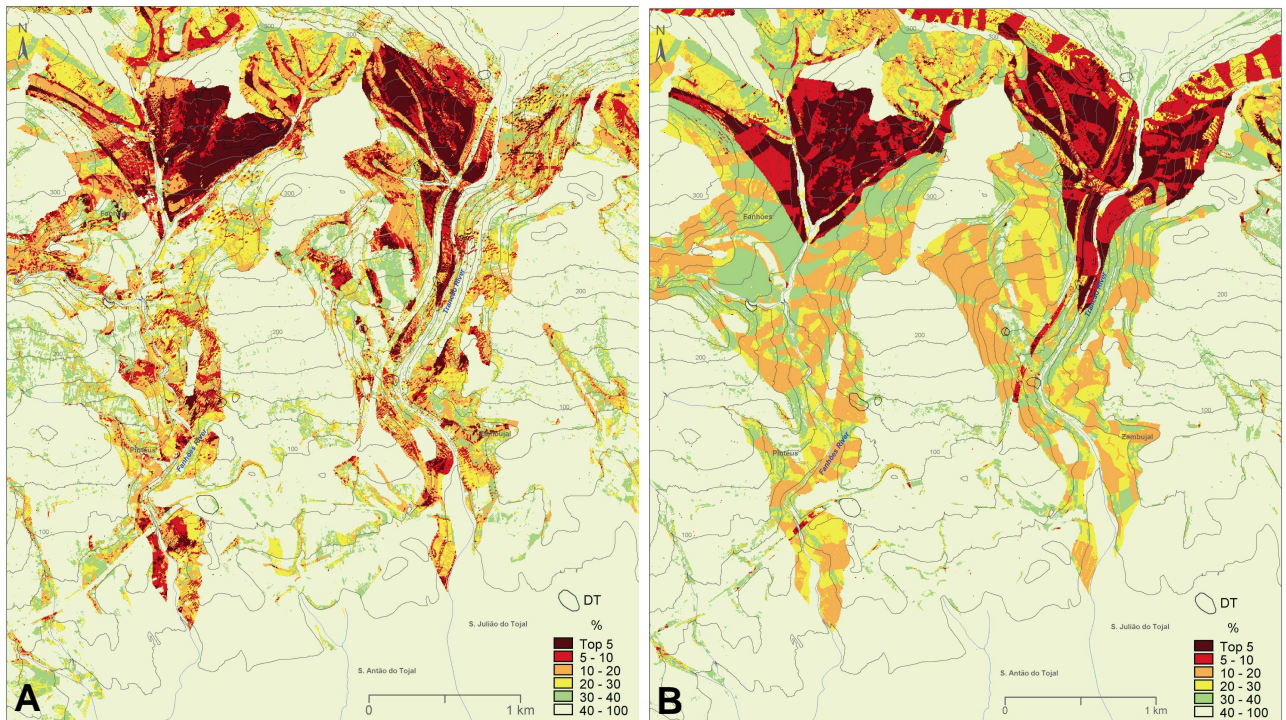


Figura 8 – Mapas de susceptibilidade aos deslizamentos translacionais na área amostra de Fanhões – Trancão. A – modelo obtido com a totalidade [7] dos factores condicionantes; B – modelo obtido com 4 variáveis (unidades litológicas + unidades geomorfológicas + declive + perfil transversal). DT – deslizamentos translacionais. As classes reportam-se à área classificada por ordem decrescente de susceptibilidade (em %).

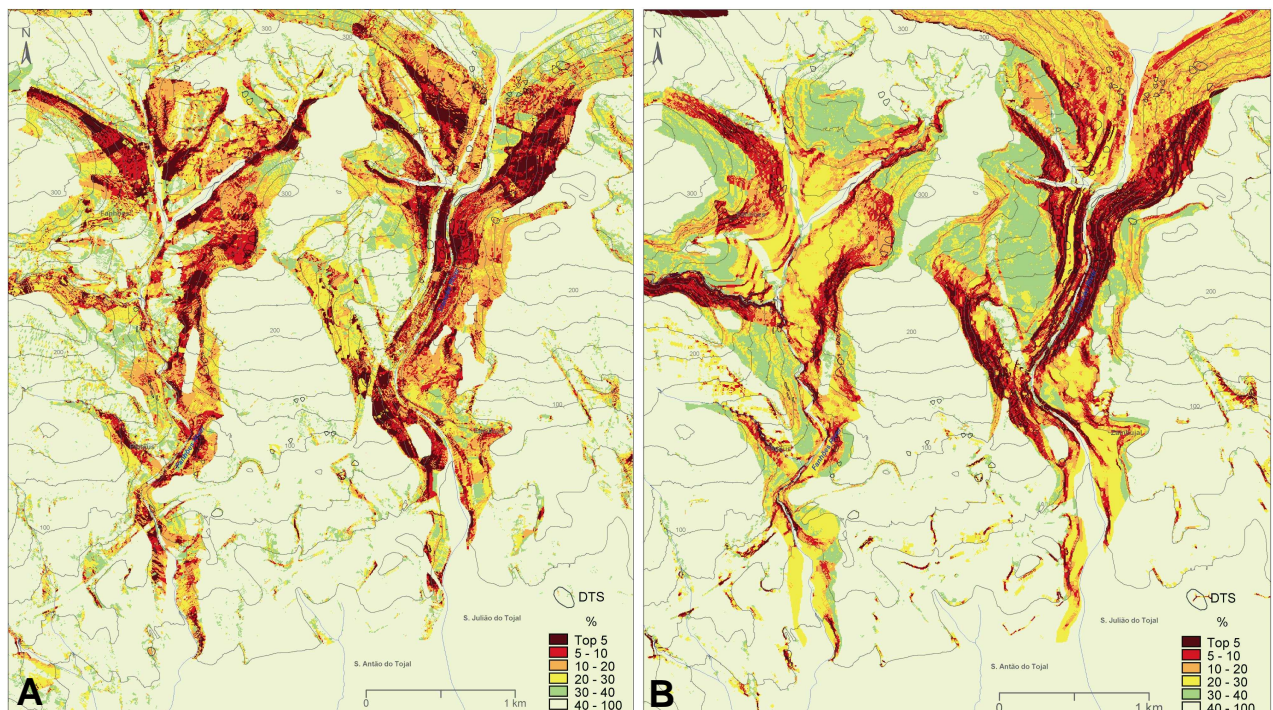


Figura 9 – Mapas de susceptibilidade aos deslizamentos translacionais superficiais na área amostra de Fanhões – Trancão. A – modelo obtido com a totalidade [7] dos factores condicionantes; B – modelo obtido com 3 variáveis (declive + unidades geomorfológicas + depósitos superficiais). DTS – deslizamentos translacionais superficiais. As classes reportam-se à área classificada por ordem decrescente de susceptibilidade (em %).

Nas Figuras 7, 8 e 9 ressaltam padrões de distribuição da susceptibilidade classificada bastante semelhantes, quando se comparam os mapas A e B. Este facto é mais evidente no caso das classes de susceptibilidade mais elevada e confirma os resultados obtidos nas taxas de sucesso, já descritas.

A principal diferença observada entre os mapas A e B diz respeito à uniformidade das manchas de susceptibilidade representadas, que é bastante mais acentuada no caso dos modelos preditivos produzidos com menos variáveis (mapas B). Este facto é explicado pelo diferente número de “condições únicas” de terreno, que resultam de todos os cruzamentos existentes entre as várias classes dos distintos factores de instabilidade considerados em cada modelo. Com efeito, os mapas de susceptibilidade baseados na totalidade dos factores condicionantes estão associados a 15.636 “condições únicas”, que contribuem decisivamente para o padrão menos uniforme da distribuição das classes de susceptibilidade. Em contrapartida, a quantidade de “condições únicas” decresce significativamente nos modelos sustentados por um menor número de variáveis (1.953, 750 e 234, nos casos dos deslizamentos rotacionais, translacionais e translacionais superficiais, respectivamente), justificando a maior homogeneidade espacial das classes de susceptibilidade, nos mapas B.

5. Conclusão

A quantidade e qualidade da informação de base, respeitante à caracterização dos movimentos de vertente e dos respectivos factores condicionantes, têm uma importância crucial na relevância dos resultados de qualquer avaliação de susceptibilidade, independentemente do método analítico utilizado. Na maior parte dos casos, não é fácil obter informação cartográfica detalhada, sistemática e com qualidade, que reflecta directamente os factores físicos intervenientes no sistema da instabilidade geomorfológica, e que são: (i) a distribuição das tensões tangenciais; (ii) as propriedades de resistência (friccional e coesiva) por parte dos materiais envolvidos; e (iii) a variação, espacial e temporal, da pressão intersticial da água nos vazios das rochas e dos solos. Deste modo, é usual o recurso a informação cartográfica indirecta, cuja correlação com os factores atrás referidos nem sempre é óbvia. Um exemplo concreto desta situação diz respeito à variável “uso do solo / coberto vegetal”, utilizada extensivamente em trabalhos de avaliação da susceptibilidade, nacionais e internacionais, por razões que, em boa parte dos casos, se prendem mais com a facilidade de obtenção da informação cartográfica (por interpretação de fotografia aérea, ortofotomapa ou imagem de satélite), do que com a relevância comprovada do factor em questão. Como foi demonstrado neste trabalho, no caso da área amostra de Fanhões – Trancão, esta variável ocupa o último lugar na hierarquia dos

factores condicionantes para todos os tipos de deslizamentos considerados, tendo um contributo muito reduzido na evolução das taxas de sucesso dos modelos preditivos.

A multiplicação e o desdobramento dos mapas temáticos usados na modelação estatística da susceptibilidade aos deslizamentos não são acompanhados, necessariamente, pelo incremento da qualidade preditiva dos modelos produzidos. Com efeito, ficou demonstrado que é possível obter resultados muito satisfatórios recorrendo a um número limitado de factores condicionantes da instabilidade. Contudo, estas “variáveis chave” não são idênticas para todos os tipos de movimentos de vertente, pelo que não é seguro defini-las *a priori*, sem o recurso a uma análise sensitiva. Deste modo, conclui-se que a abordagem mais prudente à susceptibilidade implica, numa primeira fase, a utilização do maior número possível de mapas temáticos coerentes, consistentes e com relação lógica com a instabilidade geomorfológica. Numa etapa posterior, os modelos preditivos podem ser simplificados, com perdas mínimas de informação, por eliminação das variáveis que pouco (ou nada) acrescentam à sua capacidade preditiva.

Nota final

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto de Investigação Europeu ALARM, *Assessment of Landslide Risk and Mitigation in Mountain Areas* (Contract EVG1-CT-2001-00038)

Bibliografia

- Chung, C.F.; Fabbri, A. (1993) - The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, 2 (2), p. 122-138.
- Chung, C.F.; Fabbri, A. (1999) - Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65 (12), p. 1389-1399.
- Fabbri, A.; Chung, C.F.; Napolitano, P.; Remondo, J.; Zêzere, J.L. (2002) - Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula. In Brebbia C.A. (Ed.), *Risk Analysis III*, Series: Management Information Systems vol. 5, WIT Press, Southampton, Boston, p. 703-718.
- Reis, E.; Zêzere, J.L.; Vieira, G.T.; Rodrigues, M.L. (2003) – Integração de dados espaciais em SIG para avaliação da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos. *Finisterra*, XXXVIII, 76, Lisboa, p.3-34.
- 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). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, European Geophysical Society, p.133-146.