“Caracterização do Risco de Erosão nos Municípios do Distrito de Évora”

Relatório

Versão final

Coordenação geral: Professor Doutor Nuno Neves, Professora Doutora Isabel Ramos

Coordenação técnica: Nuno Guiomar, Marco Freire

Equipa: Carlos Vila-Viçosa, Paula Mendes, Rui Machado, Sérgio Godinho, Sílvia Faria

Março de 2014

Documento Confidencial

Índice

1. Enquadramento e objetivos do estudo 3
2. Enquadramento geográfico 3
3. Estudo parcial 1: Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km^2 4
4. Estudo parcial 2: Carta de lagoas e lagos e respectivos leitos, margens e faixas de proteção 7
5. Estudo parcial 3: Carta de albufeiras e respectivas faixas de proteção, no mínimo de 100m de largura 8
6. Estudo parcial 4: Carta de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos 13
6.1. Sistemas aquíferos existentes na área de estudo 14
6.2. Metodologia para avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos 17
6.2.1. Índice de Susceptibilidade (aquíferos porosos) 18
6.2.2. Índice de Vulnerabilidade EPIK 24
6.3. Resultados da aplicação dos índices de vulnerabilidade 26
6.3.1. Índice de susceptibilidade IS 26
6.3.2. Índice de vulnerabilidade EPIK 28
6.3.3. Análise comparada do IS e do EPIK 30
6.4. Integração das aluviões 32
7. Estudo parcial 5: Carta de zonas ameaçadas pelas cheias 34
7.1. Definição metodológica geral 35
7.2. Análise hidrológica e hidráulica preliminar 38
7.3. Análise SWAMP (*Structural Water Accumulation Modelling Prediction*) 40
7.4. Resultados 41
8. Estudo parcial 6: Carta de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo 43
8.1. Metodologia 44
8.1.1. Fator de erosividade da precipitação 46
8.1.2. Fator de erodibilidade do solo 47
8.1.3. Fator fisiográfico 48
8.1.4. Fator relativo ao coberto vegetal 49
8.1.5. Fator antrópico 49
8.1.6. Cálculo do risco de erosão 50
8.2. Resultados da aplicação do modelo adoptado 50
8.3. Comparação dos resultados obtidos com a REN atualmente em vigor 53
9. Estudo parcial 7: Áreas de instabilidade de vertentes 56
9.1. Objectivos de proteção 56
9.2. Definições 57
9.3. Critérios de delimitação 60
9.4. Dados de base e processamento da informação 63
9.5. Resultados 63
10. Nota final 65
11. Referências bibliográficas 65

1. Enquadramento e objectivos do estudo

O relatório que se apresenta descreve as tarefas efectuadas no âmbito do cumprimento do contrato celebrado relativo à aquisição de serviços para "Caracterização do Risco de Erosão nos municípios do distrito de Évora".

Em conformidade com o n.º 2 da Cláusula 27.ª (Cláusulas Técnicas) da Parte II do Caderno de Encargos, o presente relatório contém uma ilustração de um conjunto de elementos cartográficos (cujas bases informativas digitais constituem anexo a este documento), elaborados à escala 1:25.000:

- Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km^2;
- Carta de lagoas e lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção;
- Carta de albufeiras e respetiva faixa de proteção, no mínimo de 100m de largura;
- Carta de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos;
- Carta de zonas ameaçadas pelas cheias;
- Carta de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo;
- Carta de áreas de instabilidade de vertentes.

Os elementos cartográficos foram produzidos de acordo com o estabelecido na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, e Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro, e em conformidade com os termos técnicos da proposta adjudicada.

2. Enquadramento geográfico

O estudo incidiu sobre os 14 municípios (Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mora, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Vendas Novas, Viana do Alentejo e Vila Viçosa) do Distrito de Évora.

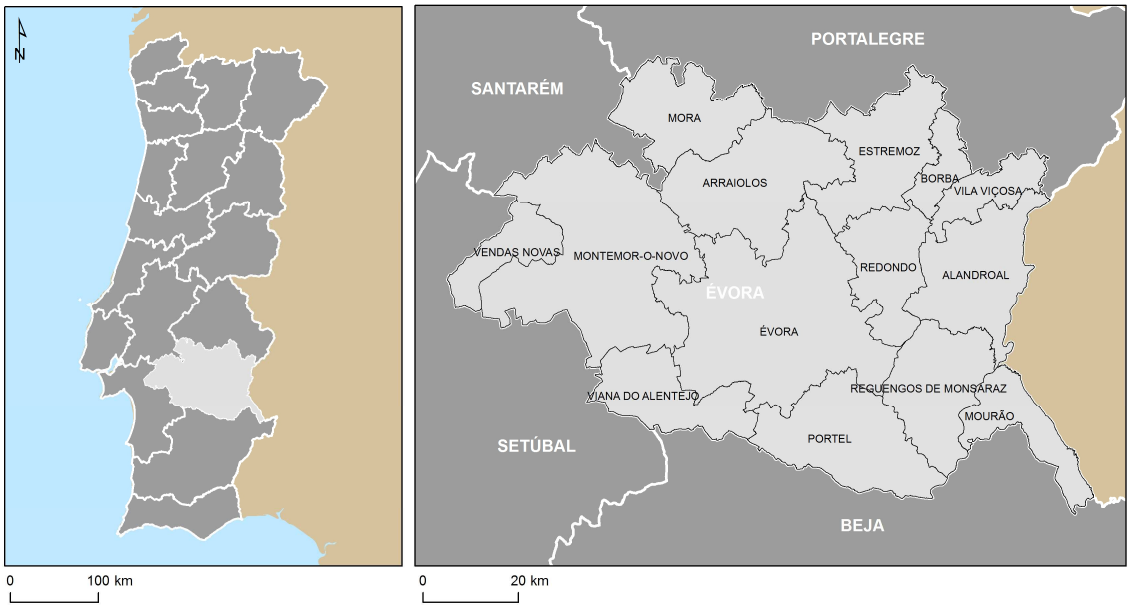

Figura 1. Área de estudo

3. Estudo parcial 1: Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km^2

A definição espacial dos elementos a integrar na carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km^2 decorrerão de uma sequência de procedimentos analíticos que de seguida se descrevem:

- Procedimentos de edição e geoprocessamento de elementos a integrar na construção do modelo digital de elevações, nomeadamente incluindo a validação da base altimétrica linear e pontual existente, a edição de cursos de água e planos de água existentes;
- Construção do modelo digital de elevações - A construção do Modelo Digital de Elevações (MDE) deverá considerar a representação do terreno da forma mais fidedigna possível considerando a frequência das observações altimétricas disponíveis e o objetivo de modelação a que se destina. Num contexto de análise de processos em que o escoamento constitui um factor primordial, é fundamental que o MDE represente o mais corretamente possível o sistema de drenagem e os processos hidrológicos em que a erosão hídrica se insere. O método escolhido utilizará uma aproximação baseada numa técnica interpolativa iterativa (*Iterative Finite Diference Interpolation Technique*) (Wahba, 1990) que permite a estimativa de valores numa

perspectiva contextual decorrente de um processo multi-resolução adaptativo. A partir de bases informativas com frequências de observação altimétrica relativamente baixas é possível estimar de forma mais adequada o comportamento "funcional" do relevo em processos de escoamento;

- Pré-definição de bacias hidrográficas dos cursos de água mais importantes, tomando em consideração a classificação de tipologias de bacias definida no SNIRH. Estas bacias serão validadas através da sua geração sobre o novo modelo digital de elevações, com uma resolução matricial superior ao utilizado na definição original desses elementos. Estas bacias destinam-se sobretudo à constituição de áreas de análise espacial global, permitindo a validação dos cálculos subsequentes na definição de sub-bacias hidrográficas;
- Geração e seleção de sub-bacias a partir do método de classificação absoluto considerando todas as áreas separadas por linhas divisórias de água (*ridges*). A seleção final de sub-bacias a incluir resultará de um cálculo de área, em conformidade com o estabelecido pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro.

As atividades desenvolvidas centraram-se na pré-avaliação de potencial de ocorrências da tipologia em análise, com base no disposto na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 de 3 de Outubro, nos elementos informativos constantes no Esquema Nacional de Referência e no conjunto de fontes de informação geográfica ou outras disponíveis, e na definição de modelo geográfico de aplicação de procedimentos de edição, geoprocessamento e análise espacial, com base nas metodologias de delimitação de tipologias anteriormente definidas. Após a implementação de procedimentos constantes no modelo geográfico definido, os resultados encontram-se na Figura 2.

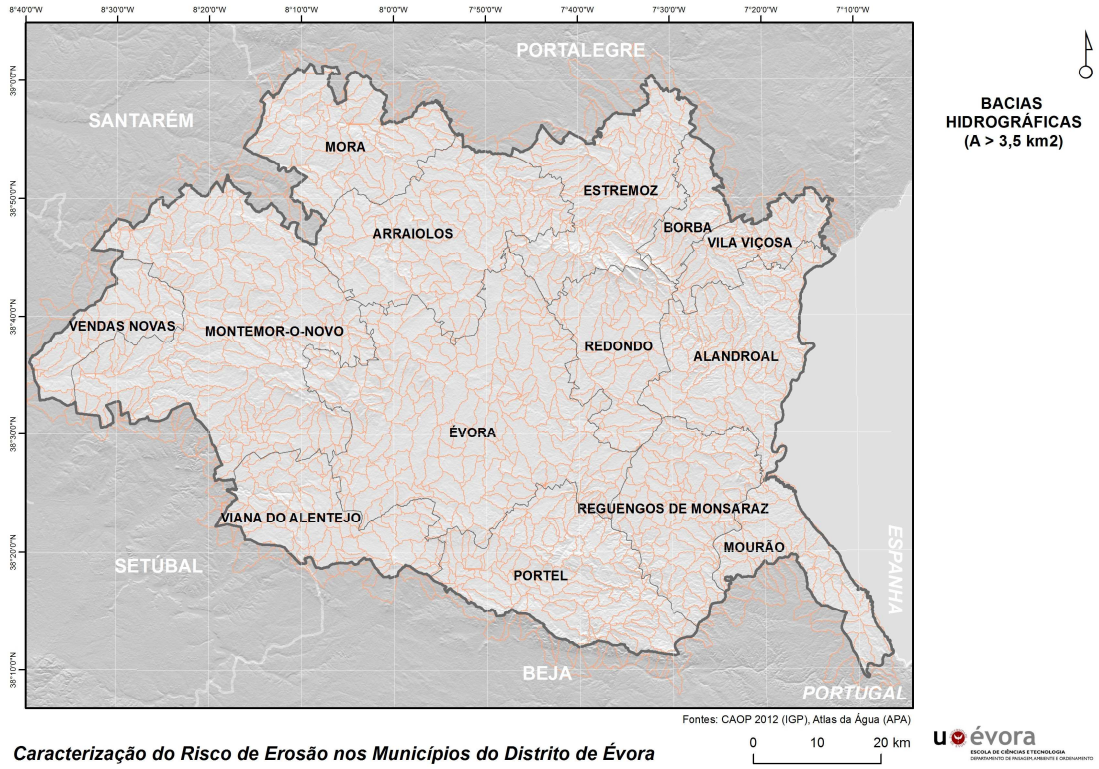

Figura 2. Bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km^2

Posteriormente à definição das bacias hidrográficas foram identificados os cursos de água responsáveis pela sua drenagem. Foi feita a edição dos cursos de água e planos de água existentes na cartografia de base à escala 1:10.000, sendo feita a verificação da sua existência através da análise da cobertura de fotografia aérea para a área de estudo. Foram consideradas nesta tipologia as albufeiras dos pequenos aproveitamentos hídricos, cuja dimensão não justifique a sua integração na tipologia albufeiras, com delimitação à cota do nível de pleno armazenamento (NPA).

Na definição da rede hidrográfica foi tido em conta o princípio orientador do presente trabalho, em termos de continuidade e integração, pelo que foram identificados os cursos de água que, embora estando fora da área delimitada pelo Distrito de Évora, contribuem para compreender o funcionamento do sistema em termos hidrológicos.

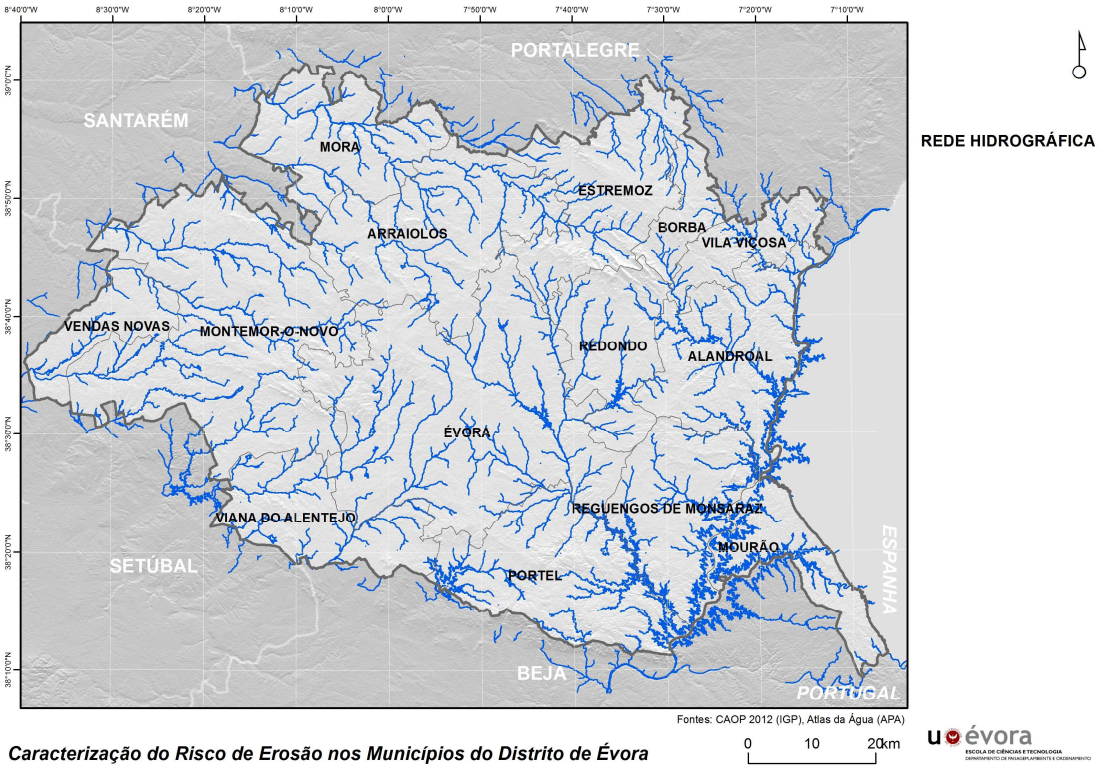

Figura 3. Rede hidrográfica

4. Estudo parcial 2: Carta de lagoas e lagos e respectivos leitos, margens e faixas de proteção

Consideram-se as lagoas e lagos classificados como de águas públicas, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 107/2009, de 15 de maio, e os que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da Reserva Ecológica Nacional (REN), tendo por referência as lagoas identificadas na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, ou outras no quadro das disposições do Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, verificando no terreno a sua existência e origem. São integrados nesta tipologia os pauis, não sendo de considerar as turfeiras, as charcas, os lagos artificiais e outras massas de água de origem antrópica.

Segundo Guiomar *et al*. (2009) consideram-se nesta classe áreas permanentemente (ou por alguns períodos) cobertas por água doce, resultantes de acidentes geomorfológicos, tais como:

- Lagoas de montanha, de dimensão reduzida e fraca profundidade e podem ser oligotróficas ou mesotróficas (Alves *et al*., 1998);

- Lagoas de planície que se constituem em depressões do terreno em que o solo apresenta características de impermeabilidade, em situação terminal ou a jusante de bacias hidrográficas mais ou menos extensas, ou em locais muito deprimidos nos quais o nível da toalha freática atinge a superfície, e podem ser oligotróficas, mesotróficas ou eutróficas (Alves *et al*., 1998);
- Charcos temporários que se encontram sazonalmente cobertos por água e temporariamente sem água de cobertura, embora mantenham humidade edáfica (Alves *et al*., 1998) e apresentem características únicas cuja sobrevivência depende de uma tolerância fisiológica excepcional (Pinho *et al*., 2003).

Foram localizadas todas as lagoas listadas na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de Outubro, analisadas as Cartas Militares (série M888) e ainda contactados investigadores envolvidos na identificação de habitats naturais no âmbito da elaboração do Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (apenas foram identificados dois charcos mediterrânicos temporários, sem correspondência com o objectivo deste estudo). Assim, não se encontram elementos na área de estudo com estas características.

5. Estudo parcial 3: Carta de albufeiras e respectivas faixas de proteção, no mínimo de 100m de largura

Segundo a DSF (1974) consideram-se albufeiras de serviço público, para efeitos de aplicação do Decreto-Lei 502/71, de 18 de novembro:

- As albufeiras cujas águas são ou se prevê que venham a ser utilizadas para o abastecimento de populações, mesmo que também sejam utilizadas para outros fins;
- As albufeiras cujas águas se destinam à rega, integradas em obras de fomento hidroagrícola ao abrigo das disposições da Lei 1949/37, de 15 de fevereiro e do Decreto-Lei 42665/59, de 20 de novembro;
- As albufeiras cujas águas se destinam à produção de energia em centrais hidroeléctricas de serviço público.

Para os efeitos referidos nos termos do Decreto-Lei 502/71, de 18 de novembro, o Decreto Regulamentar 2/88, de 20 janeiro, agrupa as albufeiras em quatro classes:

- A – Albufeiras protegidas, cuja água é, ou se prevê que venha a ser, utilizada para abastecimento de populações e as albufeiras cuja proteção é ditada por razões de defesa ecológica;
- B – Albufeiras condicionadas, que não suscitam problemas inconvenientes, em relação aos fins principais, quanto à sua utilização para quaisquer atividades recreativas secundárias, apresentam porém condicionantes naturais como superfície reduzida, margens declivosas, dificuldade de acesso, variações importantes ou frequentes do nível da albufeira devidas a cheias ou à exploração, turvação ou outras características organolépticas desfavoráveis da água, entre outras;
- C – Albufeiras de utilização reservada, as albufeiras não incluídas nas classes anteriores e que apresentam localização, condições ou atrativos naturais que lhes conferem vocação turística potencial ou já aprovada;
- D – Albufeiras de utilização livre, que dispõem de condições que permitem, sem prejuízo dos fins principais, a coexistência das diversas modalidades recreativas, incluindo as desportivas de competição.

Como atividades secundárias, são consideradas as seguintes:

- Pesca;
- Banhos e natação;
- Navegação recreativa a remo e à vela;
- Navegação recreativa a motor;
- Competições desportivas.

Em relação a cada uma das atividades secundárias consideradas foi, em cada albufeira, atribuído um índice de utilização com o seguinte significado:

- 0 – Atividade não permitida;
- 1 – Atividade permitida com restrições;
- 2 – Atividade permitida sem restrições.

A delimitação das albufeiras corresponde ao plano de água até à cota do nível de pleno armazenamento (NPA). Incluem-se todas as albufeiras que estejam classificadas como de águas públicas de serviço público, nos termos da Portaria n.º 522/2009, de 15 de maio, na

redação atual, e as que tenham uma capacidade superior ou igual a 100.000 m^3. Os pequenos aproveitamentos hídricos, com capacidade inferior, são considerados cursos de água.

A definição da margem tem por base o disposto na Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água), podendo tomar o valor de 50 m, 30 m ou 10 m, consoante respeite a águas navegáveis ou flutuáveis sujeitas à jurisdição das autoridades marítimas ou portuárias, restantes águas navegáveis ou flutuáveis, ou águas não navegáveis nem flutuáveis.

Segundo a Lei 58/2005, de 29 de dezembro, entende-se por margem "a faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito das águas com largura legalmente estabelecida". Este diploma define ainda as larguras de margem para os diferentes elementos considerados no domínio público hídrico (Figura 4):

- A margem das águas do mar, bem como a das águas navegáveis ou flutuáveis sujeita à jurisdição das autoridades marítimas ou portuárias, tem a largura de 50 metros (não relevante para a área de projeto);
- A margem das restantes águas navegáveis ou flutuáveis tem a largura de 30 metros;
- A margem das águas não navegáveis nem flutuáveis, nomeadamente torrentes, barrancos[1] e córregos[2] de caudal descontínuo, tem a largura de 10 metros.

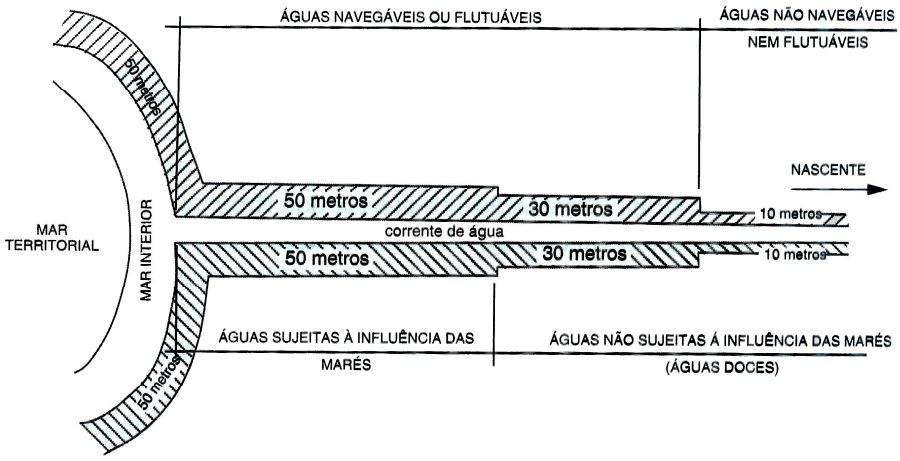

Figura 4. Esquematização do DPH (INAG, 1994)

[1] Correntes caudalosas resultantes de chuvas abundantes e cujo leito, acentuadamente declivoso, não permite uma utilização da água para fins de navegação ou flutuação.

[2] De caudal descontínuo, são sulcos relativamente estreitos e profundos onde as águas correm de forma intermitente conforme as condições de pluviosidade.

A largura da margem conta-se a partir da linha limite do leito e, quando a área em análise "tiver a natureza de praia em extensão superior à estabelecida anteriormente, a margem estende-se até onde o terreno apresentar tal natureza" e se "esta linha atingir arribas alcantiladas, a largura da margem é contada a partir da crista do alcantil".

A faixa de proteção inclui a margem. A determinação da largura desta faixa deve atender à dimensão e situação da lagoa ou lago na bacia hidrográfica e à prossecução das funções desempenhadas por estas massas de água, numa avaliação casuística devidamente descrita e fundamentada, adotando como valor de referência a largura de 100 m, medida na horizontal. Nos casos em que a margem já tenha sido demarcada oficialmente, esta informação deve ser tida em conta.

A delimitação da tipologia albufeiras, respetivos leitos, margens e faixas de proteção reflete, de forma independente, a representação das suas três componentes (leito da albufeira, margem e faixa de proteção contígua à margem).

A seleção das albufeiras teve em consideração as estruturas já aprovadas nas respectivas REN em vigor e no disposto nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica dos Rios Tejo, Sado e Guadiana. A delimitação final é a que consta na Carta de Ocupação do Solo na escala 1:10.000 fornecida pela CIMAC.

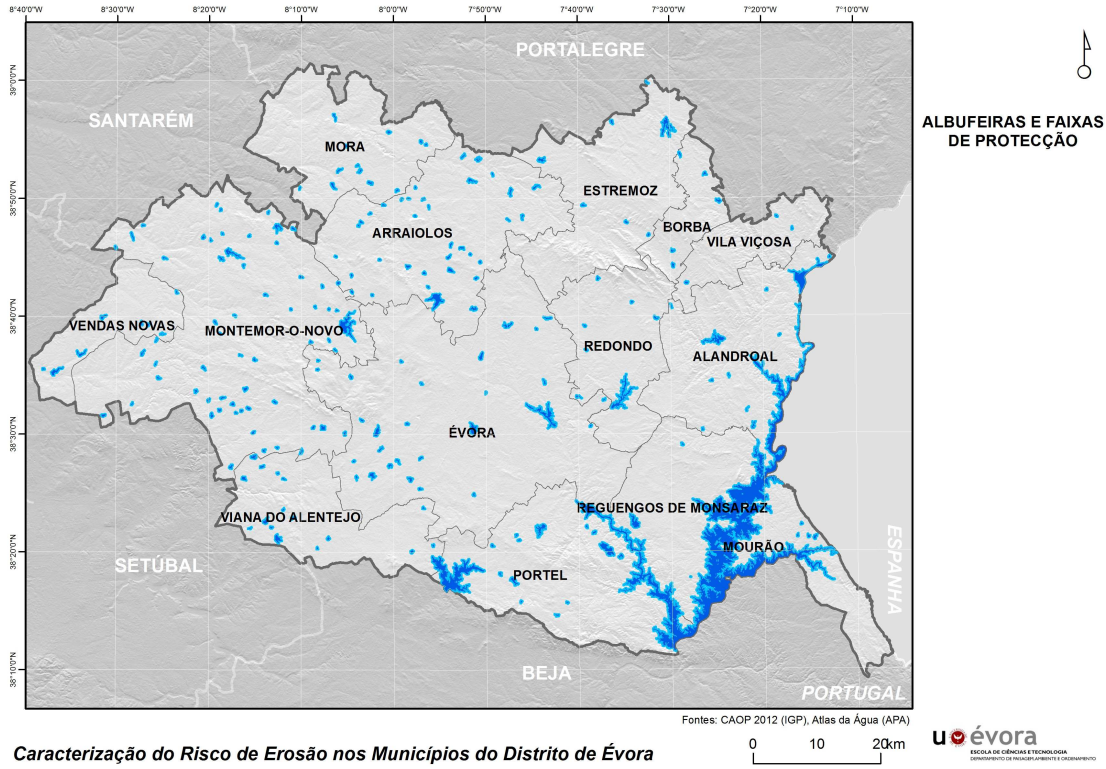

Figura 5. Albufeiras e respectivas faixas de proteção

MUNICÍPIOS	ALB (REN)	ALB	FPA (REN)	FPA	ALB+FPA (REN)	ALB+FPA	VAR
Alandroal	233,33	2292,316	520,54	1795,93	753,87	3046,19	2292,32
Arraiolos	-	613,1685	-	896,06	916,25	1529,42	613,17
Borba	65,42	72,61176	33,06	125,70	98,48	171,09	72,61
Estremoz	16,97	91,69493	36,98	152,15	53,94	145,64	91,69
Évora	-	881,5591	-	1174,63	-	-	-
Montemor-o-Novo	2,53	1007,189	0,00	1575,57	2,53	1009,72	1007,19
Mora	-	149,1085	-	293,41	-	-	-
Mourão	0,00	5115,072	0,00	2360,51	0,00	5115,07	5115,07
Portel	1258,87	3623,536	1026,37	2495,23	2285,24	5908,78	3623,54
Redondo	303,79	308,5687	464,16	530,49	767,95	1076,52	308,57
Reguengos de Monsaraz	23,60	5170,659	32,16	2671,93	55,76	5226,42	5170,66
Vendas Novas	-	161,8766	-	245,27	453,21	615,09	161,88
Viana do Alentejo	509,38	403,1177	604,88	451,54	1114,26	1517,38	403,12
Vila Viçosa	17,51	23,29926	55,27	50,33	72,79	96,09	23,30

Tabela 1. Área (ha) ocupada por albufeiras e respectivas faixas de proteção incluídas na REN em vigor (REN) e atualizadas no contexto deste estudo, assim como a respectiva variação (VAR) da soma dos seus valores

Embora a legislação se refira à delimitação da faixa de proteção das albufeiras como uma área fixa, é entendimento da equipa que esta poderá variar entre albufeiras e até mesmo ao longo

de uma albufeira, de acordo com a sua tipologia, capacidade de armazenamento e vulnerabilidade.

6. Estudo parcial 4: Carta de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos

As águas subterrâneas são um recurso natural essencial para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo. Estas são ecossistemas particularmente ameaçados pela sobre-exploração, pela poluição tópica e difusa e pelos impactes diretos e indiretos das alterações climáticas na disponibilidade hídrica (Ribeiro e Mendes, 2010).

A delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos não incide sobre as águas hidrominerais, por se tratarem de recursos geológicos sujeitos a regime jurídico específico. Os modelos numéricos do escoamento subterrâneo permitem a simulação do comportamento da hidrodinâmica do aquífero. Estes modelos, desenvolvidos à luz do conhecimento técnico-científico existente, são calibrados com dados físicos do terreno e elaborados com base em modelos conceptuais do aquífero e são a única ferramenta eficaz para definir as áreas de recarga e descarga dos aquíferos.

No contexto atual, a maioria dos sistemas aquíferos não dispõe de modelos calibrados e em muitos não é conhecido, em rigor, o seu modelo conceptual da dinâmica. Na presença de aquíferos sobrepostos, optámos por avaliar a vulnerabilidade à contaminação para o sistema aquífero mais superficial, uma vez que é o mais vulnerável.

Para a delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos considerámos:

- Os sistemas aquíferos e massas de água subterrânea, tal como está definido no artigo 4.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água), inventariados à data pelo INAG;
- Outros sistemas identificados em estudos técnico-científicos validados que sejam produtivos e economicamente exploráveis, de acordo com a definição de aquífero constante da Lei da Água;
- As aluviões, bem como algumas áreas de fracturação, que sejam importantes para a manutenção dos ecossistemas fluviais na época de estiagem;

- Outras formações hidrogeológicas indiferenciadas ou outras áreas que sejam importantes para a prevenção e redução de situações de cheia e inundação e de seca extrema, bem como para a sustentabilidade de sistemas aquáticos e da biodiversidade dependentes da água subterrânea.

6.1 Sistemas aquíferos existentes na área de estudo

Portugal continental encontra-se dividido em quatro grandes unidades hidrogeológicas: o Maciço Antigo; a Orla Ocidental; a Orla Meridional e a Bacia do Tejo-Sado. Nestas unidades foram delimitados pelo, à data, INAG, 62 sistemas aquíferos, dos quais 21 são sistemas cársicos, 22 são porosos, 13 têm comportamento misto poroso-cársico, 5 são cársico-fissurados e 1 é poroso-fissurado. Na área geográfica do Alentejo destacam-se os sistemas aquíferos da Bacia do Tejo/Sado (Moura/Ficalho, Estremoz/Cano, Gabros de Beja, Escusa, Calcários de Moura, Ribeira da Toutalga, Moura/Brenhas, Elvas/Vila Boim, Sines, Alter do Chão/Monforte, Charnoquitos de Campo Maior e Elvas, Elvas/Campo Maior, Pavia/Moura, Évora/Montemor/Cuba, Viana/Alvito e Portel). O Distrito de Évora encontra-se predominantemente no Maciço Antigo, onde prevalecem as rochas ígneas e metamórficas. Embora consideradas como impermeáveis, pelas falhas e fracturações, estas podem apresentar uma razoável capacidade de armazenamento, surgindo, no centro destas, algumas unidades aquíferas com um interesse hidrogeológico relevante, associadas a rochas calcárias, a gabros, a terraços e a cascalheiras que ocupam depressões do soco antigo, como o caso do Aquífero de Estremoz-Cano, Viana do Alentejo-Alvito e Elvas-Vila Boim. No limite Oeste do Distrito domina a Bacia do Tejo-Sado, constituída por formações detríticas de idade terciária, sendo o mais extenso sistema aquífero da Península Ibérica: o sistema da bacia do Tejo-Sado. (Figura 6).

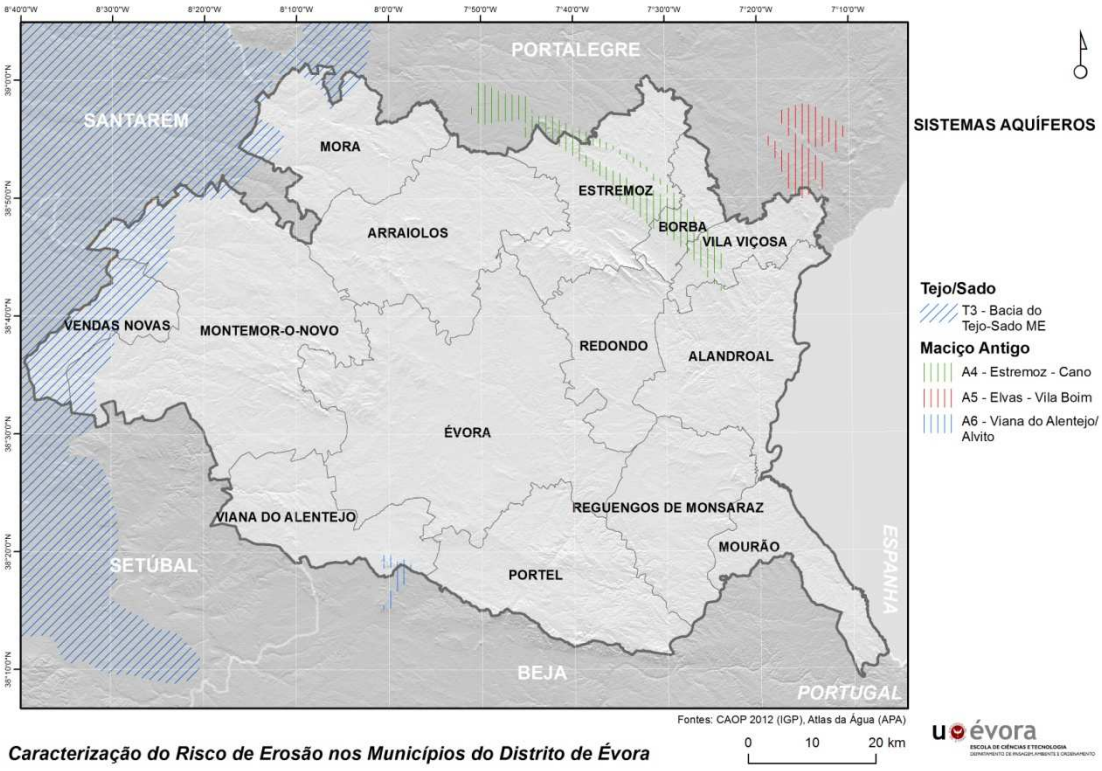

Figura 6. Enquadramento dos principais sistemas aquíferos no distrito de Évora

A caracterização que se apresenta dos aquíferos que intersectam os limites do Distrito de Évora, constituem um resumo do trabalho efectuado por Almeida *et al*. (2000) para Portugal Continental. O maciço carbonatado de Estremoz encontra-se no Maciço Hispérico, na unidade geo-estrutural de Ossa Morena no qual dominam litologias do Devónico e o Carbónico. Este é uma estrutura hercínica que corresponde à segunda fase de dobramento que originou dobras que apresentam vergência para NE, planos axiais subverticais e eixos com orientação geral NW-SE, submergindo para os fechos em periclinal nas extremidades NW e SE (Carvalhosa *et al.*, 1987). O sistema aquífero Estremoz-Cano, com área total de 202 km^2, é constituído por dois sectores: o sector de Estremoz, onde as formações produtivas são os calcários paleozoicos, e o sector do Cano, onde as formações plistocénicas recobrem os calcários paleozoicos, podendo considerar-se o sistema aquífero constituído por dois aquíferos, separados entre si pelas argilas e margas do Paleogénico-Miocénico:

- Aquífero Superior – poroso livre, associado aos calcários do Cano;
- Aquífero Inferior – cársico semi-confinado, associado à Formação Dolomítica de Estremoz e à Formação Vulcano-Sedimentar de Estremoz.

Este é um aquífero carbonatado de elevado interesse regional, por efetuar o abastecimento público de água dos municípios por si integrados e por ter papel relevante para as atividades agrícola e indústria extractiva (Midões e Costa, 2009). O sistema aquífero Estremoz-Cano associado ao anticlinal de Estremoz, é um aquífero do tipo cársico/fissurado com um comportamento essencialmente livre e o de Cano suportam um aquífero do tipo poroso com comportamento livre, recarregado subterraneamente na zona de fecho do anticlinal de Estremoz (Cupeto, 1991; Carvalho *et al.*, 1998; Midões e Costa, 2009).

A produtividade aumenta neste sistema aquífero, de E para W, o que indicia a existência de um fluxo nesse sentido imposto pelo contacto entre a formação dolomítica e a Vulcano-sedimentar assim como pela geometria e estrutura das formações.

O sistema aquífero de Elvas-Vila Boim tem uma área aproximada de 113 km^2 para o total das formações carbonatadas. É um sistema complexo, com características mistas de cársico e fissurado, com porosidade dupla. A morfologia exocársica é aparentemente pouco acentuada, não se observando desenvolvimento significativo de lapiás, estruturas de abatimento e/ou de dissolução ou outras formas de exocarsificação (Vieira da Silva, 1991 *in* Almeida *et al*., 2000). Segundo o mesmo autor, o fraco desenvolvimento das estruturas cársicas deve-se, provavelmente, ao intenso dobramento da série, à abundância de intrusões magmáticas e ao acentuado metamorfismo de contacto, que provocam, no seu conjunto, descontinuidades das séries carbonatadas.

O sistema aquífero de Viana do Alentejo-Alvito com 18,4 km^2, apresenta características mistas de aquífero cársico e fissurado. Da complexidade estrutural que caracteriza a região decorre a complexidade do próprio sistema aquífero, devido à presença de intercalações de rochas menos permeáveis no seio dos calcários. A recarga faz-se por infiltração direta onde as formações carbonatadas afloram e, preferencialmente, onde não estão cobertas por depósitos de *terra rossa*. É natural que ocorra alguma recarga a partir das outras formações menos permeáveis, essencialmente através do sistema de fraturas que apresentam e que estejam em conexão hidráulica com o sistema carbonatado.

O sistema aquífero Tejo-Sado (margem esquerda) constitui, juntamente com o da Margem direita e o das Aluviões do Tejo, uma grande unidade hidrogeológica cujo suporte são os sedimentos que preenchem a bacia terminal do Tejo-Sado. No limite NW, o sistema é coberto pelas aluviões do Tejo, e nos limites NE, SE e S são constituídos pelos contactos com rochas

ígneas e metamórficas do Maciço Hespérico. O sistema aquífero é formado por várias camadas porosas, em geral confinadas ou semiconfinadas. São frequentes as variações laterais e verticais nas fácies litológicas, responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas. A passagem das formações continentais miocénicas para as marinhas, são graduais. Desta complexidade litológica e estrutural, resulta um conjunto alternante de camadas aquíferas separadas por outras de permeabilidade baixa ou muito baixa (aquitardos e aquiclusos), nalguns locais com predomínio de uma ou outra classe de formações hidrogeológicas. O sistema aquífero é recarregado pela precipitação atmosférica, por infiltração nos leitos das linhas de águas, na parte mais elevada do seu percurso na bacia.

6.2 Metodologia para avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos

A vulnerabilidade do sistema aquífero é definida como a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características do aquífero (Duijvenbooden e Wargeningh, 1987; Foster e Hirata, 1993). Segundo Paralta *et al*. (2005) *"*por vulnerabilidade entende-se a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superiores do aquífero à passagem dos poluentes. Trata-se, portanto, de uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico. A noção de vulnerabilidade específica deverá ser utilizada sempre que se consideram também as propriedades de um poluente específico e as suas relações com as componentes de vulnerabilidade intrínseca". Segundo os mesmos autores "o interesse de avaliar o grau de vulnerabilidade das diversas formações aquíferas decorre fundamentalmente da necessidade de fornecer às autoridades competentes um instrumento que seja útil nas tomadas de decisão ao nível do planeamento e ordenamento do território".

Os mapas de vulnerabilidade pretendem representar o grau de proteção natural à poluição de um aquífero em função das suas propriedades hidrogeológicas. Neste caso, fala-se de vulnerabilidade intrínseca do aquífero (CCDRA, 2003). É importante também reconhecer que a vulnerabilidade de um aquífero depende também do tipo de poluente potencial. Por exemplo, a qualidade da água subterrânea pode ser muito vulnerável a uma carga de nitratos, originada por práticas agrícolas incorretas e, no entanto, ser pouco vulnerável a cargas patogénicas (Lobo-Ferreira *et al.*, 2002). Segundo Oliveira e Lobo-Ferreira (2003) "o processo de avaliação da vulnerabilidade deve corresponder ao cálculo bem definido de índices de forma a reduzir a subjetividade envolvida na caracterização desses índices. Os índices devem ser de aplicação

relativamente simples, dadas as limitações de dados normalmente existentes, embora devam ser consistentes e válidos para a classificação da vulnerabilidade que se pretende fazer numa área em estudo".

A avaliação da vulnerabilidade à poluição é feita com recurso a métodos específicos, adaptados ao tipo de sistema aquífero. Os aquíferos do território analisado apresentam na sua maioria um comportamento misto (e.g. os sistemas aquíferos cársicos-porosos). Nesse sentido, para a generalidade do território foi aplicado e utilizado o Índice de Susceptibilidade (IS) (Ribeiro, 2005), de natureza puramente intrínseco, baseado no modelo DRASTIC, mas sem o parâmetro relativo à ocupação do solo que obrigou à re-estimação dos ponderadores dos restantes parâmetros. Para os aquíferos cársicos aplicou-se ainda o método EPIK.

6.2.1 Índice de susceptibilidade (aquíferos porosos)

Para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas, o método DRASTIC desenvolvido por Aller *et al.* (1987) tem sido amplamente aplicado. O conceito subjacente a toda a aplicação do método DRASTIC é o de unidade cartografada. A unidade cartografada pode ser o aquífero, o sistema aquífero ou a formação geológica (Oliveira e Lobo-Ferreira, 1998). O método DRASTIC fundamenta-se num conjunto de procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade. Segundo Aller *et al.* (1987), o índice de vulnerabilidade DRASTIC obtêm-se através do somatório ponderado de 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos. Cada um dos sete parâmetros DRASTIC foi dividido quer em escalas quer em tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição (Lobo-Ferreira, 1998):

- Atribuem-se valores de 1 a 10 a cada parâmetro, em função das condições locais (valores elevados correspondem a uma maior vulnerabilidade). Os valores a atribuir obtêm-se de tabelas que consideram a correspondência entre as características hidrogeológicas locais e o respectivo parâmetro;
- Em seguida o índice local é calculado multiplicando o valor atribuído ao parâmetro pelo seu peso relativo, tendo cada parâmetro um peso pré-determinado que reflete a sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade. Os parâmetros mais importantes têm um peso 5 e os menos importantes peso 1.

O potencial DRASTIC obtêm-se através da seguinte expressão:

$$DRASTIC = D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i$$

Onde *i* é o valor do elemento em causa e *p* é o factor de ponderação, refletindo a sua importância relativa.

O IS intrínseco é calculado com base na soma ponderada de quatro parâmetros: profundidade da zona não saturada (D), recarga do aquífero (R), geologia do aquífero (A) e declives do terreno (T). O IS intrínseco é dado pela expressão:

$$IS = 0{,}24\ D + 0{,}27\ R + 0{,}33\ A + 0{,}16\ T$$

A profundidade da zona não saturada (D) é a profundidade do topo do aquífero, definida como a distância vertical que um determinado poluente tem de percorrer até chegar ao aquífero. Quanto maior for a distância a percorrer pelo poluente, maiores são as hipóteses de haver uma depuração por parte do solo atravessado. A profundidade do topo do aquífero condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Geralmente, existe mais probabilidade de um poluente sofrer atenuação quanto maior for a profundidade. Segundo Oliveira *et al.* (1996), num aquífero livre a profundidade é a distância ao nível freático. É conseguida a partir da observação de registos de abertura de furos, onde normalmente se refere a profundidade à qual se deu o aparecimento de água.

O parâmetro recarga do aquífero (R) mede a quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação que se escoa verticalmente até atingir o nível freático, fazendo aumentar a quantidade de água subterrânea armazenada. Define-se recarga de águas subterrâneas como a quantidade de água que se acrescenta à zona saturada de água subterrânea. A recarga pode ocorrer por infiltração da água da chuva, por infiltração a partir de cursos de água e de outros corpos hídricos superficiais, por escoamento subterrâneo, por infiltração da água de rega e/ou por ação humana (recarga artificial) (Oliveira, 2001).

Segundo Lobo-Ferreira *et al*. (2002), a recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. De uma maneira geral, quanto maior a

recarga, maior será o potencial de poluição das águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição pois possibilita a diluição das substâncias poluentes. Segundo Oliveira (2004) "a quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo, uma vez que não é passível de ser medido diretamente, e existem normalmente dificuldades no que concerne à validação dos resultados obtidos pela aplicação de qualquer método".

Oliveira *et al.* (1997) propõem dois métodos que permitem, a partir de informação de base, estimar e extrapolar a recarga para outras regiões. Esses dois métodos são:

- Método de Vermeulen *et al*. (1994), nos casos em que se está perante formações porosas, em que se pode considerar que a água disponível abaixo da camada de solo pode ser incorporada pelo aquífero;
- Utilizando a recta de correlação da recarga (R) sobre a precipitação (P), determinada para casos estudados de formações xistosas e graníticas do Maciço Antigo Português (Figura 7). Esta recta, apresentada em Oliveira *et al*. (1997) tem a expressão:

$$R = 0{,}551 \times P - 323 \text{ (mm/ano)},$$

considerando-se recarga nula quando P é inferior a 586 mm/ano.

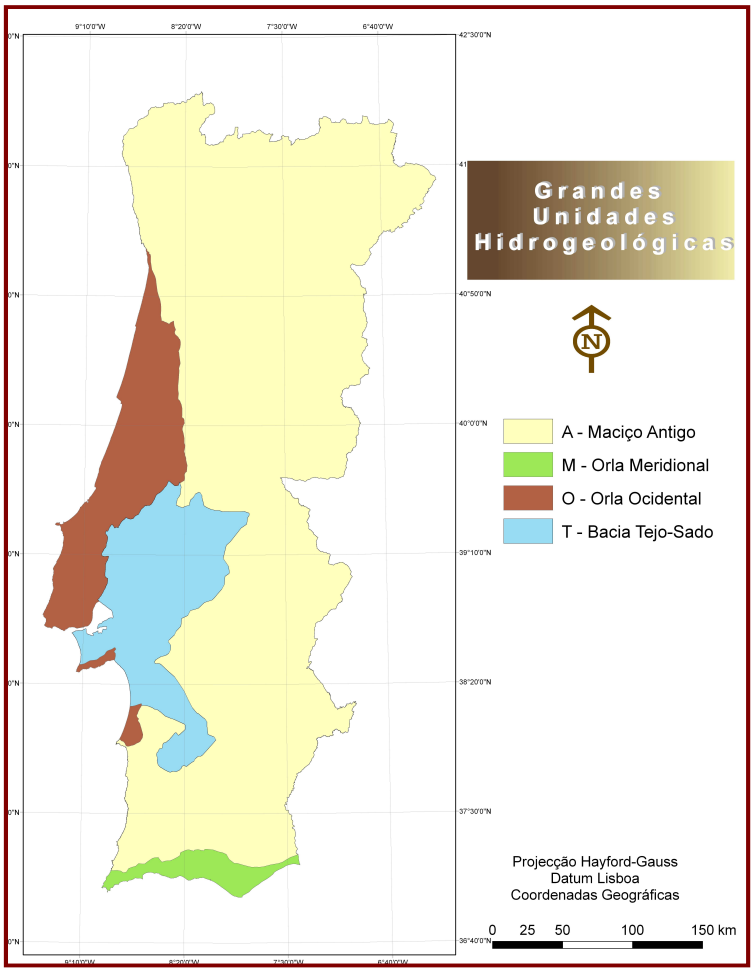

Figura 7. Grandes Unidades Hidrogeológicas (Fonte: SNIRH/INAG)

No modelo adoptado (Vermeulen *et al.*, 1994), o escoamento superficial (Es) depende apenas da Precipitação (P) e do número característico de escoamento (NC) (Oliveira *et al.*, 1997). A expressão que permite o cálculo é:

$$Es = a.(P / 100)^b$$

Sendo *a* e *b* parâmetros de regressão de P e E (em mm), e podem ser obtidos da seguinte forma (Oliveira *et al.*, 1997):

1. Para NC < 80:

   $\text{Log } a = 0{,}1407NC - 12{,}04$

   $b = -0{,}082NC + 9{,}11$

2. Para 80 ≤ NC < 90:

$$\text{Log } a = 0{,}1399NC - 12{,}04$$

$$b = -0{,}082NC + 9{,}11$$

3. Para $NC \geq 90$:

$$\text{Log } a = 0{,}1459NC - 12{,}59$$

$$b = -0{,}078NC + 8{,}8$$

Estimado o escoamento superficial, o próximo passo é calcular a evapotranspiração real (ETR):

$$ETR = c\,[1 - \exp(TI / c)]$$

em que c é um parâmetro de regressão e TI a Infiltração superficial. A projeção de *c* em função da Quantidade Máxima de Água do Solo utilizável pelas Plantas (AGUT) permitiu chegar à seguinte relação:

$$c = 118\ AGUT^{0,388}$$

Em que rp corresponde à Profundidade das Raízes da Plantas e Nn a Capacidade Utilizável do Solo. Por sua vez a Infiltração superficial é dada por:

$$Is_i = P_i - Es_i$$

Por fim, depois de estimados os valores de Es e ETR, calcula-se a recarga profunda de aquíferos (R) através da expressão:

$$R = P - Es - ETR$$

De facto, o valor da recarga pode ser estimado por métodos que utilizam a equação de balanço hídrico do solo ou os que utilizam diretamente variáveis hidrogeológicas. A escolha da metodologia depende dos dados existentes e da sua qualidade. A Agência Portuguesa do Ambiente – APA, I. P., disponibiliza alguns valores de recarga para alguns sistemas aquíferos. A recarga é calculada no balanço hídrico do solo a partir da equação:

$$Recarga = P - Es - ETR \pm \Delta S$$

em que *P* é a precipitação, *Es* é o escoamento superficial, *ETR* é a evapotranspiração real e Δ*S* é a variação do conteúdo de humidade do solo.

Parâmetro *D*		**Parâmetro *R***	
Classe (m)	*Valor*	*Classe de Recarga (mm)*	*Valor*
< 1,5	100	< 51	10
1,5 -4,6	90	51 -102	30
4,6 -9,1	70	102 -178	60
9,1 -15,2	50	178 -254	80
15,2 -22,9	30	> 254	90
22,9 -30,5	20		
> 30,5	10		

Tabela 2. Valores de referência para os parâmetros *D* e *R*

A geologia do aquífero (*A*) considera que quanto mais permeável for o material dos aquíferos maiores são as hipóteses de contaminação das águas subterrâneas, ou seja, o índice de vulnerabilidade é tanto maior quanto menor é a capacidade do material do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Segundo Lobo-Ferreira *et al*. (2002), o material do aquífero refere-se à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Para além deste efeito principal, condiciona também o fluxo de água subterrânea que, em conjunto com a condutividade e com o gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação.

Parâmetro *A*		
Classe	**Valor**	**Valor típico**
Xisto argiloso, argilito	10-30	20
Rocha metamórfica/ígnea	20-50	30
Rocha metamórfica/ígnea alterada	30-50	40
«Till» glaciar	40-60	50
Arenito, calcário e argilitos estratificados	50-90	60
Arenito maciço	40-90	60
Calcário maciço	40-90	80
Areia e balastro	40-90	80
Balastro	20-100	90

Tabela 3. Valores de referência para o parâmetro *A*

A topografia (*T*) define os declives do terreno que, quanto mais elevados forem menor é a infiltração. Deste modo, declives mais atenuados promovem uma maior infiltração e transporte dos contaminantes para as águas subterrâneas. Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Influencia ainda o desenvolvimento de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante (Oliveira *et al*., 1997,

Lobo-Ferreira *et al*., 2002). Constata-se que o índice de vulnerabilidade é tanto maior quanto menor é a probabilidade de escoamento, favorecendo a infiltração do poluente.

Parâmetro *T*	
Classe (%)	**Valor**
< 2	100
2 -6	90
6 -12	50
12 -18	30
> 18	10

Tabela 4. Valores de referência para o parâmetro *T*

Após a classificação dos vários parâmetros (*D, R, A, T*) foi efetuada a soma ponderada de acordo com a equação para o cálculo do *IS*. Quanto maiores forem os valores finais de *IS* obtidos tanto maior é a probabilidade de determinada área ser mais vulnerável à contaminação das águas subterrâneas. A classificação dos valores de *IS* é, de seguida, efetuada em função da sua vulnerabilidade. Para efeitos de delimitação da REN consideram-se as áreas mais vulneráveis à poluição dos aquíferos porosos ou de dupla porosidade tomando os valores de *IS* correspondentes às classes de "Extremamente vulnerável" a "Elevada".

IS	**Vulnerabilidade**
> 90	Extremamente vulnerável
80-90	Muito elevada
70-80	Elevada
60-70	Moderada a alta
50-60	Moderada a baixa
40-50	Baixa
30-40	Muito baixa
< 30	Extremamente baixa

Tabela 5. Classificação da vulnerabilidade

6.2.2 Índice de vulnerabilidade EPIK

Os sistemas cársicos ocorrem essencialmente em rochas carbonatadas, calcário e dolomites. Estas apresentam um valor elevado por conterem recursos hídricos subterrâneos de elevado interesse económico.

No caso dos aquíferos Viana do Alentejo-Alvito, Elvas-Vila Boim e Cano-Estremoz foi considerada a aplicação do índice de vulnerabilidade EPIK, método desenvolvido especificamente para a avaliação da vulnerabilidade deste tipo de aquíferos (Doerfliger e Zwahlen, 1997). Este índice considera a geologia cársica dos aquíferos, a geomorfologia e as

características hidrogeológicas. O índice é construído com base nos seguintes quatro parâmetros: epicarso (*E*), cobertura de proteção (*P*), condições de infiltração (*I*) e grau de desenvolvimento da rede cársica (*K*). A cada parâmetro é atribuído um valor segundo uma classificação que tem em conta o impacte potencial da poluição.

Epicarso	Aspetos da geomorfologia cársica	Classificação
E1	Sumidouros, dolinas, afloramentos muito fraturados	1
E2	Zonas intermediárias no alinhamento de dolinas, vales secos, afloramentos com fracturação média	3
E3	Ausência	4

Tabela 6. Valores de referência para o parâmetro *E*

Cobertura de proteção	Espessura do solo acima do aquífero cársico	Classificação
P1	0 cm -20 cm	1
P2	20 cm -100 cm	2
P3	1 m -8 m	3
P4	> 8m	4

Tabela 7. Valores de referência para o parâmetro *P*

Condições de infiltração	Tipo	Classificação
I1	Cursos de água de caráter perene ou temporário que alimentam sumidouros e dolinas	1
I2	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação > 10 % em áreas cultivadas e > 25 % em prados e pastagens	2
I3	Áreas em bacias hidrográficas com inclinação < 10 % em áreas cultivadas e < 25 % em prados e pastagens	3
I4	A restante área da bacia hidrográfica	4

Tabela 8. Valores de referência para o parâmetro *I*

Rede cársica	Grau de desenvolvimento	Classificação
K1	Moderado a muito desenvolvido	1
K2	Fraco	2
K3	Aquíferos sem carsificação	3

Tabela 9. Valores de referência para o parâmetro *K*

Após a classificação dos vários parâmetros (*E, P, I, K*) é efetuada a soma ponderada de acordo com a seguinte expressão:

$$F = 3\,Ei + Pj + 3\,Ik + 2\,Kl$$

Efetua-se, por fim, a classificação dos valores do EPIK em função da sua vulnerabilidade. Consideram-se as áreas mais vulneráveis à poluição dos aquíferos cársicos tomando os valores de EPIK correspondentes às classes de vulnerabilidade "Muito alta" a "Alta".

Índice EPIK (F)	Vulnerabilidade
≤ 19	Muito alta
19 < F < 25	Alta
> 25	Moderada a baixa

Tabela 10. Classificação da vulnerabilidade

6.3 Resultados da aplicação dos índices de vulnerabilidade

6.3.1 Índice de susceptibilidade IS

A profundidade da zona não saturada (D) foi obtida após levantamento de toda a Rede Piezométrica do Distrito de Évora e áreas limítrofes com levantamento dos valores de profundidade da água para cada captação nos últimos 10 anos, tendo sido realizada a respectiva média por ponto para o total do período. Foram utilizadas 170 estações, e a superfície foi gerada por *Ordinary Kriging* (Figura 8). Segundo Nicolau (2002), "a Krigagem visa a obtenção do melhor estimador linear possível, a partir da combinação linear dos valores observados do fenómeno. As observações são ponderadas em função da sua distância à localização do ponto a estimar. Para que a inferência espacial possa ser considerada óptima, a combinação linear das observações deve minimizar a variância dos erros de estimação."

O valor da recarga do aquífero pode ser calculado através de métodos que utilizam a equação de balanço hídrico do solo ou os que utilizam diretamente variáveis hidrogeológicas. Uma vez que os escoamentos obtidos através do Atlas da Água (http://snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1) não permitem uma análise fiável, optou-se por utilizar os dados da APA, I. P., que disponibiliza alguns valores de recarga para os sistemas aquíferos. A geologia do aquífero resulta de uma classificação de acordo com a tabela apresentada anteriormente. A classificação segue os trabalhos de Lobo-Ferreira *et al*. (2002) e a caracterização do material do aquífero foi feita a partir da informação disponível sobre a geologia, baseada na Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500.000, disponibilizada pela CIMAC. Os declives foram calculados através do método de Horn (Horn, 1981), sobre um modelo digital do terreno (MDE) hidrologicamente correto, obtido através do módulo Topo to Raster (ArcGIS 10^{TM}), com uma resolução de 10m. Este modelo é baseado no algoritmo

desenvolvido por Hutchinson (1989) e utiliza uma técnica interpolativa iterativa (Wahba, 1990) que permite a estimativa de valores numa perspectiva contextual decorrente de um processo multiresolução adaptativo.

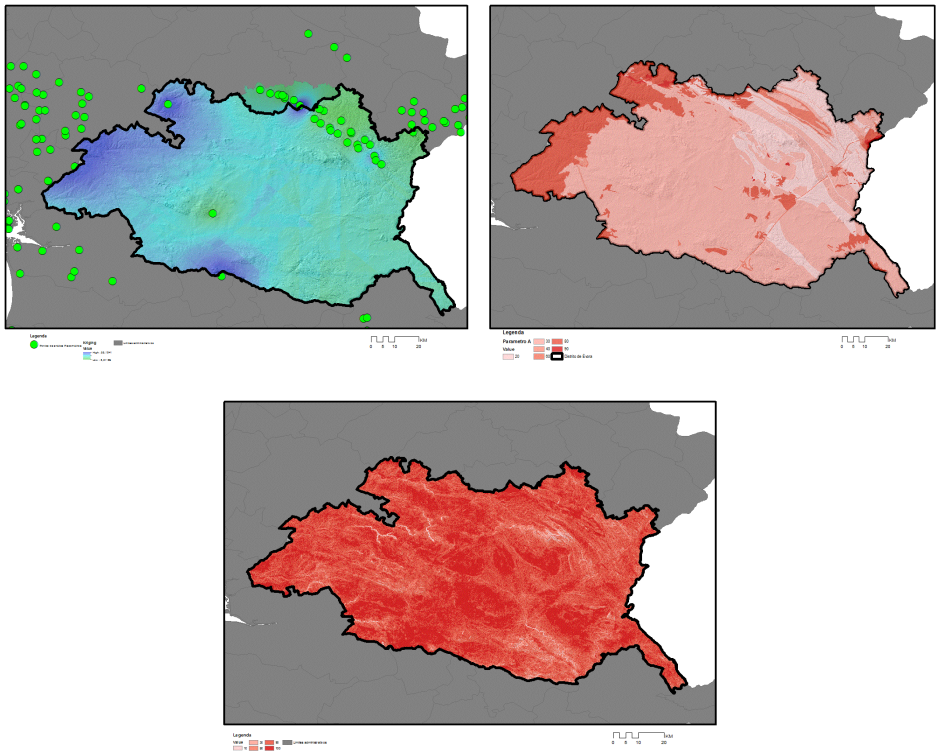

Figura 8. Interpolação dos pontos das profundidades, geologia e declives

Depois de terem sido classificados os vários parâmetros (*D, R, A, T*), foi realizada a soma ponderada de acordo com a equação para o cálculo do *IS*. Neste sentido, na medida em que aumentam os resultados de *IS* obtidos, tanto maior é a probabilidade de determinada área ser mais vulnerável à contaminação das águas subterrâneas. A classificação dos valores de *IS* foi em seguida reclassificada em função da sua vulnerabilidade. Para efeitos de delimitação da REN consideram-se as áreas mais vulneráveis à poluição dos aquíferos porosos ou de dupla porosidade tomando os valores de *IS* correspondentes às classes de "Extremamente vulnerável" a "Elevada".

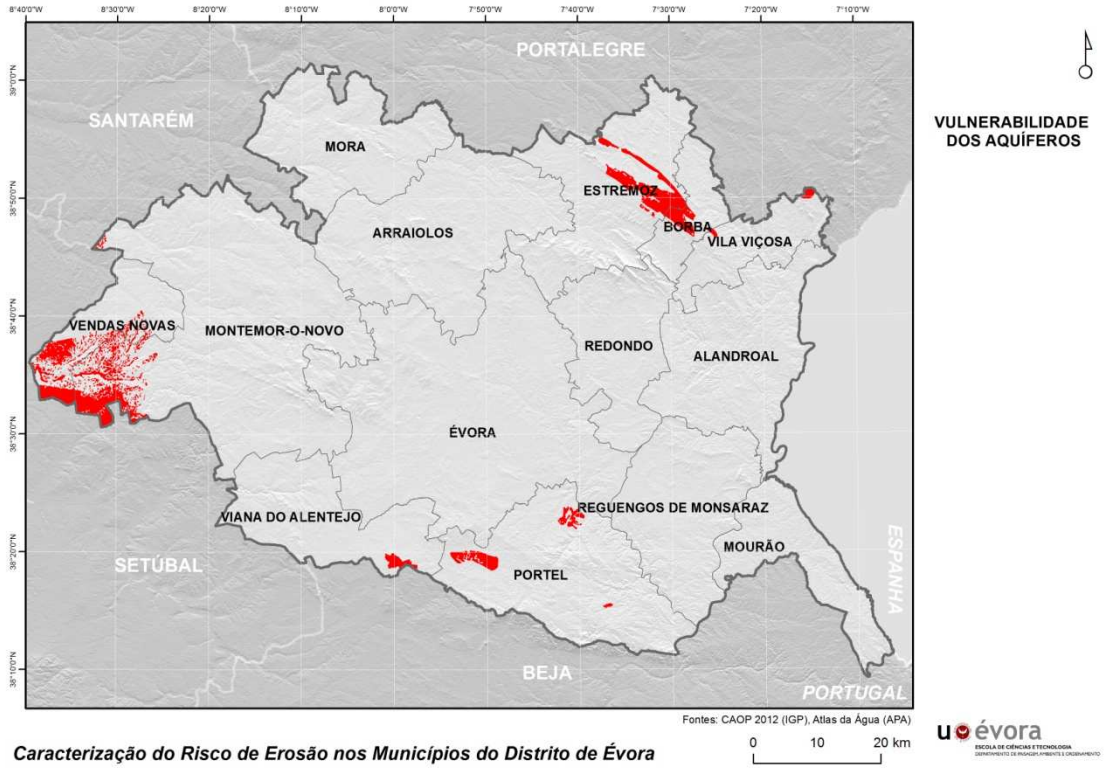

Figura 9. Vulnerabilidade elevada dos aquíferos

A análise do Índice *IS* no distrito de Évora vem evidenciar que as áreas de maior vulnerabilidade correspondem essencialmente à unidade hidrogeológica Bacia do Tejo-Sado, apresentando todo o município de Vendas Novas uma vulnerabilidade "Moderada Alta" a "Elevada". O anticlinal de Estremoz, pela sua hidrogeologia e profundidade do aquífero, evidencia também em muitas áreas uma vulnerabilidade "Elevada".

6.3.2 Índice de vulnerabilidade EPIK

Para a análise dos aspectos da aspectos da geomorfologia cársica no município de Estremoz, foram analisados um conjunto de documentos com relevância para a caracterização do sistema aquífero (Gonçalves e Coelho, 1974; Gonçalves *et al.*, 1975; Costa, 1985; Costa, 1987; Cupeto, 1991; Midões, 1999), que permitiram avaliar a rede cársica.

Foi calculado o índice de posição topográfica de Jenness (2006), significando os valores positivos maior proximidade à cumeada, enquanto os valores negativos indicam proximidade à linha de escoamento natural. Este índice permitiu identificar alguns elementos da morfologia cársica.

Foi efectuado o levantamento dos valores de profundidade da água para cada captação nos últimos 10 anos em 27 pontos da Rede Peziométrica. Para cada ponto foi calculada a média dos valores extraídos. Após este procedimento foi gerada uma superfície de valores contínuos através de um processo de interpolação (*Ordinary Kriging*).

As condições de infiltração foram avaliadas com base na Carta de Ocupação do Solo cedida pela CIMAC, na rede hidrográfica e no modelo digital do terreno (10 m). Foi ainda utilizada a cartografia da geomorfologia cársica elaborada para o parâmetro *E* publicada no relatório final do "Projecto de Delimitação de Perímetros de Protecção das Captações de Água Subterrânea para Abastecimento Público - Concelho De Estremoz" (AMDE, 2006).

Os resultados da análise permitiram identificar no limite Nordeste, Sul e Sudeste do aquífero algumas áreas de vulnerabilidade muito elevada nos municípios de Vila-Viçosa (freguesias de Bencatel e Pardais), de Borba (freguesias de Rio de Moinhos e Matriz), e de Estremoz (freguesias de Santa Maria, Glória, Santa Vitória do Ameixial) que coincidem claramente com as áreas de maior atividade de extração de mármore. A restante área do aquífero apresenta uma vulnerabilidade elevada, apresentando o aquífero do Cano um nível baixo de vulnerabilidade (Figura 10).

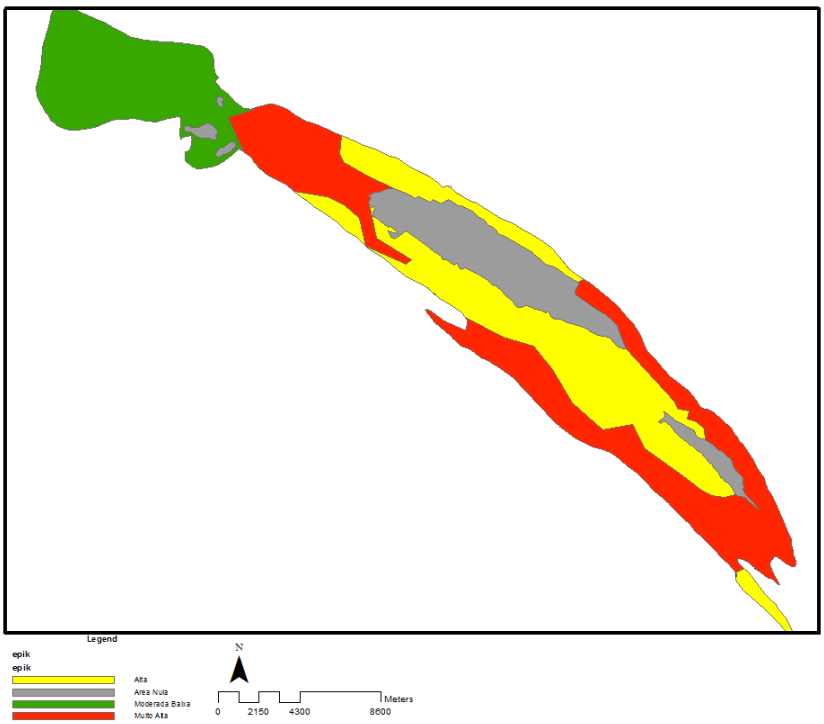

Figura 10. Vulnerabilidade EPIK do sistema aquífero Estremoz-Cano

6.3.3 Análise comparada do IS e do EPIK

Verificaram-se inicialmente um conjunto de constrangimentos na aplicação do índice EPIK, em particular na delimitação do parâmetro epicarso, nomeadamente a ausência de cartografia geomorfológica com grau de detalhe suficiente que permita definir com exatidão alguns aspectos da geomorfologia cársica. Foi experimentada a aplicação de índices de posição topográfica com o intuito de identificar alguns dos elementos estruturantes do modelado cársico. Contudo, a interpretação carece de avaliação profunda, a qual não é possível realizar no âmbito do presente estudo, dados os prazos estabelecidos no caderno de encargos deste estudo. Esses constrangimentos foram parcialmente ultrapassados com os dados constantes no relatório sobre a proteção das captações mencionado anteriormente.

No parâmetro referente à cobertura de proteção, verificou-se a inexistência de informação suficiente a nível da mancha que permita analisar este parâmetro. Considerou-se a utilização dos valores médios de profundidade para cada tipo de solo com base na caracterização de Cardoso (1965). Todavia esta opção induziu erros grosseiros à análise.

A análise dos resultados obtidos da aplicação dos índices EPIK e IS no sistema aquífero Estremoz-Cano evidencia diferenças. No que respeita ao índice IS observa-se que toda a área relativa ao maciço dolomítico apresenta um valor muito elevado de vulnerabilidade, podendo este facto estar relacionado com a integração da geologia e topografia como componentes do índice. Todavia, algumas das áreas de maior vulnerabilidade evidenciadas pelo índice EPIK no limite sul e sudeste do aquífero não se verificam nos resultados de aplicação do IS.

No que respeita à área ocupada em cada classe de vulnerabilidade observa-se que a área de "vulnerabilidade muito alta" do índice EPIK (8018 ha), é superior à área ocupada pela área de "vulnerabilidade muito alta" resultante da aplicação do IS (4857 ha). No que respeita à classe de "vulnerabilidade alta" observa-se que esta também ocupa considerável parte da área do aquífero quando calculado através do índice EPIK (7113 ha), enquanto o IS apresenta nesta classe uma área claramente menor (5586 ha).

Na análise EPIK observa-se que apenas a área restrita ao aquífero do Cano apresenta vulnerabilidade baixa, enquanto os resultados do IS revelam que estas classes de menor

vulnerabilidade se encontram ao longo dos limites do sistema aquífero ocupando uma área relativamente reduzida (cerca de 100 ha).

Apesar de termos considerado os resultados do índice EPIK como resultado final em virtude das dúvidas levantadas nas reuniões de acompanhamento, sugerimos que ambas as abordagens possam ser consideradas na delimitação das áreas de maior vulnerabilidade, uma vez que o índice EPIK apresenta algumas limitações derivadas da qualidade dos dados de entrada, em particular da informação geográfica da geomorfologia cársica, e ainda pelo aquífero do Cano ter um comportamento poroso do tipo livre.

Face a constrangimentos relacionados com a disponibilização de dados dos sistemas aquíferos de Viana do Alentejo-Alvito e Elvas-Vila Boim, e ao facto de os dois aquíferos não intersectarem os municípios em grande extensão, e de estas áreas já se encontrarem consideradas na delimitação da REN atualmente em vigor, foi incluída toda a sua superfície como área de elevada vulnerabilidade (Figura 11).

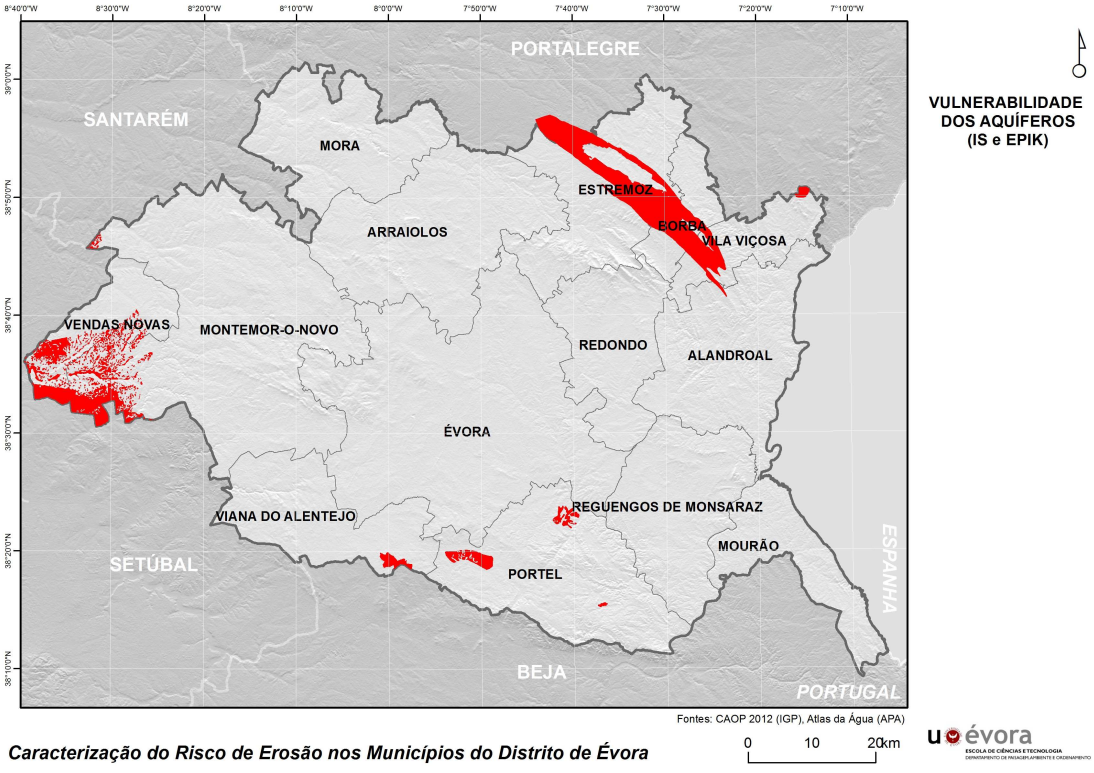

Figura 11. Vulnerabilidade elevada dos aquíferos (IS e EPIK)

6.4 Integração das aluviões

Com o objectivo de complementar a análise anterior, foram ainda extraídos os aluviossolos e os coluviossolos da Carta de Solos de Portugal na escala 1:50.000 (Figura 12).

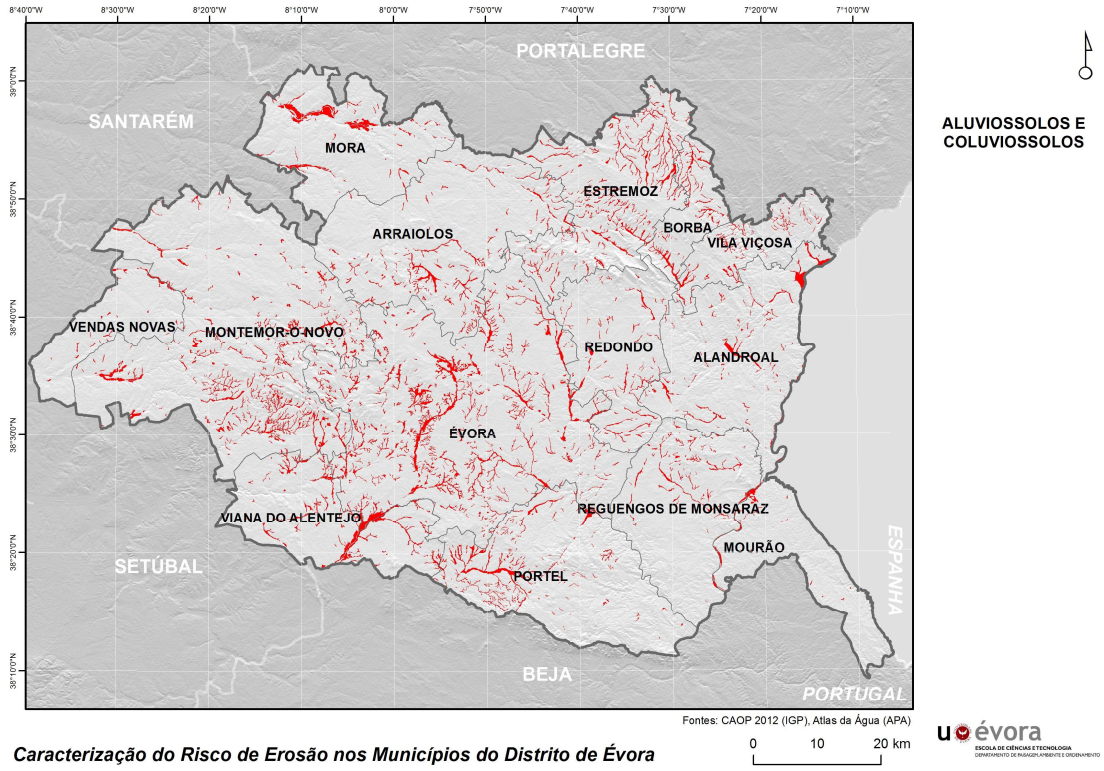

Figura 12. Aluviossolos e coluviossolos

Da união destes dois *layers* – vulnerabilidade dos aquíferos e aluviões – resulta o parâmetro da REN referente à proteção dos aquíferos (Figura 13).

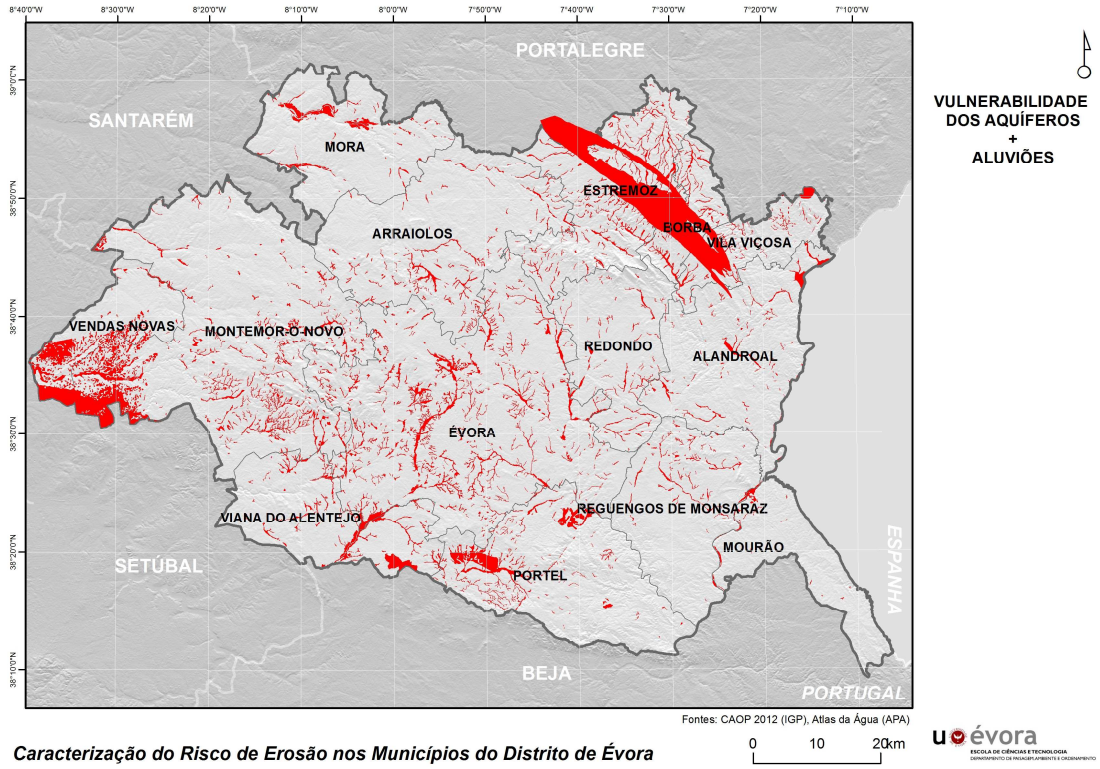

Figura 13. Áreas de proteção dos aquíferos

As áreas por município podem ser analisadas e comparadas com as áreas classificadas na REN atualmente em vigor como *Áreas de Máxima Infiltração*, na Tabela 11.

MUNICÍPIOS	AMI (REN)	VAQ	ALV	VAQ+ALV	VAR
Alandroal	1621,92	140,98	1966,19	2107,17	485,25
Arraiolos	4002,12	0,00	2284,87	2284,87	-1717,26
Borba	1162,18	3180,18	1055,08	4218,93	3056,75
Estremoz	5503,18	8189,84	3465,39	11422,98	5919,80
Évora	-	0,00	9722,36	9722,36	-
Montemor-o-Novo	13237,29	5796,28	5738,23	11191,95	-2045,34
Mora	-	0,00	1959,30	1959,30	-
Mourão	5183,99	0,00	385,74	385,74	-4798,25
Portel	1359,66	1824,17	2417,63	4051,45	2691,79
Redondo	4076,26	0,00	1252,12	1252,12	-2824,14
Reguengos de Monsaraz	2805,06	0,00	1132,92	1132,92	-1672,14
Vendas Novas*	5631,40	4088,03	304,06	4358,68	-1272,72
Viana do Alentejo	868,97	632,00	2226,33	2858,22	1989,26
Vila Viçosa	1864,94	2767,54	905,38	3648,65	1783,71

AMI: Áreas de infiltração máxima; VAQ: Vulnerabilidade dos aquíferos; ALV: Aluviões; VAR: Variação
Todos os valores de área estão em ha

Tabela 11. Comparação entre as áreas de máxima infiltração atualmente em vigor, e as áreas de elevada vulnerabilidade dos aquíferos e aluviões

7. Estudo parcial 5: Carta de zonas ameaçadas pelas cheias

O estudo parcial 5 centra-se na definição espacial de "zonas ameaçadas pelas cheias" referente às bacias hidrográficas que cobrem a área dos 14 municípios que constituem o distrito de Évora.

Consideram-se como zonas ameaçadas pelas cheias, ou zonas inundáveis, as áreas suscetíveis de inundação por transbordo de água do leito dos cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados. Não estão incluídas nesta tipologia as áreas suscetíveis de inundação motivada por outros fenómenos, como por exemplo *tsunamis,* rotura de barragens ou diques.

Normalmente, e para efeitos de ordenamento e gestão do território, considera-se que a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias deve processar-se de forma diferenciada em função do uso e ocupação do território:

- Áreas com potenciais impactes negativos importantes (consequências prejudiciais significativas) sobre elementos expostos: a delimitação da área ameaçada pelas cheias considerará sempre o período de retorno de 100 anos embora possa integrar concomitantemente períodos de retorno mais baixos (ex. 20 anos). A delimitação deve ser apoiada em estudo hidrológico referente à bacia hidrográfica e em estudo hidráulico a realizar para o(s) troço(s) do curso(s) de água associados àqueles impactes;
- Áreas em que os impactes das cheias em usos agrícolas ou florestais possuam pouca valoração (grande maioria dos territórios rurais): nestes casos a delimitação das zonas inundáveis pode resultar apenas da representação da cota da maior cheia conhecida, determinada a partir de marcas de cheia, registos vários e dados cartográficos disponíveis, e da aplicação de critérios geomorfológicos, pedológicos e topográficos apropriados.

No Alentejo, as zonas ameaçadas por cheias estão associadas maioritariamente às bacias hidrográficas dos rios Sado e Mira, atingindo várias zonas urbanas, não assumindo uma importância predominante na bacia do Guadiana.

A determinação das zonas ameaçadas pelas cheias associadas ao período de retorno de 100 anos, bem como daquelas onde a ocorrência de cheias fluviais com excecionalidades inferiores (por exemplo 20 anos) conduza a consequências prejudicais significativas, obriga ou à elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos que utilizem os dados hidrometeorológicos e morfológicos existentes, ou à aplicação de procedimentos hidrológicos expeditos, em caso de bacias hidrográficas não suficientemente monitorizadas e de bacias hidrográficas entre 10 km^2 e 600 km^2, ou a estudos geomorfológicos combinados com uma avaliação estatística.

A aplicação de procedimentos expeditos é complementada com estudos hidrológicos mais desenvolvidos sempre que existam especificidades próprias. Os estudos hidrológicos consideram os dados e informações obtidos nas redes de monitorização de caráter nacional, geridas pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e pelo organismo competente em matéria de meteorologia. Para além destas duas origens, e caso seja relevante, podem utilizar-se dados de redes específicas, locais, regionais ou mesmo nacionais, operadas por outros organismos, instituições ou grupos de investigação.

Do ponto de vista hidrológico, verifica-se a ocorrência de uma cheia quando a bacia hidrográfica é alimentada por água de um modo intenso e prolongado, de modo que o caudal que daí advém e que aflui à rede hidrográfica excede a capacidade normal de transporte ao longo da rede, transbordando as margens naturais ou artificias e alagando as zonas contíguas.

7.1 Definição metodológica geral

A definição da abordagem metodológica geral sofreu algumas alterações durante a elaboração do estudo, resultantes de uma avaliação intermédia dos resultados, quer em termos da sua qualidade, quer em termos da sua exequibilidade nos prazos e territórios definidos.

Inicialmente o trabalho desenvolveu-se com a aplicação do modelo hidrológico *HEC-HMS* e do modelo hidráulico *HEC-RAS,* associados a um Sistema de Informação Geográfica para o cálculo dos caudais de ponta de cheia e delimitação das zonas inundáveis para um período de retorno de 100 anos.

Com o desenvolvimento do trabalho e face à avaliação intermédia atrás referida, constatou-se que a abordagem inicial não permitiria produzir os resultados desejados, devido um conjunto

de limitações que desaconselhavam fortemente a aplicação dos modelos *HEC-HMS e HEC-RAS* à totalidade da área integrante deste estudo:

- O processamento das variáveis é extremamente moroso e particularmente sensível às limitações da base informativa, nomeadamente no que respeita à frequência de observações altimétricas;
- A modelação do terreno, assente numa representação TIN (*Triangulated Irregular Network*) apresenta inúmeras deficiências na representação dos processos hidráulicos, não permitindo uma correta estimativa das variações do terreno considerando o seu "funcionamento" em processos de escoamento;
- O conjunto de parâmetros a integrar implica uma rede de monitorização com uma frequência espacial e temporal elevada, passível de fornecer estimativas precisas e válidas, o que está longe de acontecer para a maioria do território em estudo.

Considerando as limitações descritas foi decidido adoptar uma metodologia distinta, fazendo recurso a um modelo experimental (SWAMP – *Structural Water Accumulation Modelling Prediction*),[3] desenvolvido anteriormente por um conjunto de membros da equipa do presente estudo, cujo potencial demonstrado em análises anteriores se tinha revelado extremamente significativo.

O modelo SWAMP destina-se primariamente à avaliação da pantanosidade estrutural, que pode ser descrita como a propensão para a acumulação de escoamentos e a sua estagnação decorrente de uma menor propensão para o movimento.

Neste modelo considera-se que a morfologia do terreno é simultaneamente a assinatura e a infra-estrutura dos fenómenos hidrológicos e que os processos de acumulação de escoamentos ocorrem em resultado de diversos factores bem mais dificilmente modeláveis, sendo o seu comportamento passado, presente e futuro passível de ser inferido a partir do condicionamento infra-estruturante da morfologia do terreno.

[3] O método utilizado resultou da experiência acumulada no desenvolvimento do modelo SWP (Swampness) apresentado pela primeira vez na conferência TEMPRIV – *Temporary Rivers*, e mais recentemente no Congresso da Geografia Portuguesa. O modelo SWP constitui uma métrica probabilística do grau de pantanosidade, integrando variáveis como a estimativa do nível de alagamento e a velocidade de circulação da água, podendo também ser utilizado como estimativa difusa da humidade geral através do gradiente de aproximação à área potencialmente alagável.

O condicionamento infra-estruturante da morfologia do terreno tem sido abordado sobretudo numa dimensão de caracterização local e focal, sendo escassas as tentativas de criação de métricas globais capazes de permitir uma adequada integração da complexidade dos fenómenos envolvidos.

O modelo SWAMP integra a formulação e o processo de modelação geográfica assente na criação de um conjunto de variáveis morfométricas globais visando a criação de um índice de pantanosidade.

De entre as variáveis morfométricas e morfodinâmicas globais utilizadas merecem particular destaque as seguintes:

- HRACCM (*Hydrological Reverse Accumulation Metric*): variável morfométrica e morfodinâmica descrevendo um tensor de alagamento, obtida pela integração do valor estimado de acumulação reversiva através do modelo relativo do terreno para uma bacia ou sub-bacia hidrográfica com morfologia hidrologicamente funcional;
- HRTM (*Hydrological Relative Terrain Model*): modelo digital de elevações relativo, gerado a partir da modelação recursiva de escoamentos segundo o modelo D8 clássico, sobre uma base do modelo digital de elevação definido a partir de processos de multi-resolução adaptativa com condicionamento hidrológico funcional.

Considerando a sua formulação matemática e os processos integrados de modelação geográfica, o modelo SWAMP permite para além da avaliação da pantanosidade estrutural, uma avaliação de altura de alagamento bem como o estabelecimento de funções de previsão de base logística, estabelecendo a probabilidade de classificação como local de cheia (1) ou de não-cheia (0) em todas as células de uma bacia hidrográfica representada matricialmente.

Assim, e face aos problemas encontrados na abordagem inicialmente seguida, decidiu-se utilizar o modelo SWAMP como base preditiva da ocorrência de cheias nas bacias hidrográficas que integram a área de estudo.

Os resultados alcançados permitiram a definição espacial das áreas de cheias para a totalidade da área de estudo, com um nível de qualidade que se considera elevado, inclusive significativamente superior aos métodos inicialmente utilizados.

7.2 Análise hidrológica e hidráulica preliminar

A análise preliminar visando a definição de uma estimativa de referência foi baseada na integração dos modelos hidrológicos e hidráulicos implementados nos softwares HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) e HEC-RAS (*River Analysis System*) desenvolvidos pelo Hydrologic Engineering Center do US Army Corps of Engineers, com o Sistema de Informação Geográfica ArcGIS.

A análise morfológica das bacias hidrográficas localizadas na área de estudo foi executada com base nos Modelos Digitais de Elevações (DEM) construídos para a área de estudo. Foi determinado um vasto conjunto de características geomorfológicas e parâmetros funcionais, de acordo com os seguintes procedimentos gerais (Figura 14):

- Construção do Modelo Digital de Elevações, com uma resolução de 10 m, para a área de estudo, tendo por base informação altimétrica à escala 1:25.000;
- Delimitação de bacias hidrográficas, em número e extensão suficientes para que englobem a total extensão das áreas de estudo;
- Definição das redes de drenagem das bacias hidrográficas;
- Cálculo dos parâmetros, indicadores e índices considerados pertinentes e necessários às modelações seguintes.

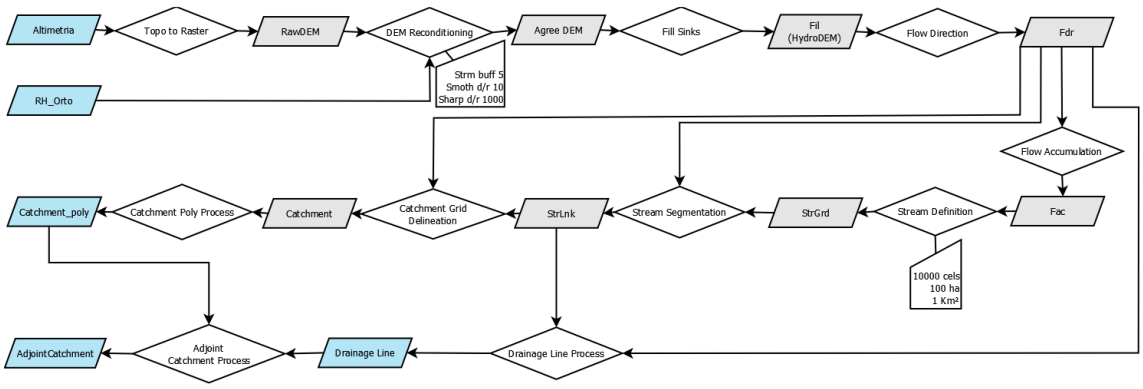

Figura 14. Fluxograma de modelação geográfica para a análise morfológica das bacias hidrográficas

Os parâmetros morfológicos foram calculados a partir do Modelo Digital de Elevações (DEM) e conjuntamente com os dados hidrológicos, importados para o programa HEC-HMS.

Numa segunda fase, a informação detalhada referente à geometria da rede de drenagem foi extraída a partir de uma Rede Irregular de Triângulos (TIN) e, em conjunto com os caudais de ponta de cheia resultante do processamento prévio executado no programa HEC-HMS, foi importada para o programa HEC-RAS, onde foi efectuada a modelação hidráulica.

Depois de executado este último modelo, os resultados a que conduz foram processados e analisados no SIG onde foi feita a representação espacial das zonas de cheia. Em linhas gerais, o estudo compreendeu as etapas descritas de seguida:

- Geração de bacias hidrográficas e redes de drenagem a partir dos modelos digitais do terreno (MDT);
- Obtenção, para as bacias geradas, dos valores dos parâmetros morfológicos e hidrológicos e dos dados hidrológicos a introduzir no programa HEC-HMS;
- Modelação hidrológica de acordo com o período de retorno considerado, com o programa HEC-HMS e estimativa dos caudais de ponta de cheia;
- Preparação da informação detalhada referente à geometria da rede de drenagem, a introduzir no programa HEC-RAS, mediante a utilização de um SIG;
- Modelação hidráulica da configuração da superfície livre com o programa HEC-RAS;
- Processamento dos resultados do programa HEC-RAS com vista à representação gráfica dos leitos de cheia.

As características morfológicas das sub-bacias foram calculadas a partir do DEM em ambiente SIG, usando a extensão HEC-GeoHMS a qual permite o pré-processamento de dados a introduzir no *software* de modelação hidrológica.

De entre o vasto número de parâmetros morfológicos das sub-bacias calculados e necessários para a obtenção dos parâmetros de entrada do modelo, destacam-se a área e o tempo de concentração para a definição dos hietogramas efetivos de precipitação.

Após a geração dos perfis da superfície livre ao longo da rede hidrográfica, estes são exportados para o SIG e são geradas as superfícies livres do escoamento em formato TIN. A delimitação das zonas inundáveis é então obtida pela interceção entre o modelo digital do terreno e a superfície livre.

A modelação preliminar visando a constituição de superfícies de referência foi aplicada a 3 pequenas bacias hidrográficas, consideradas representativas na sua variedade, para permitir a extração de informação para o estabelecimento de um modelo preditivo passível de ser aplicado à globalidade da área em estudo.

7.3 Análise SWAMP (*Structural Water Accumulation Modelling Prediction*)

A relação entre a ocorrência de cheias e as variáveis HRACCM e HRTM foi analisada através da aplicação de um modelo de regressão logística. Este método tem como objectivo produzir a partir de um conjunto de registos (observações), um modelo estatístico que permita a predição de valores tomados por uma variável binária a partir de um conjunto de variáveis explicativas. Assim, com base na variável resposta binária (1 = ocorrência de cheias, 0 = não ocorrência de cheias) gerou-se uma regressão logística com recurso ao modelo linear generalizado implementado na "package" *stats* do *software* R *project* para ajustar uma função de probabilidade de um qualquer ponto do terreno ser "ocorrência de cheia" (Y=1) em função dos valores das variáveis independentes através da seguinte expressão:

$$\pi = \frac{1}{1 + e^{-(\beta + \beta_0 \chi_1 + \beta_\eta \chi_\eta)}}$$

Onde χ_η é a variável explicativa e β_η é o coeficiente ajustado para a variável χ_η.

O modelo de regressão logística utilizado aplica como função de ligação a função *logit*, sendo que neste processo a distribuição utilizada foi a *quasibinomial* para evitar problemas de "overdispersion" dos dados de entrada (Kabacoff, 2011). Para o ajustamento do modelo foram selecionados 715 pontos aleatoriamente ao longo das bacias hidrográficas que compõe o distrito de Évora, de modo a ajustar-se um modelo estatístico que permita ser generalizado para toda a área em análise. A amostra recolhida foi igualmente partida em dois grupos, ou seja, 357 pontos codificados como 1 (ocorrência de cheias) e 357 codificados como 0 (não ocorrência de cheias).

A análise estatística para ajustamento do modelo final de regressão logística foi desenvolvida seguindo duas fases principais. Na primeira foram aplicados modelos de regressão logística univariados, onde cada uma das variáveis em estudo foram testadas separadamente (modelos

parciais) para avaliar a sua significância e importância na explicação da ocorrência de cheias. Com bases nos resultados desta fase foi ajustado o modelo final.

Por fim, para avaliar a qualidade de ajustamento do modelo foi calculado o valor D^2 (*explained deviance*) (Guisan e Zimmermann, 2000) através da seguinte expressão:

$$D^2 = \frac{Null\ deviance - Residual\ deviance}{Null\ deviance} * 100$$

O valor de D^2 pode ser interpretado como sendo a variabilidade total explicada pelo modelo, sendo que quanto maior for o valor (varia entre 0 e 100%) melhor será o ajustamento do modelo e assim uma maior capacidade de predição de novos valores.

7.4 Resultados

O modelo final tem um ajustamento excelente na medida em que explica 91.87% da variabilidade total dos dados (Tabela 12). Estes resultados demonstram que o modelo ajustado é robusto e pode ser generalizado para toda a área de estudo de forma a predizer os locais com maior probabilidade de ocorrência de cheia.

Variáveis	**β**	**Erro padrão**	**Valor de *p***
Constante	2.5329	0.5717	0.000***
HRACCM	0.00048	0.0001	0.000***
HRTM	-0.9319	0.1598	0.000***
Null deviance	**Resid. Deviance**		**D^2**
989.814	80.444		91.873%

Tabela 12. Modelo de regressão logística final

A função obtida que permite calcular a probabilidade de ocorrência de cheia pode ser escrita da seguinte forma:

$$prob_cheia = \frac{1}{1 + \mathrm{e}\text{^} - (2.53299 - 0.93194 * \mathrm{HRTM} + 0.00048 * \mathrm{HRACCM})}$$

A função gerada foi posteriormente escrita em álgebra de mapas de modo a espacializar as probabilidades de ocorrência de cheia nas bacias hidrográficas da área de estudo.

Os resultados matriciais da aplicação do modelo SWAMP foram reclassificados em duas classes: cheia (0,9-1), não cheia (0-0,9) e posteriormente vectorizados, produzindo os resultados finais após um processo de generalização relativamente suave (PAEK limiar 30 metros), visando facilitar uma melhor representação cartográfica.

Os resultados obtidos podem ser analisados na Tabela 13 e na Figura 15.

MUNICÍPIOS	CHE (REN)	CHE	VAR
Alandroal	1898,44	4700,27	2801,83
Arraiolos	6151,28	4824.39	-1326,89
Borba	1018,76	827,20	-191,56
Estremoz	2155,92	2802,74	646,82
Évora	-	9774,69	-
Montemor-o-Novo	3359,11	8606,89	5247,78
Mora	-	4627,78	-
Mourão	205,20	5757,99	5552,79
Portel	1676,89	6748,65	5071,76
Redondo	927,64	2349,72	1422,08
Reguengos de Monsaraz	649,23	6812,51	6163,28
Vendas Novas	2611,43	1737,40	-874,03
Viana do Alentejo	2722,92	3357,45	634,53
Vila Viçosa	444,92	1085,15	640,23

CHE: Zonas ameaçadas pelas cheias; VAR: Variação
Todos os valores de área estão em ha

Tabela 13. Comparação entre as zonas ameaçadas pelas cheias atualmente em vigor e resultantes do presente estudo

Com exceção de Montemor-o-Novo, os maiores acréscimos de áreas são resultado da integração da superfície atualmente ocupada pela Albufeira de Alqueva.

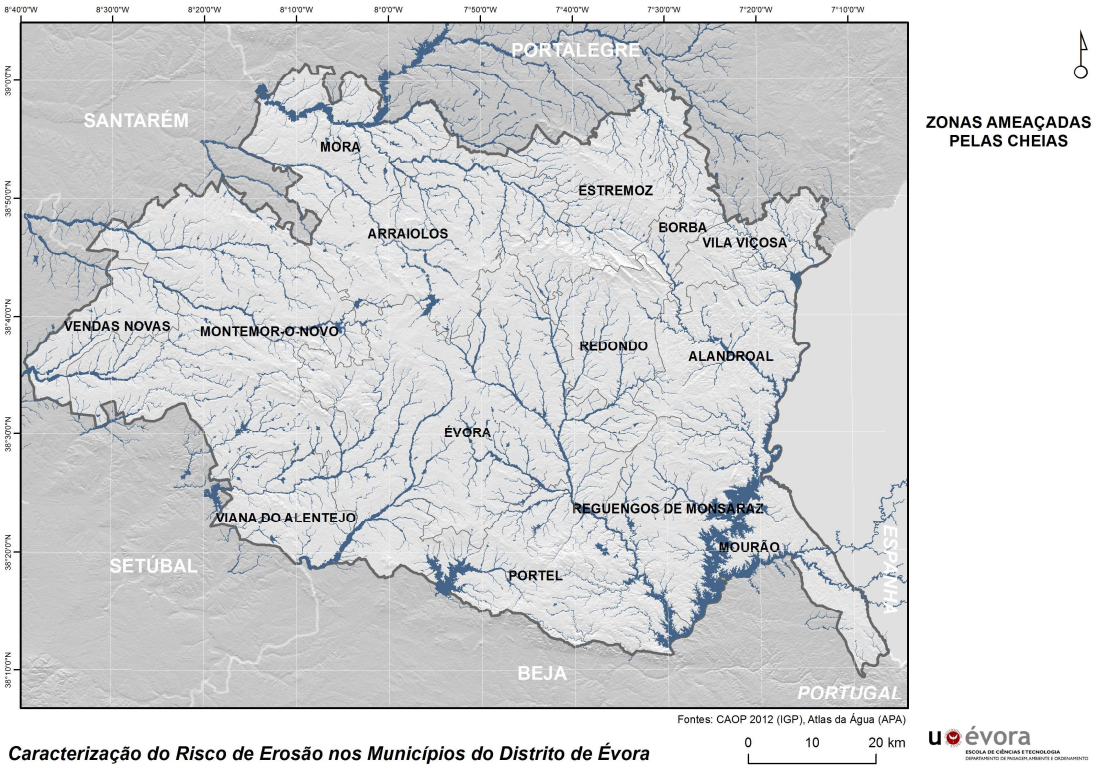

Figura 15. Zonas ameaçadas pelas cheias

8. Estudo parcial 6: Carta de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo

A erosão é um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição do solo, sub-solo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos, temperatura (Galeti, 1976), ou ainda por ação da gravidade (Bennet, 1951). Os factores determinantes no fenómeno erosivo são primordialmente o solo, a morfologia do terreno, o clima, o coberto vegetal e a atividade humana. A natureza do solo e o seu relevo são sem dúvida importantes no desenrolar do fenómeno erosivo, em conjugação com os factores climáticos. São estes últimos, em particular a chuva, os agentes ativos nos fenómenos erosivos. As variáveis térmicas pronunciadas são elementos de desagregação das rochas e dos próprios constituintes do solo. O vento, para além de agente de desagregação, é também agente de transporte (Sardinha e Macedo, 1981).

Segundo os mesmos autores, a cobertura vegetal é um dos factores fundamentais de defesa e conservação do solo. Além de o proteger, com a sua parte aérea, da ação direta do vento e da chuva, o seu raizame forma uma rede de retenção das partículas de solo. Por outro lado, absorve a água do solo para prover às necessidades das plantas. A água do escoamento é

obrigada a divagar, devido à presença de vegetação, reduzindo-se assim a sua energia cinética e, portanto, a força de arrastamento. Logo que desapareça o revestimento vegetal, rompe-se o equilíbrio natural, podendo então os agentes erosivos agir livremente, arrastando por vezes vultosas quantidades de solo. A extinção parcial ou total da cobertura vegetal tem conduzido à intensificação dos fenómenos erosivos.

Segundo Álvares e Pimenta (1998), a erosão do solo caracteriza-se pela remoção de material superficial, conduzindo ao empobrecimento do solo e, em situações extremas, à desertificação. O processo de erosão resulta de uma combinação de factores que são dependentes e estão interligados entre si, e apresentam grande variabilidade espacial e temporal, tornando este fenómeno difícil de equacionar e quantificar. Os factores que influenciam os processos erosivos são a erosividade da precipitação, medida pela sua intensidade e energia cinética, a erodibilidade dos solos, definida pelas suas características físicas e químicas, o coberto vegetal, pela sua maior ou menor proteção do solo, os declives e comprimentos de encostas e as práticas de conservação existentes.

8.1. Metodologia

Sendo o fenómeno erosivo decorrente de variados factores em contextos de complexidade, decorrente da sua natureza inter-relacionada, considera-se pertinente uma aproximação visando a definição de uma metodologia simples e eficaz, facilmente aplicável na definição de políticas de ordenamento do território.

Podendo a força gravítica, ou melhor dizendo, o trabalho da força gravítica ser considerado o factor primordial em processos de erosão decorrentes do escoamento superficial, a metodologia desenvolvida por Ferreira *et al*. (2011) e por Neves *et al.* (2010, 2011a, 2011b) integrou primeiramente esta dimensão. Os autores consideram o estudo dos processos erosivos numa perspectiva global ou de contexto, integrando nos procedimentos metodológicos não a erosão específica local decorrente da inclinação do terreno em cada local ou célula, mas a erosão potencial global cumulativa, em que a erosão em cada célula é influenciada por um conjunto de células e influencia outro conjunto de células.

Outros modelos de previsão de perda de solo recorrem a este princípio, como o WEPP – *Water Erosion Prediction Project* (Flanagan *et al*., 1994), e têm demonstrado bastante aderência à

realidade, de acordo com os trabalhos desenvolvidos com base nos dados da Estação Experimental de Erosão de Vale Formoso (Tomás, 1997), sendo limitado pela quantidade de informação de base necessária à sua utilização. Em 2001 foi adaptado ao modelo WEPP a metodologia MIR (*Minimum Information Requirement*) que se baseia fundamentalmente em informação topográfica, de solo e de ocupação do solo associada a um simulador, usando um conjunto mínimo de informação para estimar a perda de solo (Brazier, 2001).

A delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo apoia-se na aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), adaptada a Portugal continental e à unidade de gestão bacia hidrográfica. A metodologia adotada, desenvolvida pela APA, I.P., resulta da possibilidade de expansão do número de estimativas pontuais do fator de erosividade da EUPS ao território continental, apoio para a determinação de superfícies de potencial de erosividade da precipitação.

Para estimar a erosão específica do solo (*A*), em ton/ha.ano, faz-se a ponderação dos fatores da EUPS nas várias bacias hidrográficas e aplica-se a expressão:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

onde:

- *A*: perda de solo média ou erosão específica [$t.ha^{-1}.ano^{-1}$];
- *R*: fator de erosividade da precipitação, baseado nas estimativas efetuadas pelo, à data, INAG, considerando eventos com precipitação total superior a 50,8mm (duas polegadas), ponderados para as bacias hidrográficas em análise [$MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$];
- *K*: fator relativo à erodibilidade dos solos [$t.ha.h.ano.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$], baseado na correspondência entre a classificação da FAO e o valor de erodibilidade proposto por Pimenta (1999);
- *LS*: fator topográfico, adimensional, que exprime a importância conjugada do comprimento da encosta (*L*) e do seu declive (*S*), aferidos à geometria normalizada dos talhões experimentais (*L* igual a 22,5m e *S* igual a 9%).
- *C*: fator relativo ao tipo de culturas e sua sequência, baseado na correspondência entre as cartas *Corine Land Cover* e COS'90 e o valor de *C* proposto por Pimenta (1999);

- *P*: fator antrópico, baseado na densidade populacional dos concelhos do continente (n.º hab/km^2) obtida através dos dados do INE, a partir dos quais são definidas 20 classes, correspondendo a classe de menor densidade populacional ao valor de P 5 % e a de maior densidade ao valor 100 %.

A EUPS está vocacionada para o cálculo da perda de solo média de unidades de paisagem específicas associadas a um determinado tipo de cultura e de gestão territorial (Tomás, 1992, 1997; Rosewell e Edwards, 1998).

8.1.1. Fator de erosividade da precipitação

A desagregação de partículas de um solo pelas gotas de chuva é um dos processos fundamentais para o fenómeno da erosão hídrica dos solos, pelo que se torna necessário quantificar de modo correto a energia cinética da precipitação (Tomás, 1992).

Esta metodologia tem como base os estudos de Wischmeier e Smith (1978) e de Ferro *et al*. (1991), que permitiram expandir o número de estimativas pontuais do fator de erosividade (*R*) para todo o território continental e apoiar a determinação de superfícies de potencial de erosividade representadas no mapa de isoerodentes disponível em suporte digital no portal do SNIRH (http://snirh.pt, opção Atlas da Água e Atlas Nacionais), correspondente ao representado na Figura 16.

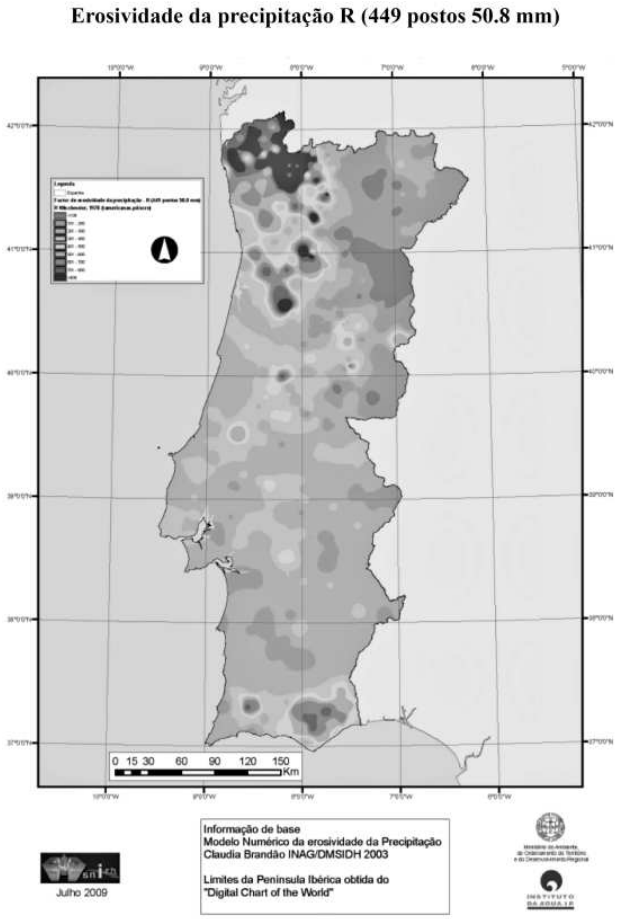

Figura 16. Erosividade da precipitação R (449 postos 50.8 mm)

8.1.2. Fator de erodibilidade do solo

Segundo Pimenta (1998b), "a determinação da erodibilidade do solo pressupõe o conhecimento dos seus constituintes no que se refere ao conteúdo em areia, limo, argila e matéria orgânica, bem como à informação sobre a permeabilidade e a estrutura. As características físicas e químicas do solo e as suas inter-relações têm um efeito variado nos valores de erodibilidade. Além disso, muitos mecanismos de erosão atuam ao mesmo tempo, relacionados com cada propriedade específica do solo.

Ainda segundo a mesma autora, "o factor erodibilidade *K* da EUPS foi desenvolvido para talhões experimentais, nos quais, as características físicas e químicas dos solos são facilmente analisadas, bem como as suas alterações ao longo do tempo. Quando se pretende avaliar a erodibilidade do solo em áreas mais vastas do território e para um determinado intervalo de tempo, é necessário utilizar informação mais generalizada, recorrendo à cartografia de solos com as unidades pedológicas devidamente caracterizadas".

O cálculo da erodibilidade é função de cinco parâmetros (Pimenta, 1998a): argila, areia grossa, areia fina, limo, matéria orgânica (OM), estrutura (s) e permeabilidade (p). A erodibilidade pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$K = \frac{[2.1 \times 10(12 - OM)M + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]}{100 \times 7.59}$$

Segundo Pimenta (1998a), o parâmetro M define o tamanho das partículas e corresponde ao produto:

$$M = (\%\ limo + areia\ fina) \times (100 - \%\ argila)$$

Para a caracterização deste parâmetro foram utilizadas as Cartas de Solos de Portugal, na escala 1:50.000.

8.1.3. Fator fisiográfico

O factor fisiográfico é um dos elementos mais difíceis de calcular em SIG, uma vez que o resultado correspondente ao comprimento de encosta (L) corresponde aos valores cumulativos dos *pixéis* numa determinada encosta. Este problema foi solucionado através do cálculo do comprimento cumulativo do declive (Hickey *et al*., 1994, Hickey, 2000, Van Remortel *et al*., 2001). O factor fisiográfico pode ser obtido pela expressão:

$$LS = \left({}^{\lambda}/_{72.6}\right)^{m}(65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065)$$

LS – Factor Fisiográfico

λ - Comprimento cumulativo do declive

β - Declive

m – Variável associada ao declive (0.5 para declives superiores a 2.86º, 0.4 para declives entre 1.72º e 2.86º, 0.3 para declives entre 0.57º e 1.72º e 0.2 para declives inferiores a 0.57º)

Segundo Ribeiro *et al*. (2004), a transposição desta equação para álgebra de mapas pode ser feito de acordo com a expressão seguinte:

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13}\right) \times 1.4 \times \left(\frac{\sin b}{0.0896}\right)$$

em que:

A_s – acumulação de escoamento (Jenson e Domingue, 1988)

b – declive

Para o objectivo proposto, optámos pela expressão publicada em Mitasova *et al*. (1996):

$$LS_{(r)} = (m+1)\left[\frac{A_s.(r)}{22.13}\right]^m \left[\frac{\sin b_{(r)}}{\sin 5.143}\right]^n$$

em que:

r – resolução

22,13 m [L] e 5,143º [S] – geometria normalizada dos talhões experimentais

m e n – coeficientes relacionados com o escoamento e infiltração

Os processos de análise espacial para a obtenção do parâmetro LS foram realizados sobre a altimetria, na escala 1:10.000, fornecida pela CIMAC.

8.1.4. Fator relativo ao coberto vegetal

O fator de cultura foi derivado em talhões experimentais, baseado em determinadas condições iniciais. No entanto, quando nos referimos a grandes áreas do território é necessário fazer algumas simplificações para a definição do factor de cultura a atribuir a cada tipo de ocupação do solo (Pimenta, 1998b).

A classificação foi associada à carta de ocupação do solo na escala 1:10.0000, fornecida pela CIMAC.

8.1.5. Fator antrópico

O fator antrópico baseado na densidade populacional dos concelhos do continente (n.º hab./km^2) não nos pareceu desde logo, por si, indicador da ação humana sobre o processo erosivo. Dessa forma seguimos a recomendação técnica da APA/CNREN (2013), e considerámos o valor 1 em todo o território analisado.

8.1.6. Cálculo do risco de erosão

Após o cálculo de *A,* estima-se a perda de solo específico recorrendo à Razão de Cedência dos Sedimentos (SDR). A SDR foi determinada a partir de pares de valores de área de drenagem (*Ab*), expressa em km^2, e de SDR, expressa em percentagem (SCS, 1971 *in* Cardoso, 1984 e *in* Mitchell e Bubenzer, 1980), aos quais se ajustou a equação do tipo potencial:

$$SDR = 0{,}332\ Ab^{-0{,}2236}$$

A perda de solo específico (*Pse*) é determinada a partir da equação:

$$Pse = SDR \times A$$

Em temos de classificação qualitativa da perda do solo associada a um risco de erosão hídrica, aplicam -se os valores indicados no quadro seguinte:

Perda do solo (Pse) - ton/ha.ano	Avaliação do Risco
Maior ou igual a 55	Elevado
Entre 25 e 55	Médio
Entre 0 a 25	Baixo

Tabela 14. Valores de referência para o parâmetro *Pse*

8.2. Resultados da aplicação do modelo adoptado

As áreas resultantes do processo analítico descrito anteriormente podem ser observadas na Figura 17.

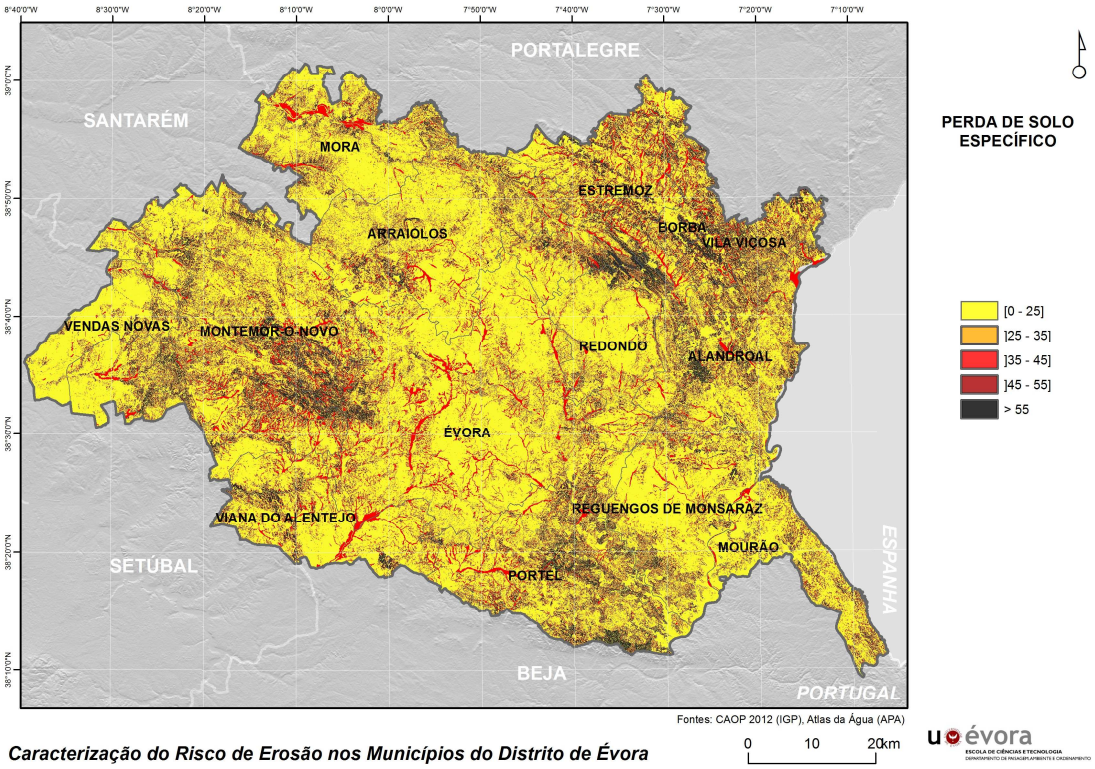

Figura 17. Perda de solo específico

Pese embora esteja definido um limiar no diploma de regulamentação da REN, podem ser adoptadas medidas mais conservadoras, utilizando limiares mais baixos como ilustra a Figura 18.

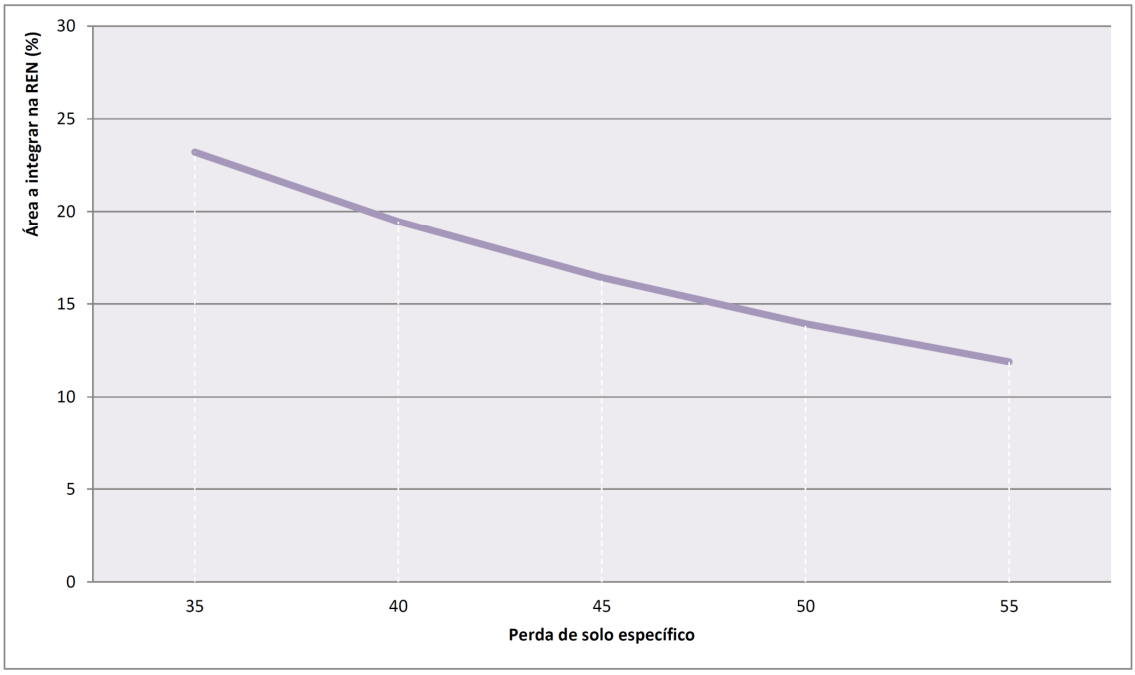

Figura 18. Variação da área a integrar na REN em função de diferentes limiares de perda de solo específico

A Figura 19 representa a área a integrar na REN de acordo com o limiar publicado no diploma legislativo anteriormente referido.

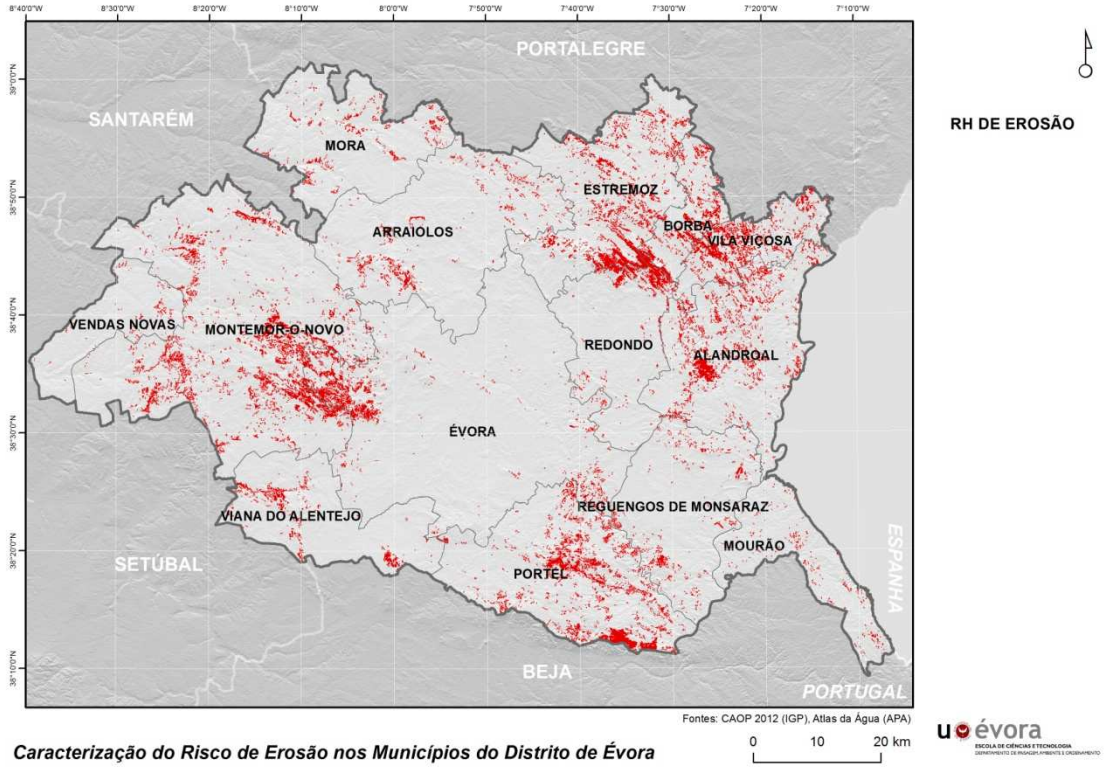

Figura 19. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo

Os dados comparativos entre as áreas (em ha) atualmente inscritas na REN e as obtidas neste estudo podem ser observados na Tabela 15.

CONCELHOS	ERO (REN)	ERO	VAR
Alandroal	19700,53	5290,70	-14409,83
Arraiolos	22905,73	1944,80	-20960,93
Borba	5201,57	2524,92	-2676,65
Estremoz	11062,52	5821,31	-5241,21
Évora	-	4234,57	-
Montemor-o-Novo	30475,47	10005,12	-20470,35
Mora	-	1503,27	-
Mourão	9508,23	811,96	-8696,27
Portel	34615,60	6934,33	-27681,27
Redondo	15144,37	2124,00	-13020,37

Reguengos de Monsaraz	22639,69	1620,56	-21019,13
Vendas Novas	4924,27	423,45	-4500,82
Viana do Alentejo	7884,16	1630,53	-6253,63
Vila Viçosa	7390,29	4049,63	-3340,66

Tabela 15. Comparação das áreas de erosão do solo

8.3. Comparação dos resultados obtidos com a REN atualmente em vigor

Verificam-se acentuadas diferenças nos resultados, com um decréscimo muito significativo da área a integrar em REN quando comparada com a REN atualmente em vigor (Figura 20).

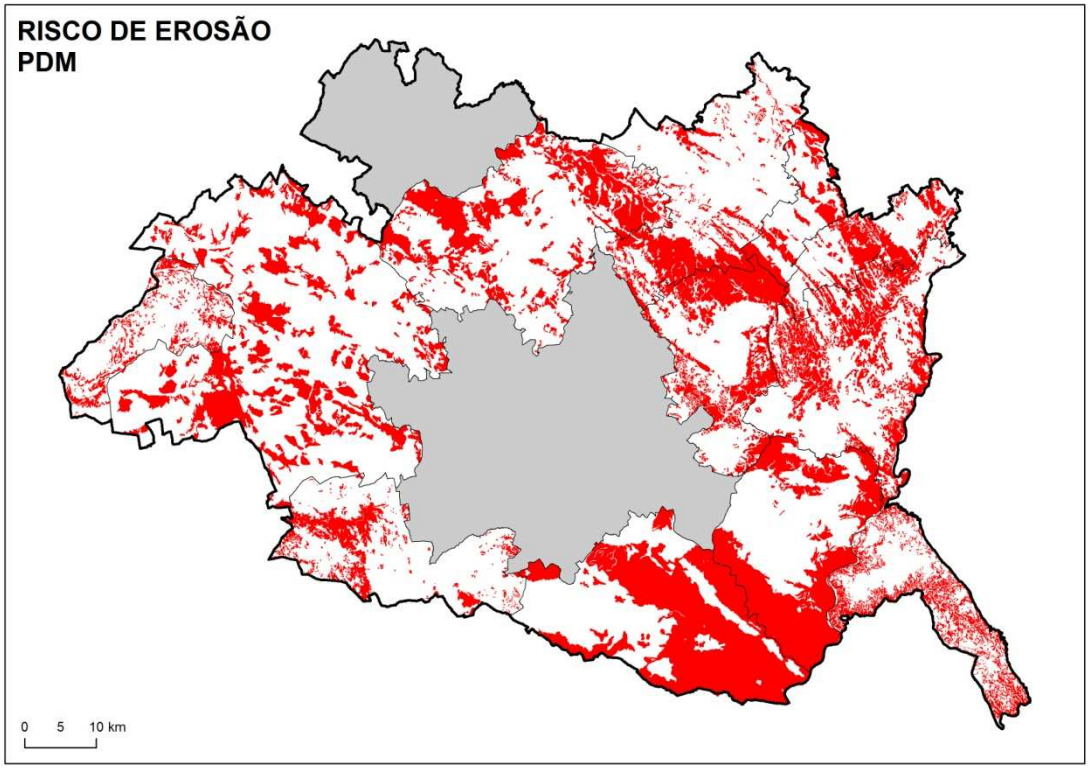

Figura 20. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo incluídas na REN atualmente em vigor

Estas diferenças podem estar relacionadas com o facto de a REN atualmente em vigor ter sido cartografada recorrendo ao uso da Carta de Capacidade de Uso do Solo (Figura 21) para este fim. O exemplo permite evidenciar que esta foi a informação base para definir as áreas com eventual Risco de Erosão a integrar na REN de Arraiolos. A sobreposição das áreas com eventual Risco de Erosão classificadas em REN, com Carta de Capacidade de Uso do Solo, permite verificar uma coincidência dos limites destas com as áreas *Ee* e *De* (dominantes em complexos de solos).

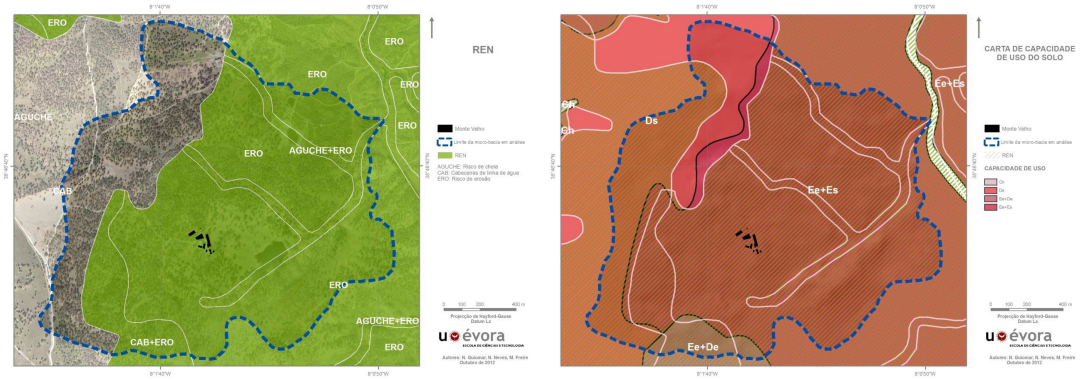

Figura 21. Tipologias de REN numa área do concelho de Arraiolos, e sobreposição das áreas REN classificadas com risco de erosão e as classes e subclasses de Capacidade de Uso do Solo

As diferenças entre as cartas poderão dever-se a conversões *raster-vector*, processos de georreferenciação ou mesmo aquando da delimitação original da REN. A capacidade de uso é avaliada segundo 5 classes e 3 subclasses, cujas características e significado estão sintetizados na Tabela 16.

Classe	Características principais
A	- Poucas ou nenhumas limitações
	- Sem riscos de erosão ou com riscos ligeiros
	- Susceptível de utilização agrícola intensiva
B	- Limitações moderadas
	- Riscos de erosão no máximo moderados
	- Susceptível de utilização agrícola moderadamente intensiva
C	- Limitações acentuadas
	- Riscos de erosão no máximo elevados
	- Susceptível de utilização agrícola pouco intensiva
D	- Limitações severas
	- Riscos de erosão no máximo elevados a muito elevados
	- Não susceptível de utilização agrícola, salvo casos muito especiais
	- Poucas ou moderadas limitações para pastagens, exploração de matos e exploração florestal
E	- Limitações muito severas
	- Riscos de erosão muito elevados
	- Não susceptível de utilização agrícola
	- Severas a muito severas limitações para pastagens, matos e exploração florestal
	- Ou servindo apenas para vegetação natural, floresta de proteção ou de recuperação
	- Ou não susceptível de qualquer utilização
Subclasses	**Significado**
e	Erosão e escoamento superficial
h	Excesso de água
s	Limitações do solo na zona radicular

Tabela 16. Classes e subclasses da Carta de Capacidade de Uso do Solo

A Carta de Capacidade de Uso do Solo (SROA) de 1960 é amplamente utilizada com objectivos de planeamento em Portugal, sem ter em consideração o seu significado e a sua validade para

outras utilizações para além da que foi feita. Por esse motivo, é necessário explanar qual a origem e objectivos da Carta de Capacidade de Uso do Solo e assim aferir a sua utilidade noutros âmbitos:

- As bases para elaboração da CCUS foram estabelecidas por adaptação dos critérios e métodos usados pelo *Soil Conservation Service* do *United States Department of Agriculture* às condições da sua elaboração, ditadas pelas diferenças dos objectivos a atingir, pela natureza das unidades da Carta de Solos, pela escala de trabalho e ainda pela natureza quantitativa dos elementos de trabalho disponíveis;
- A CCUS é uma interpretação da Carta de Solos em que as diferentes unidades são agrupadas de acordo com a sua capacidade de uso;
- A capacidade de uso do solo define-se em função das limitações que as unidades apresentam em relação à sua utilização na produção das culturas agrícolas mais comuns,[4] que não necessitam de condições especiais,[5] durante um período longo de tempo sem sofrerem deterioração;
- As classes são agrupamentos de solos que apresentam o mesmo grau de limitação e/ou riscos semelhantes que afectam o seu uso durante um período de tempo longo, e as subclasses são grupos de solos de uma mesma classe que apresentam a mesma espécie de limitação dominante ou de riscos de deterioração;
- Não foram consideradas limitações resultantes de variáveis climáticas, ao contrário da metodologia desenvolvida pelo *Soil Conservation Service*, nem é considerada a vegetação existente;
- A classificação segundo a capacidade de uso não é um agrupamento de solos, de acordo com o uso mais rentável que se possa fazer da terra;
- Os solos da mesma classe são semelhantes apenas no que respeita ao grau de limitações de uso para fins agrícolas ou aos riscos que estão sujeitos quando agricultados.

[4] Na verdade teve como referência o trigo, e não integra culturas permanentes características da paisagem mediterrânica como o olival ou a vinha.
[5] Como por exemplo o arroz.

9. Estudo parcial 7: Áreas de instabilidade de vertentes

A delimitação das áreas suscetíveis à instabilidade de vertentes baseia-se na avaliação da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes ao nível municipal e deve ser efetuada nas escalas de 1:10.000 ou 1:25.000, respeitando, no mínimo, a sequência de procedimentos metodológicos adotados no diploma referido no Caderno de Encargos. As escarpas naturais são delimitadas e incluídas enquanto áreas de instabilidade de vertentes. Nesta delimitação incluem-se faixas de proteção a partir do rebordo superior e da base, cada uma das quais com largura determinada em função da geodinâmica e dimensão da escarpa e do interesse cénico e geológico do local, a qual deve ser, no mínimo, igual à altura do desnível entre a crista e o sopé.

No Alentejo, as áreas com instabilidade de vertentes correspondem essencialmente a episódios isolados, associados a ocorrências geológicas em situação de relevo acidentado, como escarpas de falha e zonas de montanha.

9.1 Objectivos de proteção

Segundo Gaspar (2004), os tipos de riscos naturais, ambientais e tecnológicos que ocorrem com maior preponderância em Portugal Continental são a perigosidade associada a sismos, maremotos, movimentos de vertente, erosão marinha, cheias e inundações, acidentes industriais e acidentes de transporte de substâncias perigosas. No que diz respeito às áreas de instabilidade de vertentes, o anexo I do DL 166/2008, de 22 de agosto, integra-as na classe "Áreas de Prevenção de Riscos Naturais", onde as principais funções de prevenção para estas áreas são as seguintes:

- Estabilidade dos sistemas biofísicos;
- Salvaguarda face a fenómenos de instabilidade e de risco de ocorrência de movimentos de massa em vertente e de perda de solo; e
- Prevenção da segurança de pessoas e bens.

Assim, do ponto de vista do planeamento territorial a delimitação das áreas de instabilidade de vertentes afigura-se como tarefa fundamental para uma maior objetividade na concretização das funções mencionadas. Neste sentido, a Resolução do Conselho de Ministros

nº 81/2012, de 3 de outubro, e à semelhança dos anteriores diplomas referentes à REN, estabelece a obrigatoriedade para a delimitação das áreas de instabilidade de vertentes.

9.2 Definições

De acordo com o anexo I do DL nº 166/2008, de 22 de agosto, as áreas de instabilidade das vertentes são áreas que, devido às suas características de solo e subsolo, declive, dimensão e forma da vertente ou escarpa e condições hidrológicas, estão sujeitas à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, incluindo os deslizamentos, os desabamentos e a queda de blocos.

A diversidade de definições existentes na comunidade científica para descrever os movimentos em vertentes, é revelador da complexidade inerente a este fenómeno. Contudo, um movimento de vertente é, em geral, um termo utilizado para descrever o movimento em descida, numa vertente, de uma massa de solo, rocha e materiais orgânicos, por influência da gravidade e da própria forma do terreno (Highland e Bobrowsky, 2008). À parte da definição exata para o fenómeno em questão, é tão ou mais importante conhecer e compreender as componentes básicas de um movimento de vertente típico. Assim, a Figura 22 exemplifica um tipo de movimento, neste caso um deslizamento rotacional e as suas principais componentes.

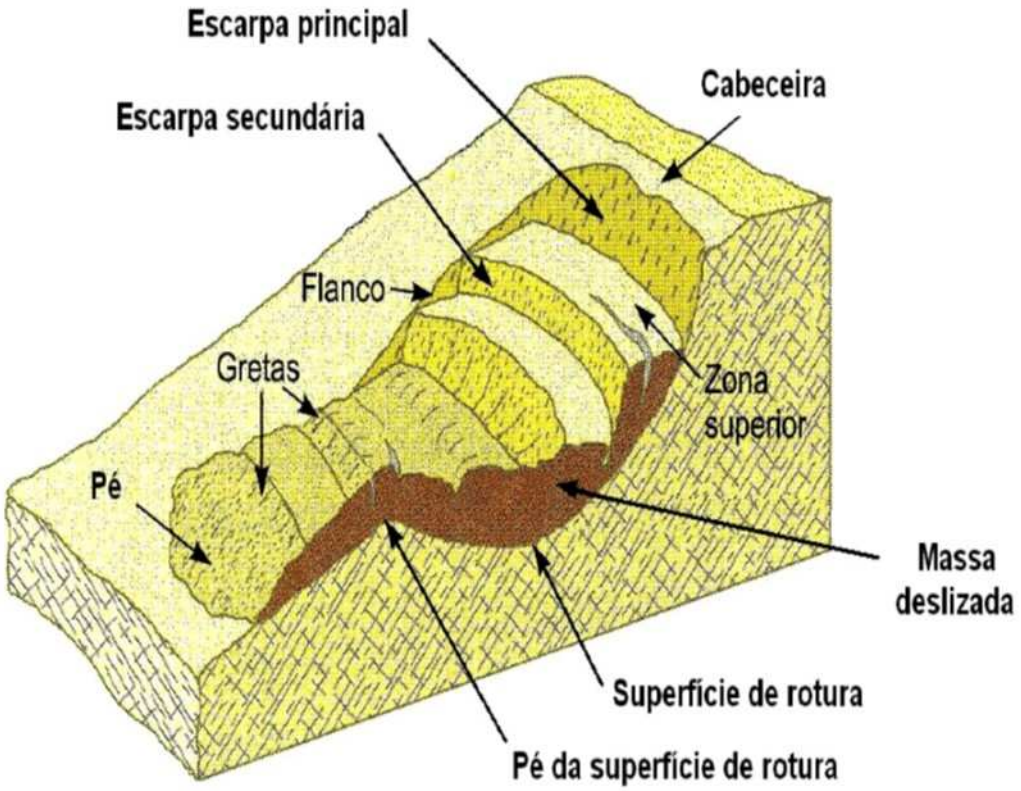

Figura 22. Esquema de um movimento rotacional e suas componentes (adaptado de Varnes, 1978)

A ocorrência de movimentos de vertentes está associada a dois grandes grupos de factores: condicionantes e desencadeantes. O primeiro diz respeito fundamentalmente ao contexto geológico e às características geomorfológicas do local. Estes factores são permanentes e podem retardar ou acelerar o processo de movimento na vertente. Do contexto geológico fazem parte o tipo, as características e a disposição espacial das rochas, a orientação e inclinação das camadas e o grau de alteração e fracturação das camadas rochosas. Das características geomorfológicas destacam-se o declive, a gravidade e a força de atrito, como agentes causadores de movimentos de massa em vertentes. O segundo grupo de factores é muito variado e resulta de alterações que foram introduzidas numa determinada vertente e que podem desencadear movimentos em massa. De entre os mais importantes deste grupo destacam-se a ocorrência de eventos de precipitação elevada, a ação humana por via da destruição do coberto vegetal e remoção de terrenos (para construção, agricultura, etc.), ocorrência de sismos e vibrações e variações de temperatura (contração e dilatação dos materiais rochosos).

A conjugação espácio-temporal destes factores bem como a sua magnitude, determina a ocorrência de diferentes tipos de movimentos em vertente. Assim, segundo a classificação inicialmente proposta por Varnes (1978), existem cinco grandes tipos de movimentos: Deslizamentos (rotacionais, translacionais e de rochas), Desabamento, Balançamentos, Escoadas (de detritos fluida, de detritos, de solo, e de rocha), Expansões laterais e Complexos (Figura 23).

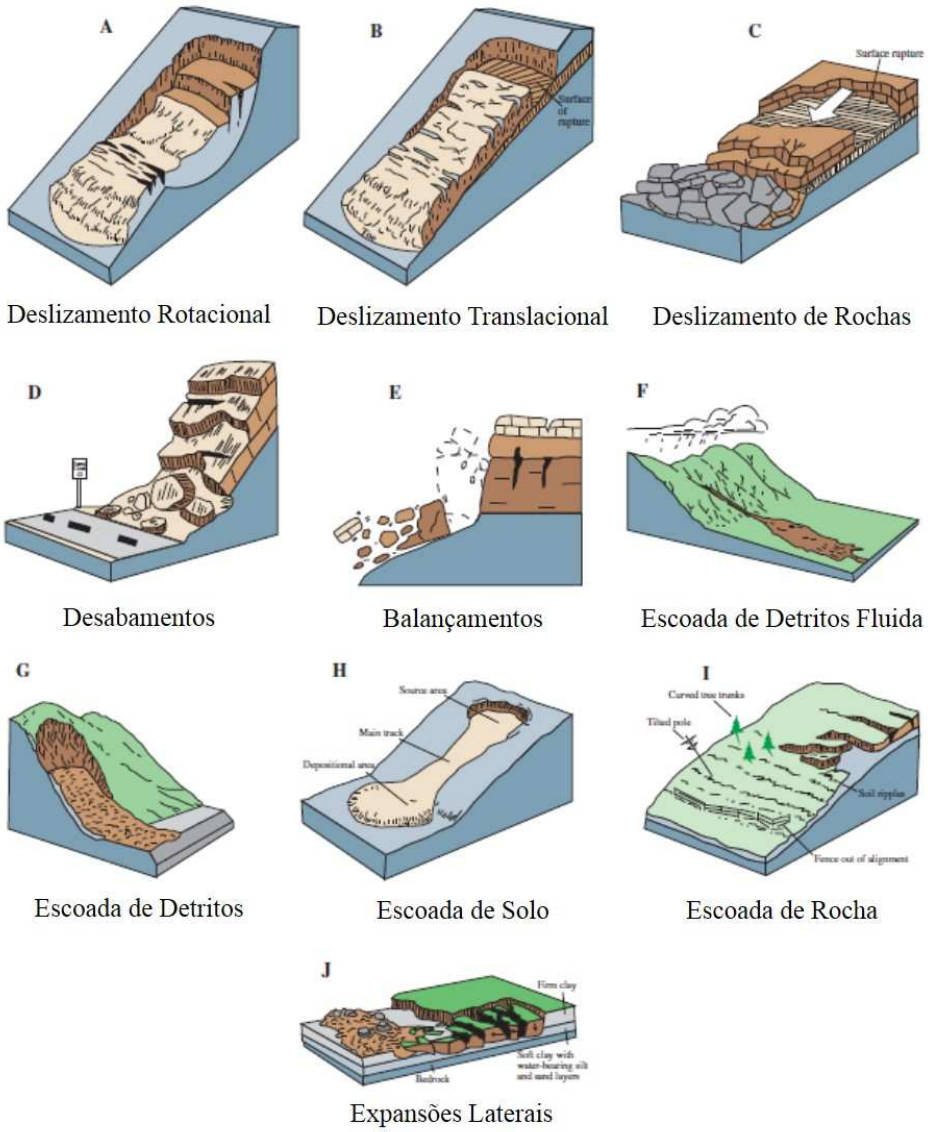

Figura 23. Principais movimentos de vertente (Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008)

9.3 Critérios de delimitação

A delimitação das áreas de instabilidade de vertentes deverá seguir a metodologia proposta pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro. Em concreto, a metodologia aponta para que o modelo de delimitação destas áreas deva ter como informação fundamental o inventário de movimentos de massas em vertentes já ocorridos nas áreas dos municípios em análise. Assim, a delimitação de áreas de instabilidade de vertentes deveria obedecer aos seguintes procedimentos:

- Inventariação, determinação da tipologia e análise dos movimentos de vertente já verificados no território, com recurso a análise de fotografia aérea e ortofotomapas, devidamente validada com trabalho de campo. A avaliação da suscetibilidade deve ser efetuada de modo individualizado para cada tipo de movimento de vertente que tenha incidência relevante no concelho, só sendo aceite o eventual tratamento conjunto quando se demonstre que a análise não resulta distorcida por essa opção. Pela maior importância que assumem no território português, deve ser dedicada uma atenção especial a três tipos de movimentos: desabamentos, deslizamentos e escoadas.
- Identificação e cartografia dos fatores de pré-disposição (condicionantes) responsáveis pelo aparecimento ou aceleração dos movimentos. Os fatores de predisposição da instabilidade das vertentes são estáticos e inerentes ao terreno. Estes fatores condicionam o grau de instabilidade potencial da vertente e determinam a variação espacial da suscetibilidade do território à instabilidade. No procedimento de delimitação das áreas de instabilidade de vertentes devem ser considerados, pelo menos, os seguintes fatores de predisposição: declive, exposição das vertentes, curvatura das vertentes (perfil transversal), litologia e coberto vegetal/uso do solo. Adicionalmente, podem ser utilizados outros fatores relevantes, como é o caso dos solos, formações superficiais, *Wetness Index*, estrutura geológica.
- Interpretação dos fatores com recurso a um modelo estatístico de relação espacial. A ponderação de cada classe de cada fator de predisposição da instabilidade de vertentes deve ser efetuada de forma objetiva e quantificada, através da aplicação do Método do Valor Informativo (Yin e Yan, 1988; Zêzere, 2002) sobre unidades de terreno matriciais (*pixéis*).

Este método tem uma base Bayesiana, sustentando-se na transformação logarítmica (log natural) da razão entre probabilidade condicionada e probabilidade *a priori.* O Valor Informativo (*Ii*) para qualquer variável independente *Xi* é determinado pela equação:

$$Ii = log\ Si\ Ni\ S\ N$$

onde:
Si é o número de *pixéis* com movimentos de massa em vertentes na variável *Xi*; *Ni* é o número de *pixéis* com a variável *Xi* no território concelhio; *S* é o número total de *pixéis* com movimentos de massa em vertentes no território concelhio; e *N* é o número total de *pixéis* no território concelhio.

Devido à normalização logarítmica, *Ii* não é determinável quando *Si* = 0. Nestes casos, o valor de *Ii* deve ser assumido como igual ao *Ii* mais baixo determinado para o conjunto das variáveis de predisposição consideradas.

O valor de suscetibilidade para cada unidade matricial *j* é calculado pelo Valor Informativo total dado pela equação:

$$Ij = i = 0m\ Xij\ Ij$$

onde:

m é o número de variáveis e *Xij* é igual a 1 ou 0, consoante a variável *Xi* está ou não presente no *pixel j*, respetivamente.

De seguida efetua-se a validação do modelo preditivo com a curva de sucesso. A qualidade da carta de avaliação da suscetibilidade à instabilidade das vertentes deve ser demonstrada pela aplicação de procedimentos de validação estandardizados, baseados no cruzamento do inventário de movimentos com a carta de suscetibilidade. Utiliza-se a Taxa de Sucesso, que permite validar o mapa de suscetibilidade a partir do cruzamento com os mesmos movimentos de vertente que foram utilizados para a sua realização. A expressão gráfica da Taxa de Sucesso obtém-se através da representação da percentagem da área de estudo, hierarquizada por ordem decrescente de instabilidade (em abcissas) e a correspondente distribuição acumulada da área instabilizada corretamente classificada (em ordenadas).

Devem integrar-se as vertentes classificadas como mais suscetíveis pela aplicação do Método do Valor Informativo. A área a integrar deve ser a suficiente para garantir a inclusão de uma fração nunca inferior a 70% das áreas identificadas como instabilizadas no inventário referido no primeiro ponto deste subcapítulo. Assim, é expectável que cerca de 30% dos movimentos de massa em vertentes não sejam englobados na REN pelo modelo preditivo baseado na aplicação do Valor Informativo. A superfície correspondente aos movimentos de massa em questão deve ser incluída, acrescida de uma faixa de segurança de 10 m definida para o exterior dos limites de cada movimento.

Contudo, das reuniões de trabalho realizadas com a CIMAC e a CCDR-Alentejo resultou que a existir este tipo de informação não há a garantia de que os dados tenham sido recolhidos/registados com exatidão espacial minimamente credível para que se possa utilizar no processo de modelação proposto pelo RCM n.º 81/2012, de 3 de outubro. Para que o modelo estatístico de relação espacial explanado no RCM possa ter uma utilização cabal e os resultados sejam considerados fiáveis, é importante que o volume de dados sobre ocorrências de movimentos em vertentes seja significativo de modo a ser representativo da realidade do território em estudo.

Tendo em conta que a informação detalhada e sistemática sobre os registos de fenómenos de instabilidade de vertentes ocorridos no distrito de Évora não foi possível de obter, a aplicação da metodologia sugerida foi preterida por uma estratégia alternativa, mas verosímil, para cumprir com este requisito do caderno de encargos.

Assim, considerando que no Alentejo as áreas com instabilidade de vertentes correspondem essencialmente a episódios isolados, associados a ocorrências geológicas em situação de relevo acidentado, como escarpas de falha e zonas de serra, optou-se por seguir a metodologia utilizada no Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo - PROTOVT (CCDRLVT, 2008). A metodologia utilizada neste estudo teve por base a aplicação de um modelo heurístico para a delimitação das áreas de maior Suscetibilidade aos Movimentos de Vertente (SMV) já que não existiam inventários de ocorrência de movimentos de massa para a região. Este modelo sugere o cruzamento dos fatores considerados como sendo os principais condicionantes da instabilidade de movimento de vertentes, nomeadamente a litologia e o declive (Zêzere *et al*., 2005; CCDRLVT, 2008; Henriques, 2009).

9.4 Dados de base e processamento da informação

Com base na metodologia citada anteriormente efetuou-se a agregação das unidades litológicas existentes. Esta agregação teve por base a Carta Geológica de Portugal à escala 1/500.000 dado que a série 1/50.000 não está completa para a totalidade do distrito de Évora. Do processo de agregação litológica resultou um conjunto de oito classes distintas, nomeadamente, Depósitos Superficiais, Rochas Carbonatadas Compactas, Rochas Graníticas e Afins, Rochas Quartzíticas e Afins, Rochas Sedimentares Detríticas, Rochas Sedimentares Plásticas, Rochas Vulcânicas e Rochas Xistentas. Após esta agregação adaptou-se para a realidade litológica do distrito de Évora os Limiares Críticos de Declive (LCD) (Tabela 17), os quais representam o limiar a partir do qual os materiais rochosos passam a ser considerados como formações com susceptibilidade à ocorrência de fenómenos de instabilidade (Zêzere *et al*., 2005; CCDRLVT, 2008; Henriques, 2009).

Classe litológica	Limiar Critico de Declive (º)
Depósitos superficiais	**10**
Rochas carbonatadas compactas	**25**
Rochas graníticas e afins	**25**
Rochas quartzíticas e afins	**25**
Rochas sedimentares detríticas	**15**
Rochas sedimentares plásticas	**10**
Rochas vulcânicas	**20**
Rochas Xistentas	**15**

Tabela 17. Unidades litológicas e limiares de declive

Para o calculo da Carta de Declives (em graus) foi utilizada a altimetria fornecida pela CIMAC. O processamento desta informação foi desenvolvido em ambiente SIG com recurso ao algoritmo *Topo to Raster* implementado no software ArcGIS 10.1 (Hutchinson, 1989) tendo-se gerado uma Carta de Declives com resolução espacial de 10m através do método de Horn (Horn, 1981). O cruzamento destas duas informações gerou um mapa que evidencia as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertentes (Figura 24).

9.5 Resultados

A delimitação das áreas de instabilidade de vertentes para o distrito de Évora, segundo a metodologia anteriormente descrita, permitiu a identificação de situações que suscitam uma preocupação acrescida. Em concreto, as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa surgem maioritariamente concentradas nas zonas da Serras D´Ossa e

Portel onde a litologia xistosa e os declives superiores a 15º se conjugam e lhe conferem uma maior instabilidade.

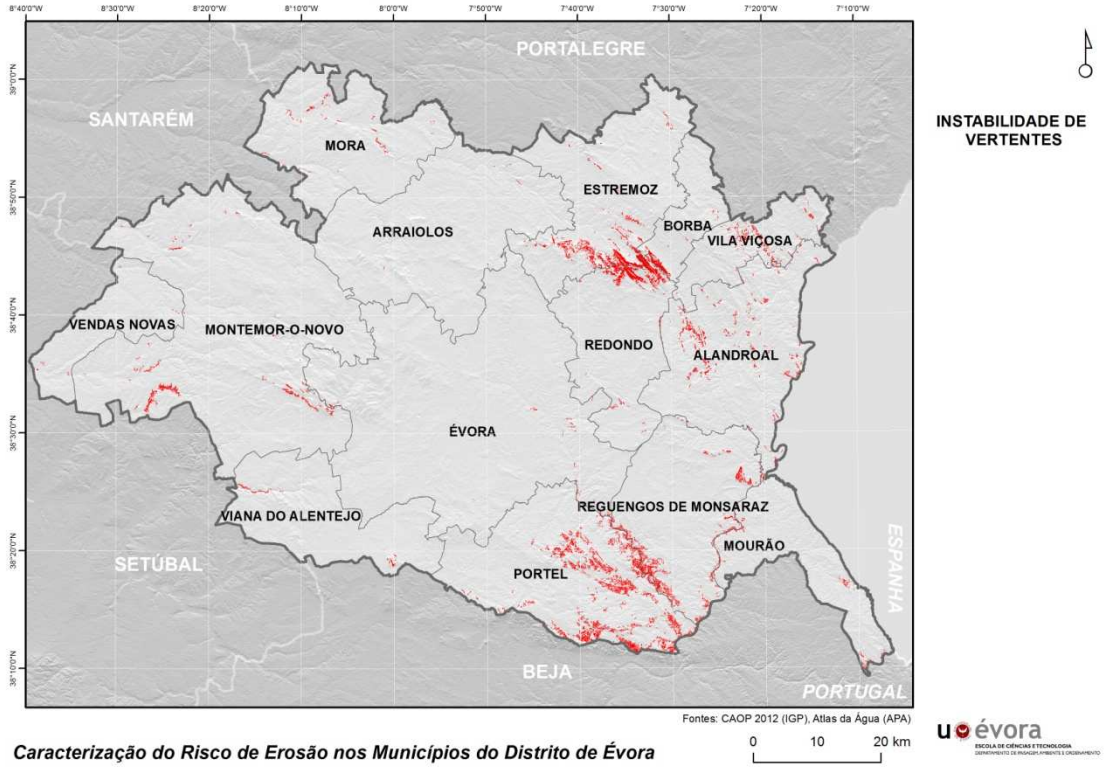

Figura 24. Áreas de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertentes (SMV).

Os resultados obtidos por município podem ser analisados na Tabela 18.

Municípios	Áreas com susceptibilidade elevada à IV
Alandroal	1035,38
Arraiolos	24,46
Borba	327,57
Estremoz	1517,05
Évora	125,76
Montemor-o-Novo	738,78
Mora	260,73
Mourão	363,34
Portel	3859,23
Redondo	1145,02
Reguengos de Monsaraz	1385,03
Vendas Novas	28,70
Viana do Alentejo	120,51
Vila Viçosa	454,66

Tabela 18. Áreas com susceptibilidade elevada à IV, por município

10. Nota final

O relatório elaborado descreve de forma não exaustiva o conjunto de trabalhos efectuado, apresentando como complemento das bases informativas criadas a referência às aproximações metodológicas seguidas e implementadas. As bases informativas criadas e entregues conjuntamente com este documento estão todas concluídas.

A informação final constante nas bases informativas foi objecto de processos de filtragem e generalização com critérios perfeitamente estabelecidos, visando garantir a necessária compacidade e leitura da informação e permitir a sua adequada utilização em processos de ordenamento e gestão do território.

11. Referências bibliográficas

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., e Petty, R. J., 1987. *DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*, U.S. EPA Report.

Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000. Sistemas aquíferos de Portugal Continental. INAG/CG, Lisboa.

Álvares, M. T. P., e Pimenta, M. T., 1998. *Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas*. Proceedings do IV Congresso da Água, Lisboa.

Alves, J. M., Espírito-Santo, M. D., Costa, J. C., Capelo, J., Lousã, M., 1998. *Habitats naturais e seminaturais de Portugal Continental: Tipos de habitats mais significativos e agrupamentos vegetais característicos*. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa.

AMDE, 2006. Delimitação de Perímetros de Protecção das Captações de Água Subterrânea para Abastecimento Público - Concelho De Estremoz. Relatório final, Associação de Municípios do Distrito de Évora.

Bennet, H. H., 1951. *Manual de Conservação do Solo*. Repartição de Línguas Estrangeiras da Secretaria de Estado dos Estados Unidos da América, Rio de Janeiro.

Brazier R.E., Rowan, J.S., Anthony, S.G., Quinn P.F, 2001. "MIRSED" towards an MIR approach to modelling hillslope soil erosion at the national scale. *Catena* 42: 59-79.

Candeias, I.R., Silva, M.L., 1998. *Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e caracterização hidráulica da formação carbonatada de Viana do Alentejo-Alvito*. 4º Congresso da Água, Lisboa.

Canter, L. W., Knox, R. C. e Fairchild, D M., 1987. *Ground Water Quality Protection*. (Michigan: Lewis Publishers).

Cardoso, J., 1965. *Os Solos de Portugal. Sua Classificação, Caracterização e Génese. I – A Sul do Rio Tejo.* (Lisboa: Secretaria de Estado da Agricultura – Direcção Geral dos Serviços Agrícolas).

Cardoso, J., 1974. *A Classificação dos Solos de Portugal. Boletim de Solos*. (Lisboa: Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário).

Cardoso, J., 1984. *A erosão de bacias hidrográficas e o assoreamento de albufeiras*. Dissertação para obtenção do grau de doutoramento.

Carvalho, S., Midões, C., Duarte, P., Orlando, M., Pais Quina, A., Simões Duarte, R., ..., Oliveira da Silva, M., 1998. *Sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim - Estudo dos recursos hídricos aubterrâneos do Alentejo*. 4º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento (Vol. 16).

Carvalhosa, A., Gonçalves, F., Oliveira, V., 1987. Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000 e Notícia Explicativa da Folha 36-D REDONDO. Serviços Geológicos de Portugal. 63 pág.

Carvalhosa, A.B., Zbyzewski, G., 1972. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 – Notícia Explicativa da Folha 40-C, Viana do Alentejo. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos.

CCDRA, 2003. *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA)*. CCDRA, Évora.

CCDRLVT, 2008. Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo. Relatório Sectorial Riscos e Protecção Civil. CCDR-LVT. Lisboa

Chae, Y., e Hamidi, A., 2000. Subsurface Site Investigation. In *Groundwater and Surface Water Pollution*, editado por D. H. F. Liu e B. G. Lipták. (USA: Lewis Publishers).

CIMAC, 2005. Projecto de delimitação de perímetros de protecção das captações de água subterrânea para abastecimento público - Concelho de Estremoz. Relatório final, CIMAC, Évora.

Costa, A. M., 1987. Informação hidrogeológica da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 36-D REDONDO. Serviços Geológicos de Portugal. pp. 48-57.

Costa, J.B., 1993. *Estudo e Classificação das Rochas por Exame Macroscópico*. 8ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Cupeto, C.A., 1991. *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Maciço Calcário de Estremoz (Cano-Sousel)*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia. 180 pp.

Dercourt, J., Paquet, J., 1986. *Geologia – Objectos e Métodos*. Livraria Almedina, Coimbra.

Doerfliger, N., Zwahlen, F., 1997. EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment, *in* Gunnay G, Jonshon AI (eds), *International Symposium and Field seminar on karst waters and environmental impacts*, Antalya, Turkey, Balkema, Rotterdam, pp. 117 -123.

DSF, 1974. *Classificação, protecção e utilização das albufeiras de águas públicas (nos termos do Decreto-Lei n.º 502/71)*. Direcção dos Serviços Fluviais, Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos, Ministério do Equipamento Social e do Ambiente, Lisboa.

Duijvenbooden, W., e Wargeningh, H. G., 1987. *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*. Proceedings da International Conference Held in the Netherlands (Delft: TNO Committee on Hydrological Research).

Ferreira, A.G., Neves, N., Gonçalves, A.C., 2011. *Reserva Ecológica Nacional: critérios para a delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo (decreto-lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto)*. Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Universidade de Évora.

Ferro, V., Giordano, G., Iovino, M., 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrological Sciences Journal* 36(6): 549-564.

Flanagan, D.C., 1994. *Water erosion prediction project: Erosion Prediction Model*. NSERL, report n.º 9,USDA-ARS, National Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, USA.

Fonseca, R., e Barriga, F. J. S., 2003. *Dos Solos para os Lagos Artificiais: Transformações Mineralógicas e Químicas dos Materiais Depositados*. [CD-Rom] Proceedings do VI Congresso Nacional de Geologia. (Lisboa: UNL)

Foster, S. e Hirata, R. (1993). *Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas.* Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente, Boletim do Instituto Geológico, n.º **10**.

Francès, A. P., e Paralta, E. A., 2001. *Utilização de Aplicações Informáticas em Cartografia Ambiental e Análise de Sistemas Hidrogeológicos*. Actas do Seminário A Hidroinformática em Portugal (Lisboa, LNEC).

Francischetti (2004). *Remoção de Metais Pesados e Efluentes Líquidos Através de Filtração Adsortiva*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de santa Catarina, Florianópolis.

Freeze, R. A. e Cherry, J. A., 1979. *Groundwater* (New Jersey: Prentice Hall).

Galeti, P. A., 1976. *Conservação do Solo – Reflorestamento e Clima*. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, São Paulo.

Gaspar, J. (coord.), 2004. *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, 3º Relatório – Transformações na ocupação do território: retrospectiva e tendências. Vol. III. Recursos naturais, Ambiente, Património e Riscos*, MCOTA, DGOTDU, Lisboa.

Gonçalves, F., Coelho, A.V., 1974. *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 36-B ESTREMOZ*. Serviços Geológicos de Portugal. 64 pág.

Gonçalves, F, Zbyszewski, G., Coelho, A.V., 1975. *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 32-D SOUSEL*. Serviços Geológicos de Portugal. 49 pág.

Guiomar, N., Batista, T., Fernandes, J.P., Cruz, C.S., 2009. *Corine Land Cover nível 5: contribuição para a carta de uso do solo em Portugal Continental*. AMDE, Évora.

Guisan A, Zimmermann NE (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol Model 135: 147-186.

Henriques C. S., 2009. Dinâmica de vertentes no contexto da reserva ecológica nacional: o caso de estudo do concelho das Caldas da Rainha. Tese de mestrado em sistemas de informação geográfica e modelação territorial aplicados ao ordenamento. Departamento de geografia. Faculdade de letras. Universidade de Lisboa.

Hickey, R., 2000, Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, v. 29, no. 1, pp. 1 - 8.

Hickey, R, Smith, A., e Jankowski, P., 1994, Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID: *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 18, no. 5, pp. 365 - 380.

Highland, L.M., & Bobrowsky, P., 2008. The landslide handbook - A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.

Horn, B.K.P., 1981. Hill shading and the reflectance map. P. IEEE 69, 14-47.

Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. J. Hydrol. 106, 211-232.

INAG, 1994. Domínio público hídrico: Conceitos e normas. Instituto da Água, Lisboa.

INAG, 2000. *Identificação dos Sistemas de Abastecimento de Água com Origens Subterrâneas (Distrito de Beja)*. SNIRH, DSRH/INAG, Lisboa.

INAG, 2005. *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. (URL: http://snirh.inag.pt/, consulta em: 12-05-2005).

Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991. *O Clima de Portugal - Normais Climatológicas da Região de Alentejo-Algarve Correspondentes a 1951-1980*. Fascículo XLIX. Volume 4. 4ª Região (Lisboa: INMG).

Jenson S.K., Domingue, J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(11): 1593-1600.

Kabacoff, R.I. 2011. R in Action. Data analysis and graphics with R. Manning Publications Co. 477p.

Knox, R. C., Sabatini, D. A e Canter, L. W., 1993. *Subsurface Transport and Fate Processes*. (Florida: Lewis Publishers).

Leitão, T., Barbosa, A. E., e Telhado, A., 2005. *Proposta de uma Metodologia para a Identificação de Zonas Hídricas Sensíveis aos Poluentes Rodoviários*. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora.

LNEC, 2004. *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas*. 3º Relatório – Proc. 0607/1/14666, Núcleo de Águas Subterrâneas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Lisboa.

Lobo-Ferreira, J. P. C., 1983. *Introdução à contaminação de águas subterrâneas.* Informação Técnica, LNEC, Lisboa.

Lobo-Ferreira, J. P. C., 1998. *Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para uma melhor Gestão e Protecção dos Aquíferos de Portugal*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).

Lobo-Ferreira, J. P., Oliveira, M. M., e Ramos, C. 2002. *Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Montemor-o-Novo utilizando o método DRASTIC*. Relatório 46/02 – GIAS, LNEC, Lisboa.

Midões, C., 1999. *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico das formações carbonatadas Paleozóicas do Anticlinal de Estremoz*. Dissertação apresentada à Universidadede Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Lisboa. 155 pp.

Midões, C.P., da Costa, A.M., 2009. *Sistema aquífero Estremoz-Cano*. Sessão de debate: Águas Susbterrâneas.

Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., & Iverson, L. R., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, *10*(5), 629-641.

Mitchell, J.K., Bubenzer, G.D., 1980. Soil loss estimation. Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C. (eds.) *Soil erosion*. John Wiley and Sons Ltd.

Neves, N., Ferreira, A.G., Gonçalves, A.C., Cancela d'Abreu, A., Ramos, I.A., Freire, M., Guiomar, N., 2011. *Erosão Hídrica Estrutural – EHE: Descrição de processos de modelação geográfica*. Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Universidade de Évora.

Neves, N., Freire, M., Guiomar, N., Duarte, L., 2011. Nova métrica focal do acidentado do terreno: avaliação dos efeitos de escala e de contexto. *In* Santos, N., Cunha, L., *Trunfos de uma geografia activa. Desenvolvimento local, ambiente, ordenamento e tecnologia*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 671-679.

Neves, N., Freire, M., Guiomar, N., Madeira, L., Ramos, I.A., Cancela d'Abreu, A., 2010. *Reserva Ecológica Nacional: esquema nacional de referência*. Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Universidade de Évora.

Nicolau, M. R. R. C., 2002. *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial de Precipitação: Uma Aplicação a Portugal Continental*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Oliveira, M. M., 2001. *A Estimativa da Recarga das Águas Subterrâneas a partir da Decomposição de Hidrogramas de Escoamento Superficial: O Programa de Computador DECHIDR_VB.VBP*. Actas do Seminário A Hidroinformática em Portugal (Lisboa, LNEC).

Oliveira, M. M., 2004. *Aplicação de Dois Métodos Diferentes para a Estimativa da Recarga de Águas Subterrâneas numa Área de Estarreja*. Proceedings do 7º Congresso da Água (Lisboa: APRH).

Oliveira, M. M., e Lobo-Ferreira, J. P., 1998. *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).

Oliveira, M. M., e Lobo-Ferreira, J. P., 2003. Análise de Sensibilidade da Aplicação de Métodos Indexados de Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas. Jornadas Luso-Espanholas sobre Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica, Faro.

Oliveira, M. M., Lobo-Ferreira, J. P. e Moinamonte, M. J., 1996. *Avaliação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos superficiais da faixa costeira de Portugal Continental utilizando o método DRASTIC: Caracterização dos parâmetros DRASTIC.* 3º Congresso da Água, VII Silubesa, Lisboa, pp. 147-156.

Oliveira, M. M., Moinamonte, M. J., e Lobo-Ferreira, J. P., 1997. *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC.* Relatório 60/97-GIAS, LNEC, Lisboa.

Paralta, E. A., e Francès, A. P., 2000. Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição do Complexo Gabro-Diorítico de Seroa-Brinches: Sector Oriental do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja. *Geonovas*, n.º 14, 27-35.

Paralta, E. A., Francès, A. P., e Ribeiro, L. F., 2005. *Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica das Redes de Monitorização no Contexto da Directiva da Água*. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (Évora: APRH).

Pimenta, M. T., 1998b. *Directrizes para a Aplicação da Equação Universal da Perda de Solos em SIG*. INAG, Lisboa.

Pimenta, M. T., 1998a. *Caracterização da Erodibilidade dos Solos a Sul do Rio Tejo*. INAG, Lisboa.

Pimenta, M.T., 1999. Diretrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. Fator de Cultura C e Fator de Erodibilidade do Solo K. INAG, Lisboa.

Pinho, R., Lopes, L., Leão, F., Morgado, F., 2003. *Conhecer as plantas nos seus habitats*. Plátano Edições Técnicas, Lisboa.

Plant, R., 2012. Spatial Data Analysis in Ecology and Agriculture Using R. CRC Press. 648p.

Ribeiro, L., 2005. Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos à contaminação: Formulação e Aplicações, *Atas do 7.º SILUSBA*, APRH, Évora, 15 pp.

Ribeiro, N. A., Dias, S. S., Surový, P., Gonçalves, A. C., Ferreira, A., Oliveira, A. C., 2004. The importance of Crown Cover on the Sustainability of Cork Oak Stands: A Simulation Approach. *In* S. Schnabel e A. Ferreira (Eds.), *Sustainability of Agrosilvopastoral Systems – Dehesas, Montados*, Catena Verlag, Reiskircjen.

Russel, J. B., 1994. *Química Geral*. (2ª Edição) (São Paulo:McGraw Hill)

Soil Conservation Service 1972. National engineering handbook, Section 4, Hydrology, U. S. Department of Agriculture.

SROA, 1960. *Carta dos solos e carta de capacidade de uso do solo de Portugal*. Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, Secretaria de Estado da Agricultura, Ministério da Economia, Lisboa.

Temez, J. R., 1978. Calculo hidrometeorologico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, Direccion General de Carreteras, Madrid.

Tomás, P.M.P.P., 1997. *Modelos de previsão da erosão hídrica em solos agrícolas*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Todd, D. K., 1959. *Hidrologia de Águas Subterrâneas*. (São Paulo: Editora Edgard Blücher).

Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

Vermeulen, H., Lobo-Ferreira, J. P., e Oliveira, M. M., 1994. A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping. *Proceedings of the Second European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management* (Rotterdam: European Water Resources Association) pp. 275-282.

Wahba, G., 1990. *Spline models for observational data*. Paper presented at CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

Wischemeier, W.H., Smith, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture in Cooperation with Agriculture Experiment Station, Supersedes Agriculture Handbook n.º 282.

World Health Organization, 1987. *Groundwater Pollution Risk Assessment: A methodology Using Available Data*. World Health Organization, Pan American Health Organization.

Yin, K. L., Yan, T. Z., 1988. Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In Bonnard, C. (Ed.), Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, 2, Balkema, Rotterdam, pp. 1269-1272.

Zêzere J. L., 2002. Landslide susceptibility assessment considering landslide typology - A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 1/2: 73 -82.

Zêzere, J., Pereira, A.R., Morgado, P., 2005. Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal continental. Actas do X Colóquio Ibérico de Geografia. Associação Portuguesa de Geógrafos. APG. Instituto de Ciências Sociais. ICS. Lisboa.