



REPÚBLICA
PORTUGUESA

GABINETE DA SECRETÁRIA DE ESTADO
DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO
E DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

Alta Maria Afonso
4/ levantamento e/s = Na fides

SEOTCN - Of. N.:759
Data:15-05-2017
13.00.11.

14.05.2017
FERNANDA DO CARMO
DIRETORA-GERAL

DGT
E-DGT/2017/2993
16-05-2017

Exma. Senhora
Dra. Fernanda do Carmo
Diretor-Geral do Território
Rua Artilharia Um, 107
1099-052 Lisboa

SUA REFERÊNCIA

SUA COMUNICAÇÃO DE

NOSSA REFERÊNCIA

DATA

ASSUNTO: Orientações estratégicas de âmbito nacional e regional para a delimitação da REN

Cara Fernanda do Carmo,

Encarrega-me a Senhora Secretária de Estado do Ordenamento do Território e Conservação da Natureza de enviar a V. Exa. cópia do ofício n.º 138/PDRT, de 10-04-2017, da Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo, relativo ao assunto mencionado em epígrafe, para ponderação no âmbito dos trabalhos em curso na Comissão Nacional do Território sobre a alteração ao regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

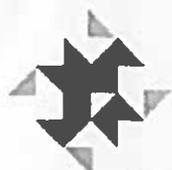
Tal como oportunamente comunicado pela Senhora Secretária de Estado do Ordenamento do Território e da Conservação da Natureza na audiência realizada com a Comunidade Intermunicipal do Alentejo Central sobre o mesmo assunto, na qual participou a Senhora Diretora-Geral do Território, a alteração ao referido regime jurídico terá de acautelar os trabalhos já desenvolvidos pelos municípios, não envolvendo qualquer onerosidade ou morosidade injustificadas nos procedimentos de delimitação da Reserva Ecológica Nacional.

Com os melhores cumprimentos, *e stima,*

A Chefe do Gabinete

Ana Isabel Marrana

Anexos: Doc. Cit.
CG/LF



comunidade intermunicipal
do **Alto Alentejo**

Exma. Senhora Secretária de
Estado do Ordenamento do
Território e da Conservação da
Natureza
Rua de "O Século" n.51
1200-433 LISBOA

Sua Referência	Sua Comunicação de	Nossa Referência	Data
		138/PDRT	2017-04-10

ASSUNTO: Orientações estratégicas de âmbito nacional e regional para a delimitação da REN

Exma. Sra. Secretária de Estado,

A Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo há semelhança de outras CIM's do Alentejo, contratou o estudo "*Delimitação da Reserva Ecológica Nacional para 9 municípios do Alto Alentejo*", no decorrer de 2015, para os municípios de Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Gavião, Ponte de Sor e Sousel de acordo com o estipulado pela Resolução do Conselho de Ministros nº81/2012 de 3 de Outubro.

A metodologia proposta pela Universidade de Évora, a quem foi adjudicado o estudo, foi apresentada e discutida com a CCDRA Alentejo, a CCDR Lisboa e Vale do Tejo e com a APA (ARH) no início do processo e sempre acompanhada por estas entidades.

Estes municípios acima mencionados estão a utilizar esta informação, no seu todo ou em parte, para as propostas de delimitação da REN.

Os municípios assumiram que os elementos resultantes do estudo por eles suportado conteriam grande parte dos trabalhos necessários para a elaboração de uma proposta de delimitação da REN.

Existem neste momento municípios a preparar o processo de revisão de PDM e consequentemente irão apresentar nova proposta de delimitação da REN com base nos resultados do estudo promovido por esta CIM.

Recentemente, a CIMAA foi informada pela CCDR Alentejo que as Orientações Estratégicas de âmbito nacional e regional para a delimitação da REN estariam a ser alteradas, nomeadamente as fórmulas de cálculo.

Esta modificação irá implicar, para os municípios do Alto Alentejo, que não possam utilizar o todo ou parte dos estudos já elaborados e consequentemente implicará mais custos monetários e de tempo para que um novo estudo e para que a fórmula de cálculo seja refeita.

Caso se mantenha esta posição, as consequências são gravosas uma vez que implicará uma revisão de resultados já obtidos em resultado das orientações das entidades de acompanhamento, sendo que os trabalhos foram contratados tendo por base essas orientações. Qualquer alteração à metodologia implicará os prazos para a execução da mesma no caso das revisões em curso dos PDM, uma nova análise crítica dos resultados e os custos acrescidos.

Face ao exposto, solicita-se a V.Ex.^a que as alterações a introduzir não afetem os municípios que integraram o presente estudo, dado o seu impacto nos processos de delimitação já consolidados e em curso e nos que serão iniciados em breve prazo, designadamente no que se refere aos prazos e custos financeiros.

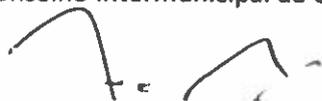
Dos Municípios que integraram o presente procedimento de revisão da REN, mencionados no início do presente ofício, é importante referir que o Município de Castelo de Vide já tem realizadas as reuniões técnicas de validação com a APA e CCDR. Não obstante, os restantes municípios nomeadamente Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Crato, Gavião, Ponte de Sor e Sousel terão o respetivo processo de alteração da REN em fase de submissão para validação no curto espaço de tempo.

Ficamos disponíveis para qualquer esclarecimento adicional bem como para o agendamento de uma reunião para discussão do presente assunto.

Junto se anexa o Relatório relativo à Delimitação da Reserva Ecológica Nacional para nove municípios do Alto Alentejo.

Com os melhores cumprimentos,

O Presidente do Conselho Intermunicipal da CIMAA



Dr. Nuno Mocinha

**“Delimitação da Reserva Ecológica Nacional
para 9 municípios do Alto Alentejo – Execução
Técnica dos Trabalhos / Coordenação
Científica”**

Relatório Final

Equipa:

Nuno de Sousa Neves (coordenação)

Isabel Joaquina Ramos (coordenação)

Nuno Gracinhas Guiomar (coordenação executiva)

Sílvia Araújo Faria



Agosto de 2016

Documento Confidencial

Índice

Índice.....	2
1. Enquadramento e objetivos do estudo	3
2. Enquadramento geográfico	4
3. Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km ²	5
4. Carta de lagoas e lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção.....	7
5. Carta de albufeiras e respetivas faixas de proteção, no mínimo de 100m de largura.....	8
6. Carta de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos	10
6.1 Breve caracterização dos sistemas aquíferos existentes na área de estudo.....	11
6.2 Metodologia para avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos.....	14
6.2.1 Índice de susceptibilidade (aquíferos porosos).....	15
6.2.2 Índice de vulnerabilidade EPIK	20
6.3 Resultados da aplicação dos índices de vulnerabilidade.....	22
6.4 Integração das aluviões	24
7. Carta de zonas ameaçadas pelas cheias.....	27
7.1 Definição metodológica geral	28
7.2 Análise SWAMP (<i>Structural Water Accumulation Modelling Prediction</i>).....	29
7.3 Resultados.....	31
8. Carta de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	34
8.1 Metodologia adotada para a quantificação da perda de solo	35
8.1.1 Fator de erosividade da precipitação	37
8.1.2 Fator de erodibilidade do solo	38
8.1.3 Fator fisiográfico.....	39
8.1.4 Fator relativo ao coberto vegetal	40
8.1.5 Fator antrópico.....	40
8.1.6 Cálculo do risco de erosão	41
8.2 Resultados da aplicação do modelo adotado	42
9. Carta de áreas de instabilidade de vertentes	46
9.1 Definições	46
9.2 Critérios de delimitação.....	48
9.3 Dados de base e processamento da informação	51

9.4 Resultados.....	52
10. Nota final	53
11. Referências bibliográficas.....	54
12. Anexo – Bases informativas.....	62

1. Enquadramento e objetivos do estudo

O relatório que se apresenta descreve as tarefas efetuadas no âmbito do cumprimento do contrato celebrado relativo à aquisição de serviços para “Delimitação da Reserva Ecológica Nacional para 9 municípios do Alto Alentejo – Execução Técnica dos Trabalhos”, levadas a cabo pela empresa Mobnetics, Sistemas de Informação Lda., bem como dá cumprimento ao contrato relativo à aquisição de serviços para “Delimitação da Reserva Ecológica Nacional para 9 municípios do Alto Alentejo – Coordenação Científica”, da Responsabilidade da equipa da Universidade de Évora.

O presente relatório contém a descrição metodológica, os resultados obtidos e uma ilustração de um conjunto de elementos cartográficos (cujas bases informativas digitais constituem anexo a este documento), dos “Elementos Fundamentais” elaborados à escala 1:25.000:

- Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km²;
- 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

Os estudos elaborados incidiram sobre 9 municípios do Distrito de Portalegre (Figura 1): Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Gavião, Ponte de Sor e Sousel.

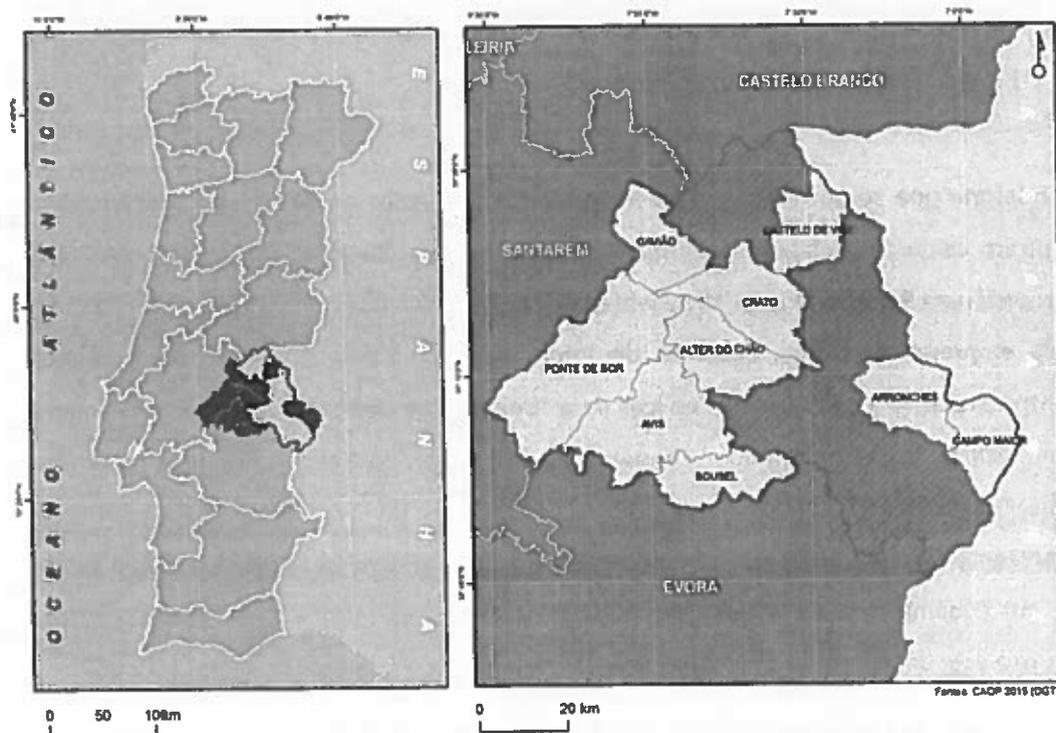


Figura 1. Área de estudo

3. Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km²

A definição espacial dos elementos a integrar na carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km² assentou numa 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 utiliza uma aproximação baseada numa técnica interpolativa iterativa (*Iterative Finite Difference 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;
- Geração de bacias hidrográficas a partir de cada célula final de curso de água imediatamente antes da intersecção com curso de água (ou secção de curso de água) de nível superior. A classificação final de bacias a incluiu uma verificação de área, em conformidade com o estabelecido pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, sendo agregadas, pelo método da maior fronteira partilhadas, todas as pequenas áreas não incluídas na classificação inicial.

Todas as análises efectuadas sobre bases matriciais utilizaram por base de modelação final um modelo digital de elevações com uma resolução de 10 Metros, obtido a partir dos dados altimétricos, isolinhas e pontos cotados, da cartografia 1:10 000 fornecida pela CIMAA.

Dadas as características da base geográfica de hidrografia não era possível a sua utilização na geração do modelo digital de elevações – direccionamento de linhas, continuidade, diferentes metáforas de representação, pelo que se optou, depois de uma aturada análise de qualidade final, por utilizar esta base geográfica apenas na verificação e edição final das tipologias em que tal se afigurava adequado.

Após a implementação de procedimentos constantes no modelo geográfico definido, os resultados encontram-se representados na Figura 2.

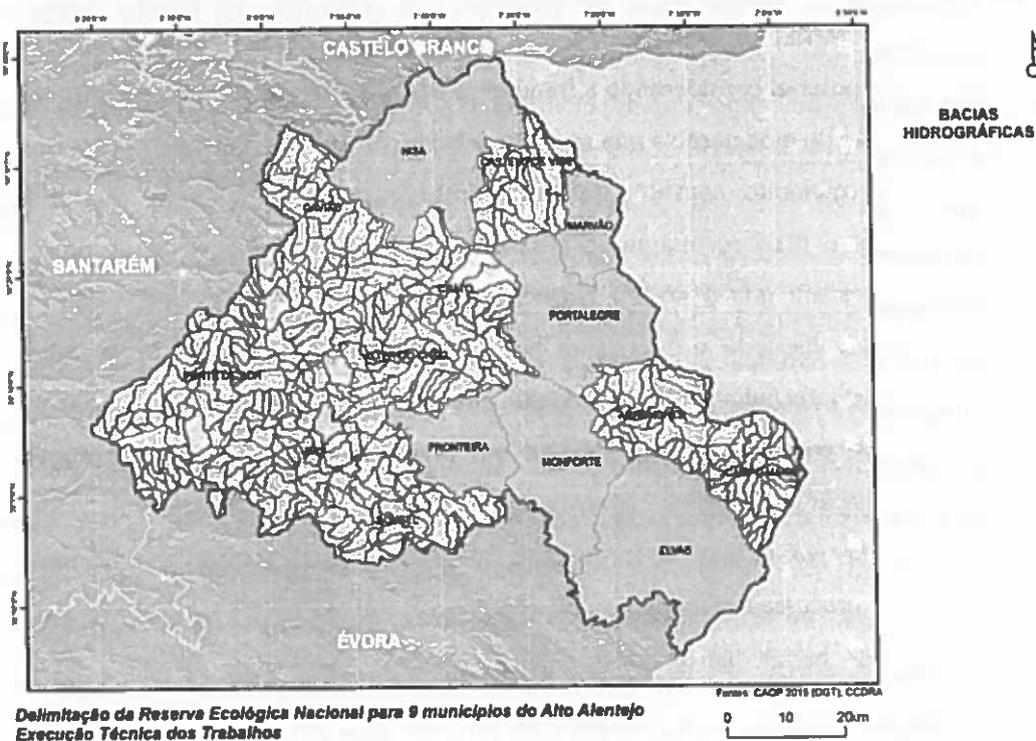


Figura 2. Bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km²

4. Carta de lagoas e lagos e respetivos 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 analisadas 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. Não se encontram elementos na área de estudo com estas características.

5. Carta de albufeiras e respetivas 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 abastecimento de populações, mesmo que sejam igualmente 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 de 15 de fevereiro de 1937 e do Decreto-Lei 42665 de 20 de novembro de 1959;
- As albufeiras cujas águas se destinam à produção de energia em centrais hidroelétricas 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.

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 do Decreto-Lei nº. 107/2009 e Portaria n.º 522/2009, de 15 de maio, na redação atual, e as que tenham uma capacidade superior ou igual

a 100.000 m³. Os pequenos aproveitamentos hídricos, com capacidade inferior, são considerados cursos de água.

A faixa de proteção inclui a margem, 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 seleção das albufeiras a integrar teve em consideração as estruturas já aprovadas nas respetivas REN em vigor e no disposto nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica.

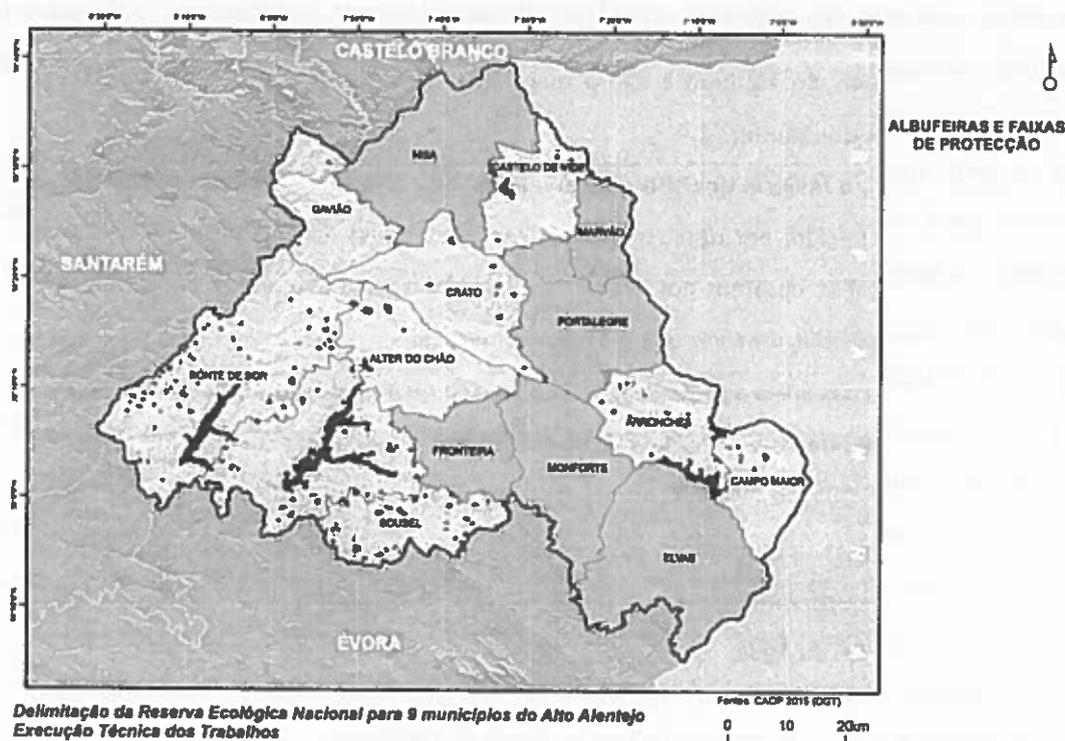


Figura 3. Albufeiras e respetivas faixas de proteção

MUNICÍPIOS	ALB (REN)	ALB	FPA (REN)	FPA	ALB+FPA (REN)	ALB+FPA	VAR
Alter do Chão	102,21	149,69	i/d	214,85	i/d	364,54	-
Arronches	918,66	798,16	718,74	648,74	1637,40	1446,90	-190,50
Avis	1883,41	2028,99	1724,20	2207,30	3607,61	4236,29	628,68
Campo Maior	0	225,77	358,68	179,70	358,68	405,47	46,79
Castelo de Vide	260,94	180,42	173,84	244,26	434,78	424,68	-10,10
Crato	95,64	61,25	i/d	151,45	i/d	212,70	-
Gavião	i/d	3,23	i/d	24,69	456,51	27,92	-428,59
Ponte de Sôr	1555,16	1780,87	1023,78	1534,23	2578,94	3315,10	736,16
Sousel	i/d	215,01	i/d	540,97	354,68	755,98	401,30

i/d: impossível de determinar (ausência de informação nos dados geográficos publicados pela CCDRA)

Todos os valores de área estão em ha

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

6. 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.

A delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos não incide sobre as águas hidrominerais, tratando-se 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.

As análises efectuadas consideraram a localização dos sistemas aquíferos / massas de água subterrânea no contexto dos sistemas de drenagem existentes na área de estudo, enquanto elementos fisiográficos de natureza biofísica e não administrativa, naturalmente com influência e significado na definição de tipologias REN nos municípios envolvidos.

6.1 Breve caracterização dos 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.

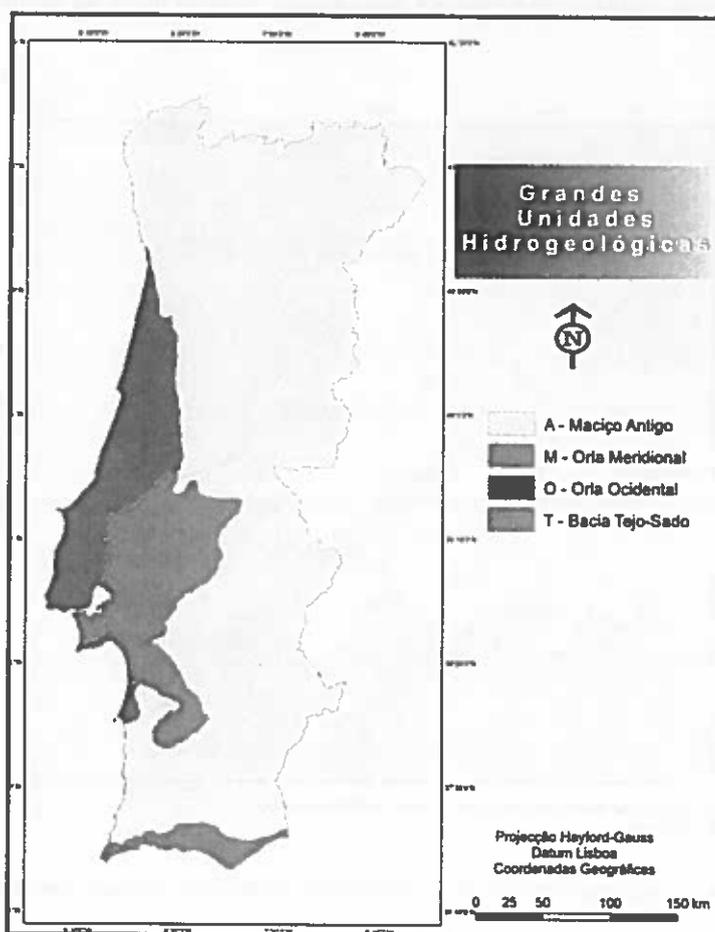


Figura 4. Grandes Unidades Hidrogeológicas (Fonte: SNIRH/INAG)

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 Portalegre 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 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 dos seguintes aquíferos: Escusa, Monforte-Alter do Chão, Estremoz-Cano 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.

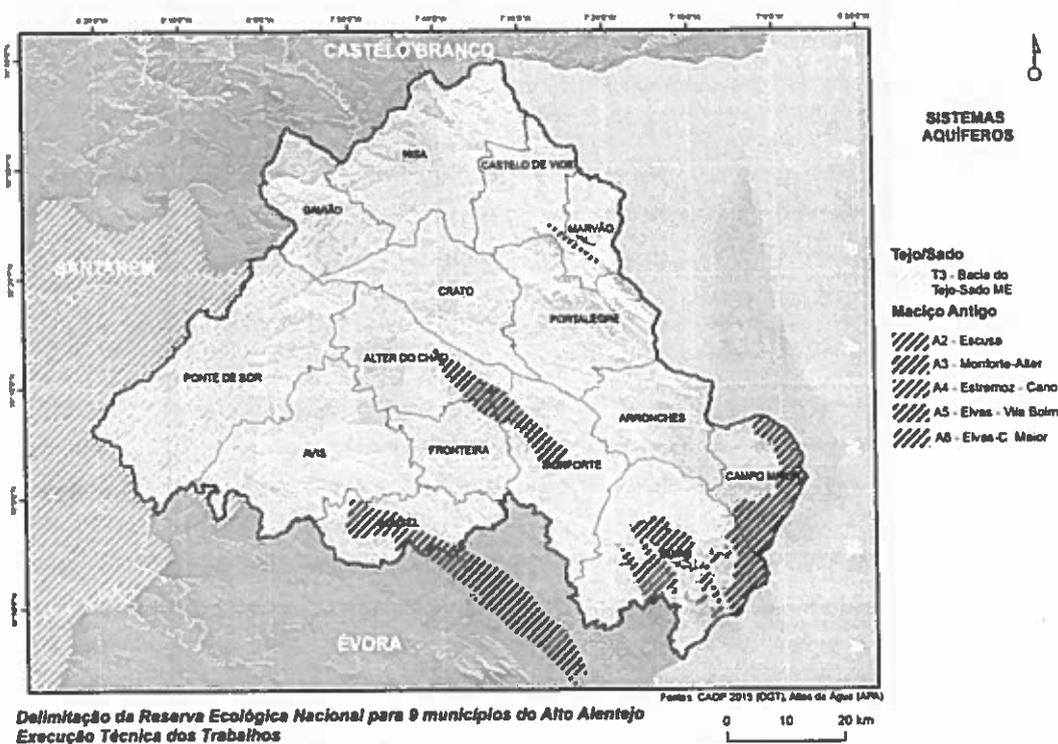


Figura 5. Enquadramento dos principais sistemas aquíferos no distrito de Portalegre

A caracterização que se apresenta dos aquíferos que intersectam os limites do Distrito de Portalegre, constituem um resumo do trabalho efetuado por Almeida *et al.* (2000) para Portugal Continental.

O sistema aquífero da Escusa é um sistema cársico que tem aproximadamente 7,7 km². A circulação ocorre não só nos blocos rochosos como também nas discontinuidades que os compartimentam, apresentando porosidade dupla, com conexão hidráulica entre os diferentes conjuntos de blocos. As formas exocársicas são pouco desenvolvidas, não se conhecendo dolinas. Contudo, há registo de abatimentos provocados pelo colapso de cavidades endocársicas (Monteiro, 1993). A recarga faz-se por infiltração direta quer da precipitação, que cai diretamente nos calcários e dolomitos, quer em consequência da escorrência superficial que ocorre das outras formações envolventes, menos permeáveis, e que se infiltra quando

atinge o contacto com as formações mais permeáveis. Nas zonas com depósitos de cobertura, ocorre a infiltração da água nestas formações dando origem a nascentes que por sua vez vão recarregar linhas de água influentes (e.g. nascentes de Água Formosa e da Atalaia, situadas a sudoeste da povoação de Escusa; Monteiro, 1993).

O sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão, com cerca de 98 km², tem como suporte a formação carbonatada e o complexo básico de Alter do Chão-Cabeço de Vide. Contudo, para efeitos de área de recarga, apenas se consideram 69 km², que corresponde sensivelmente à área de afloramento da formação carbonatada e dos gabros. Trata-se de um sistema livre, com características de cársico/fissurado, nos calcários, e de fraturado, nos gabros. A circulação subterrânea parece estar fortemente influenciada pela fracturação que afeta as formações, apesar de entre os calcários e os gabros não haver diferença de comportamento. A recarga é feita pela precipitação que cai diretamente sobre as formações aquíferas. Este sistema aquífero constitui o único suporte de abastecimento de água às populações de Alter do Chão, Alter Pedroso, Cabeço de Vide, Vaiamonte e Monforte.

O sistema aquífero Estremoz-Cano, com área total de 202 km², 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 pliocénicas 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 km² 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 lapíás, 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 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 (aquíferos e aquíferos), 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)

O método DRASTIC desenvolvido por Aller *et al.* (1987) tem sido amplamente aplicado para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas. 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 obtém-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 respetivo 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, enquanto os menos importantes peso 1.

O índice DRASTIC obtém-se através da seguinte expressão:

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

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 escoia 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 reta de correlação da recarga (R) sobre a precipitação (P), determinada para casos estudados de formações xistosas e graníticas do Maciço Antigo Português. 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.

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 $80 \leq NC < 90$:

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

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

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:

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

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

$$I_s i = P_i - E_s i$$

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

$$R = P - E_s - ETR$$

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:

$$\text{Recarga} = P - E_s - ETR \pm \Delta S$$

em que P é a precipitação, E_s é o escoamento superficial, ETR é a evapotranspiração real e ΔS é a variação do conteúdo de humidade do solo. Na Tabela 2 estão os valores que devem ser utilizados na reclassificação dos parâmetros D e R , depois de estimados os seus valores.

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 ; Tabela 3) 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» glacial	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 ; Tabela 4) 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). Consta-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 (Tabela 5). 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	
70-80	Elevada
60-70	Moderada a alta
50-60	Moderada a baixa
40-50	Baixa
30-40	Muito baixa
< 30	

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 de Escusa, Monforte-Alter do Chão, Cano-Estremoz e Elvas-Vila Boim 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 (Tabela 6): 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
Cobertura de proteção: Espessura do solo acima do aquífero cársico		
P1	0 cm -20 cm	1
P2	20 cm -100 cm	2
P3	1 m -8 m	3
P4	> 8m	4
Condições de infiltração		
I1	Cursos de água de carácter 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
Rede cársica: grau de desenvolvimento		
K1	Moderado a muito desenvolvido	1
K2	Fraco	2
K3	Aquíferos sem carsificação	3

Tabela 6. Valores de referência para os parâmetros do modelo EPIK

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

$$F = 3 E_i + P_j + 3 I_k + 2 K_l$$

Efetua-se, por fim, a classificação dos valores do EPIK em função da sua vulnerabilidade (Tabela 7). 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	Alta Moderada a baixa
19 < F < 25	
> 25	

Tabela 7. Classificação da vulnerabilidade

6.3 Resultados da aplicação dos índices de vulnerabilidade

Descrevem-se de seguida as opções tomadas para o cálculo do índice de suscetibilidade IS. A profundidade da zona não saturada (D) foi obtida após levantamento de toda a Rede Piezométrica do Distrito de Portalegre e áreas limítrofes com levantamento dos valores de profundidade da água para cada captação nos últimos 10 anos, tendo sido realizada a respetiva média por ponto para o total do período. A superfície foi posteriormente gerada por *Ordinary Kriging* que, segundo Nicolau (2002), “visa a obtenção do melhor estimador linear possível, a partir da combinação linear dos valores observados do fenómeno” sendo as observações “ponderadas em função da sua distância à localização do ponto a estimar” minimizando simultaneamente “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, em conjunto com as descrições incluídas no trabalho de Almeida *et al.* (2000). 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 na Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500.000. 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 10TM), 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.

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. Os valores obtidos foram de seguida reclassificados em função da sua vulnerabilidade. Para efeitos de delimitação da REN consideram-se as áreas correspondentes às classes de “Extremamente vulnerável” a “Elevada” (Figura 9). A análise do Índice IS nos nove municípios analisados do Distrito de Portalegre vem evidenciar que as áreas de maior vulnerabilidade correspondem essencialmente à unidade hidrogeológica Bacia do Tejo-Sado, apresentando uma proporção considerável dos municípios de Ponte de Sor e de Gavião.

No que respeita à aplicação do Índice EPIK, para a análise dos aspetos da geomorfologia cársica, foram analisados documentos com relevância para a caracterização dos sistemas aquíferos em análise (Gonçalves e Coelho, 1974; Gonçalves *et al.*, 1975; Costa, 1985; Costa, 1987; Cupeto, 1991; Monteiro, 1993; Midões, 1999; Almeida *et al.*, 2000), que permitiram estabelecer relações com o disposto na tabela dos valores de referência. Foi efetuado o levantamento dos valores de profundidade da água para cada captação nos últimos 10 anos em 27 pontos da Rede Piezométrica. 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, na rede hidrográfica e no Modelo Digital de Elevações (10 m). No caso do aquífero de Estremoz-Cano, foi ainda utilizada a cartografia da geomorfologia cársica elaborada para o parâmetro *E* 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 áreas de elevada e muito elevada vulnerabilidade nos municípios de Alter-do-Chão, de Sousel, e de Castelo de Vide.

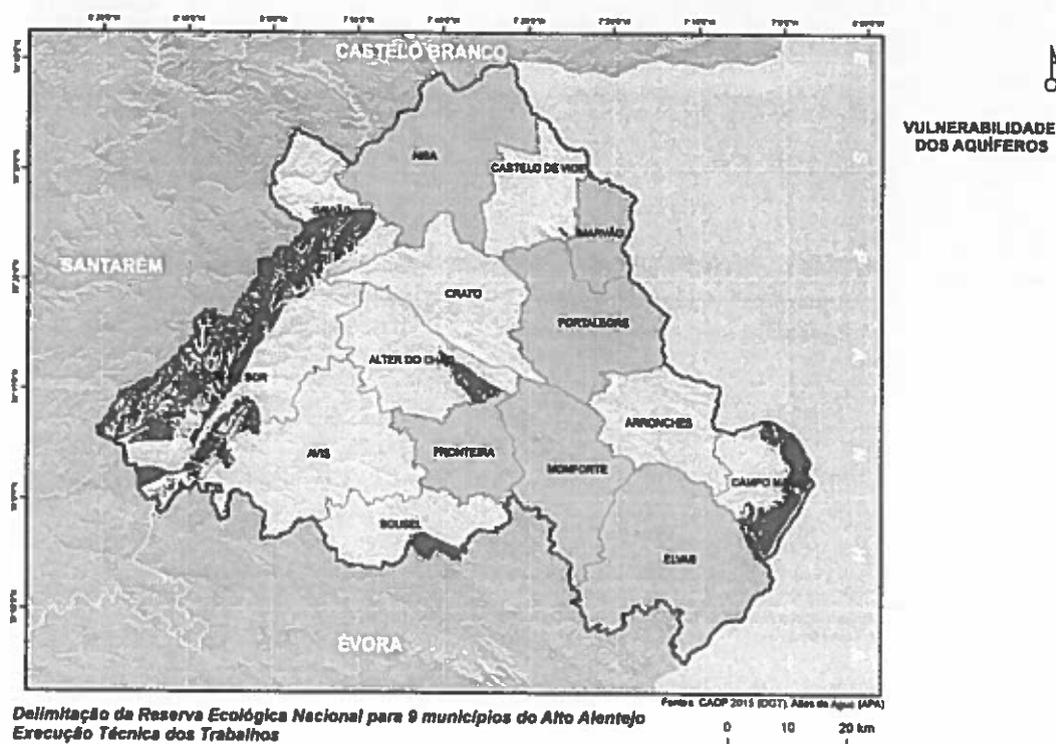


Figura 6. Vulnerabilidade elevada dos aquíferos

De salientar que foi garantida a continuidade nas manchas de elevada e muito elevada vulnerabilidade com as que foram obtidas num trabalho prévio feito para o Distrito de Évora (Neves *et al.*, 2014).

Verificaram-se inicialmente um conjunto de constrangimentos na aplicação do índice EPIK, em particular na delimitação do parâmetro epicarso, dada a ausência de cartografia geomorfológica com grau de detalhe suficiente para definir com exatidão alguns aspetos da geomorfologia cársica. No parâmetro referente à cobertura de proteção, também se verificou falta de informação detalhada, que foi ultrapassada para cada tipo de solo através dos trabalhos de caracterização de Cardoso (1965).

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 7).

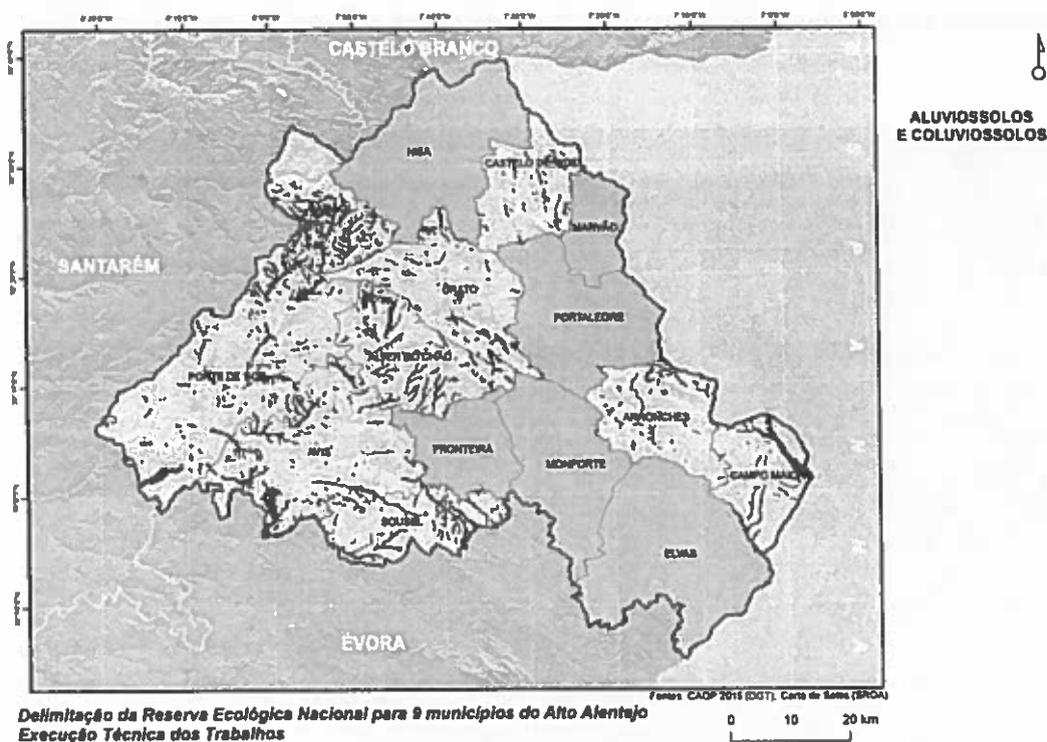


Figura 7. Aluviossolos e coluviossolos

Da união destes dois *layers* – vulnerabilidade dos aquíferos e aluviões – resulta o parâmetro da REN referente à proteção dos aquíferos (Figura 8).

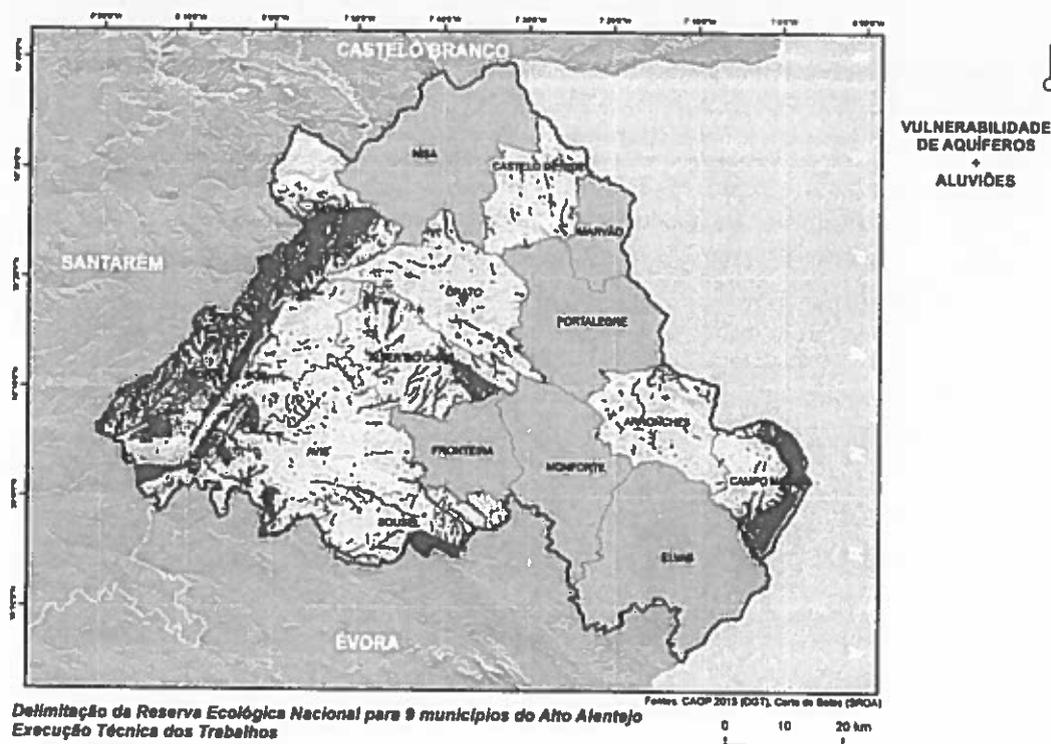


Figura 9. Áreas de proteção dos aquíferos

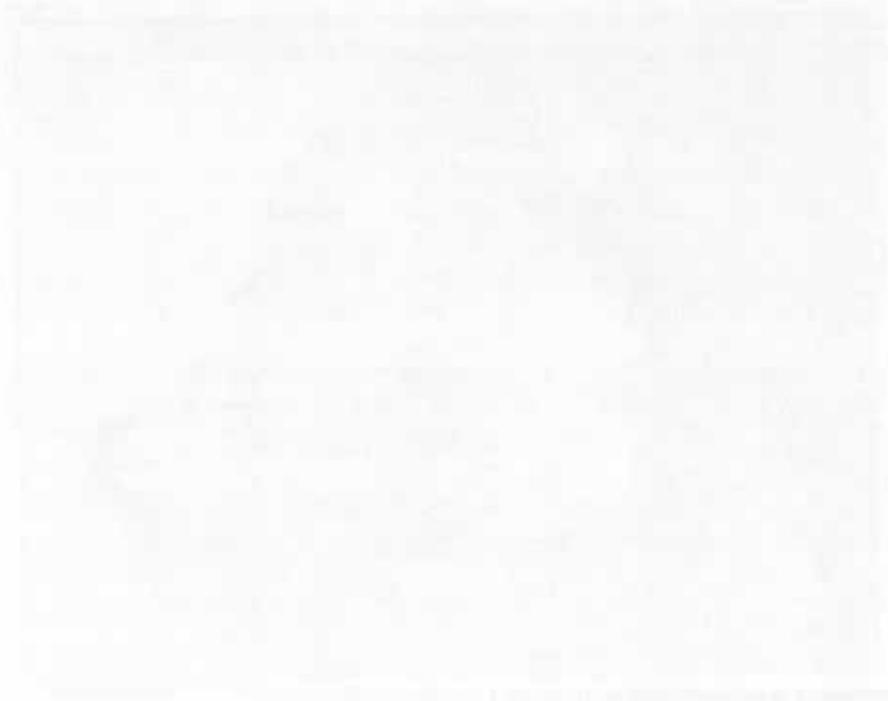
As áreas por município podem ser analisadas e comparadas com as áreas classificadas na REN atualmente em vigor como *Áreas de Máxima Infiltração*, na Tabela 8.

MUNICÍPIOS	AMI (REN)	VAQ	ALV	VAQ+ALV	VAR
Alter do Chão	i/d	2468,69	1936,66	4292,64	-
Arronches	1268,36	0	670,92	670,92	-597,44
Avis	20495,42	740,33	2940,93	3639,65	-16855,77
Campo Maior	132,86	7706,32	1659,29	8120,37	7987,51
Castelo de Vide	101,28	60,53	534,19	569,05	467,77
Crato	i/d	0	1193,50	1193,50	-
Gavião	436,12	6367,45	1677,41	7418,54	6982,42
Ponte de Sôr	25420,63	25338,14	2674,02	26924,30	1503,67
Sousel	7090,55	1890,32	1430,94	3318,10	-3772,45

AMI: Áreas de infiltração máxima; VAQ: Vulnerabilidade dos aquíferos; ALV: Aluviões; VAR: Variação
 i/d: impossível de determinar (ausência de informação nos dados geográficos publicados pela CCDRA)
 Todos os valores de área estão em ha

Tabela 8. Comparação entre as áreas de máxima infiltração atualmente em vigor, e as áreas de elevada vulnerabilidade dos aquíferos e aluviões

A abordagem utilizada na definição desta tipologia considerou uma avaliação cuidada da informação disponível e da sua adequabilidade ao estudo em questão, não sendo possível, no quadro do presente estudo, a utilização de informação de detalhe superior, tal como a cartografia geológica à escala 1:50 000.



7. Carta de zonas ameaçadas pelas cheias

Este capítulo centra-se na definição espacial de “zonas ameaçadas pelas cheias” referente às bacias hidrográficas que cobrem a área dos 9 municípios que estão enquadrados no Caderno de Encargos.

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. 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 artificiais e alagando as zonas contíguas. Não estão incluídas nesta tipologia as áreas suscetíveis de inundação motivada por outros fenómenos, como por exemplo *tsunamis*, rotura de barragens ou diques. Por norma, 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.

Tradicionalmente, a determinação das zonas ameaçadas pelas cheias é efetuada através da elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos que utilizem os dados hidrometeorológicos e morfológicos existentes ou, em alternativa, à aplicação de procedimentos hidrológicos expeditos, em caso de bacias hidrográficas não suficientemente monitorizadas e de bacias

hidrográficas entre 10 km² e 600 km², ou a estudos geomorfológicos combinados com uma avaliação estatística. A aplicação de procedimentos expeditos deve ser complementada com estudos hidrológicos mais desenvolvidos sempre que existam especificidades próprias. Os estudos hidrológicos deverão considerar os dados e informações obtidos nas redes de monitorização de carácter nacional, geridas pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e pelo organismo competente na análise meteorológica. 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.

7.1 Definição metodológica geral

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

A utilização do modelo desenvolvido em estudos anteriores revelou-se problemática face a dois constrangimentos fundamentais:

- As bases informativas fornecidas apresentavam diversos problemas de adequação ao estudo a desenvolver, de que se destacam as referentes a problemas de frequência de observações e inerente nível de detalhe da base altimétrica, bem como, e no que se refere à base de informação hidrográfica, a não existência de uma estrutura de dados adequada à geração de modelos digitais de elevações adequados.
- A não existência de valores fiáveis e em quantidade suficiente de marcas de cheia que permitissem uma melhor calibração do modelo, bem como uma deficiente definição espacial de obras de engenharia condicionadoras dos processos de escoamento.

A utilização do modelo SWAMP – *Structural Water Accumulation Modelling Prediction*¹, foi grandemente condicionada pelos dados disponíveis, tendo sido necessário efectuar correcções

¹ 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.

diversas que resultaram em extensos processamentos de forma a adequar minimamente os modelos digitais de elevações gerados aos objectivos pretendidos.

O modelo SWAMP, 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.

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.

Face à reduzida fiabilidade e muito reduzida frequência espacial da informação hidrológica e hidrometeorológica disponível, considerou-se que a sua utilização nos processos de modelação acrescentaria apenas mais um factor de erro e perda de uniformidade nos resultados finais.

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

A utilização do modelo SWAMP constituiu uma forma de obviar as dificuldades anteriormente referidas, sendo de seguida descritas as suas principais características:

- As relações estatísticas que constituem a base funcional do modelo SWAMP resultaram do desenvolvimento de processos de análise exploratória de dados, implementados com recurso a uma estrutura amostral de presença e ausência sobre resultados da aplicação “clássica” do modelo hidrológico *HEC-HMS* e do modelo hidráulico *HEC-RAS* na delimitação das zonas inundáveis para um período de retorno de 100 anos. Nesta fase inicial da construção do modelo SWAMP foram tomados como válidos os resultados da modelação “clássica” referida, implementada para três pequenas bacias hidrográficas;

- Após exaustivos estudos e testes visando estabelecer relações significativas entre a ocorrência de cheia (1) e a sua ausência (0) foi possível a definição de uma regressão logística entre a variável dependente (cheia – período de retorno 100 anos) e duas variáveis morfométricas fundamentais, HRACCM (*hydrological reverse accumulation metric*) e HRTM (*hydrological relative terrain model*).

A métrica HRACCM (*hydrological reverse accumulation metric*) é uma variável morfométrica e morfodinâmica descrevendo um tensor de alagamento, obtida pela integração do valor de acumulação de escoamento numa medida reversiva normalizada para uma bacia ou sub-bacia hidrográfica completa com morfologia hidrologicamente funcional;

A métrica HRTM (*hydrological relative terrain model*) é uma variável estrutural, sendo essencialmente um modelo digital de elevações relativo, medindo a elevação em relação ao curso de água, gerado a partir da modelação recursiva de escoamentos segundo o modelo D8 clássico, sobre uma base de modelo digital de elevações para bacia ou sub-bacia hidrográfica completa.

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

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

A aplicação do modelo SWAMP apresenta no entanto algumas limitações, que procuraremos enunciar de seguida, bem como a abordagem utilizada para as colmatar de forma satisfatória:

- A construção de modelos digitais de elevação apresenta grandes erros de estimativa nas áreas dos planos de água das albufeiras e outros aproveitamentos hidráulicos, não permitindo uma correcta estimativa da variável HRTM e conseqüentemente inviabilizando a aplicação do modelo de forma satisfatória;
- A cartografia hidrográfica disponível não reúne as condições necessárias para ser utilizada na criação de modelos digitais de elevação (direccionamento de linhas, metáforas de representação, tais como duplas linhas ou dupla linha com eixos de ribeira), pelo que naturalmente o cenário de representação da zona de cheia (considerando apenas modelos digitais de elevações obtidos unicamente com informação altimétrica) nem sempre é espacialmente coincidente com o curso de água respectivo;

- Sendo toda a modelação do terreno expressa com uma resolução matricial de 10 Metros (considerada a adequada face ao detalhe/escala da informação altimétrica vectorial), nem sempre a resolução referida permite uma representação satisfatória e utilizável adequadamente pelo modelo. Quando duas curvas de nível, com uma equidistância de 5 Metros de Cota, estão muito aproximadas (frequentemente menos do que 10 Metros - tamanho da célula) ou a frequência de observações altimétricas é claramente insuficiente, não é possível obter um modelo digital de elevações adequado.

Perante os condicionalismos descritos, a solução encontrada centrou-se na definição de extensos procedimentos de verificação e edição destinados a corrigir as limitações descritas e permitir a geração de uma representação que, integrando os resultados do modelo SWAMP, os adequa pericialmente a uma interpretação terreno.

7.3 Resultados

Os resultados obtidos podem ser analisados na Tabela 10 e na Figura 10.

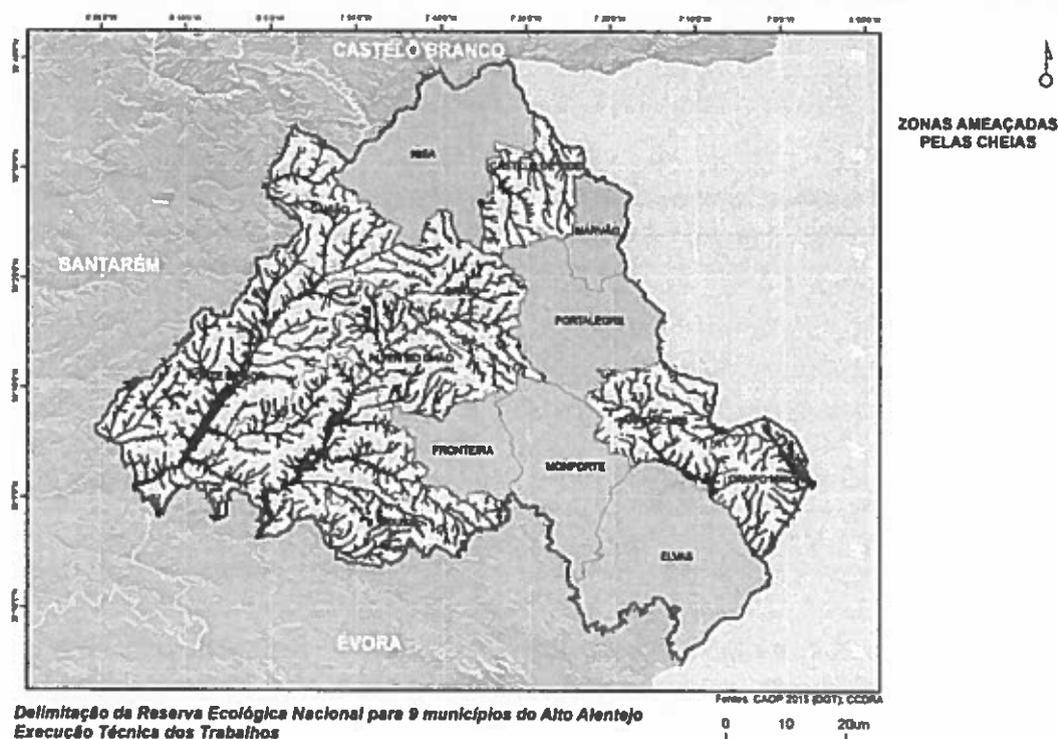


Figura 10. Zonas ameaçadas pelas cheias

Os dados comparativos entre as áreas (em ha) atualmente inscritas na REN e as obtidas neste estudo podem ser observados na Tabela 10.

MUNICÍPIOS	CHE (REN)	CHE	VAR
Alter do Chão	i/d	2418,29	-
Arronches	409,50	2566,21	2156,71
Avis	2194,72	6361,35	4166,63
Campo Maior	1255,75	2841,71	1585,96
Castelo de Vide	1251,69	1303,81	52,12
Crato	i/d	2177,97	-
Gavião	330,31	1441,21	1110,90
Ponte de Sôr	7720,44	8062,41	341,97
Sousel	1288,62	1985,84	697,22

CHE: Zonas ameaçadas pelas cheias; VAR: Variação

i/d: impossível de determinar (ausência de informação nos dados geográficos publicados pela CCDRA)

Todos os valores de área estão em ha

Tabela 10. Comparação entre as zonas ameaçadas pelas cheias atualmente em vigor e resultantes do presente estudo

Verificam-se acentuadas diferenças nos resultados, com um acréscimo geral da área a integrar em REN quando comparada com a REN atualmente em vigor. Tal facto deve-se essencialmente ao detalhe da análise e ao facto do modelo não considerar quebras nas linhas de escoamento superficial. Contudo a sobreposição destas áreas com as aluviões analisadas anteriormente é elevada, pelo que estes acréscimos não deverão ser assim tão elevados, como a comparação com a REN em vigor deixa antever.

Delimitação da Reserva Ecológica Nacional para 9 municípios do Alto Alentejo

Execução Técnica dos Trabalhos / Coordenação Científica

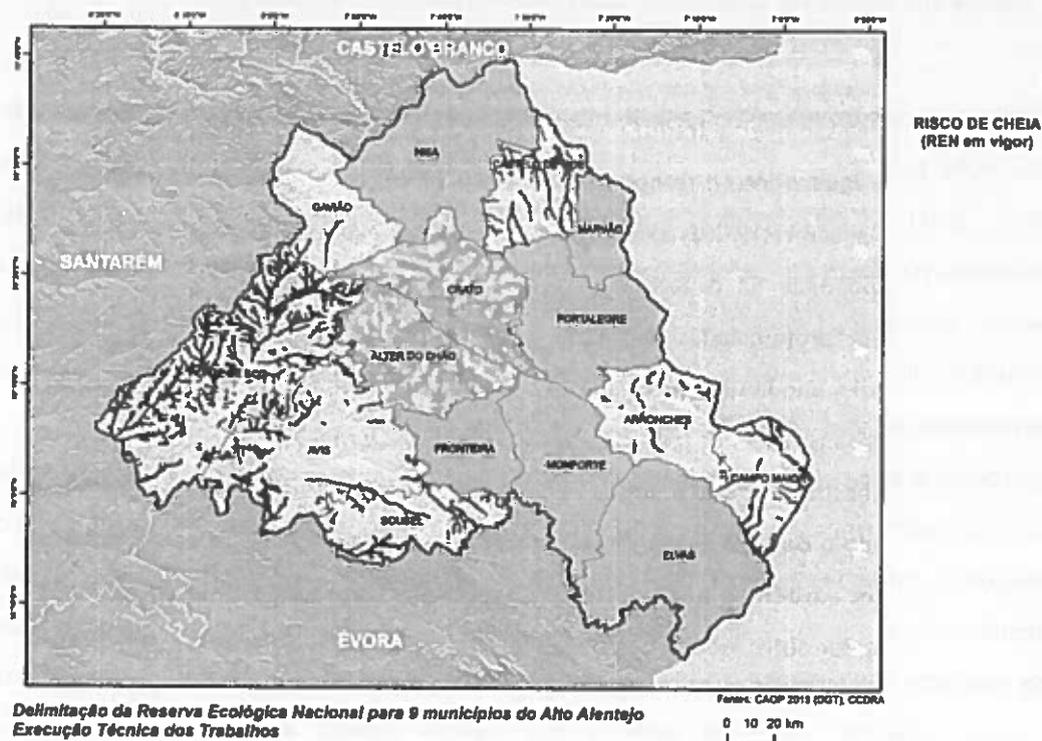


Figura 11. Áreas de elevado risco de cheia incluídas na REN atualmente em vigor. Não é possível diferenciar estas áreas nos municípios de Alter do Chão e de Crato uma vez que os dados não que temos disponíveis não têm a diferenciação por classes na tabela de atributos

8. 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, subsolo e rocha pela água, vento e temperatura (Galetti, 1976), ou ainda por ação da gravidade (Bennet, 1951). As características pedológicas e o relevo são sem dúvida os fatores mais importantes na dinâmica do processo erosivo, em conjugação com fatores climáticos. As variações térmicas pronunciadas facilitam a desagregação das rochas e dos próprios constituintes do solo, enquanto a precipitação e o vento são agentes ativos na desagregação e determinantes no transporte dos materiais sólidos (Sardinha e Macedo, 1981).

Desta forma, a cobertura vegetal é um dos elementos fundamentais de defesa e conservação do solo, protegendo-o da ação direta do vento e da chuva através da parte aérea, enquanto o complexo de raízes existentes a diferentes profundidades forma uma rede de retenção das partículas de solo. Por outro lado, a vegetação facilita a infiltração de água no solo, obrigando ainda que esta, em condições de saturação do solo (ou de hidrofobia do solo), percorra áreas em maior extensão, reduzindo assim a sua energia cinética e, portanto, a força de arrastamento. A remoção do revestimento vegetal conduz a desequilíbrios no sistema, podendo dessa forma os agentes erosivos agir livremente, arrastando por vezes vultosas quantidades de solo. É esta a principal razão associada 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 fatores que são dependentes e estão interligados entre si, e apresentam grande variabilidade espacial e temporal, tornando este fenómeno difícil de equacionar e quantificar. De acordo com os autores, os fatores 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 adotada para a quantificação da perda de solo

Sendo o fenómeno erosivo decorrente de variados fatores em contextos de complexidade, decorrente da sua natureza inter-relacionada, considera-se pertinente o recurso a abordagens facilmente aplicáveis na definição de políticas de ordenamento do território.

Podendo o trabalho da força gravítica ser considerado o fator 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 consideraram o estudo dos processos erosivos numa perspectiva global ou de contexto, integrando nos procedimentos metodológicos a erosão potencial global cumulativa em detrimento da erosão específica local decorrente da inclinação do terreno em cada local ou célula. Neste processo analítico inovador, 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), com resultados bastante ajustados 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 dados de base necessários 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).

No entanto, e apesar dos desenvolvimentos metodológicos mais recentes, a delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo continua a apoiar-se na aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), adaptada a Portugal continental e à unidade de gestão bacia hidrográfica. 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).

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, para a determinação de superfícies de potencial de erosividade da precipitação.

Para estimar a erosão específica do solo (A), em ton/ha.ano, é efetuada a ponderação dos fatores da EUPS nas várias bacias hidrográficas, aplicando-se a seguinte expressão:

$$A = 2,24 \times R \times K \times LS \times C \times P$$

onde:

- *A*: perda de solo média ou erosão específica [$t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$];
- *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 [$MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$];
- *K*: fator relativo à erodibilidade dos solos [$t \cdot ha \cdot h \cdot ano \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$], 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 ($n.º \text{ hab}/km^2$) 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 %.

Todos os processos de modelação desenvolvidos fazendo recurso a um modelo digital de elevações possuem uma resolução matricial idêntica à do referido modelo – 10 Metros, considerada adequada face ao nível de detalhe/escala e equidistância da informação altimétrica fornecida (1:10 000, 5 Metros).

Para todas as análises efectuadas, em que tal aspecto constituía um factor relevante, foi utilizada a totalidade da bacia hidrográfica drenante ou medida equivalente. Os casos em que a informação altimétrica fornecida não cobria a totalidade da bacia drenante para cada célula, foram solucionados com recurso aos seguintes procedimentos:

- Integração de informação altimétrica da Carta Militar de Portugal, série m888 à escala 1:25 000, completando a totalidade da área de bacia drenante;
- Utilização de informação numérica sobre a área total da bacia hidrográfica para o cálculo do valor (área) em falta a montante, com posterior inserção

desse valor na célula inicial do cenário de acumulação de escoamentos e subsequente cálculo de área drenante.

- Foram classificadas como REN todas as áreas em que o cálculo final estimava um valor igual ou superior a 55 ton/ha.ano.

Os procedimentos de aferição e generalização adoptados centraram-se sequencialmente nas seguintes operações:

- Suavização de contornos poligonares com recurso ao método PAEK (30 Metros);
- Agregação pericial de áreas abaixo do limiar de 1 ha que pela sua proximidade constituíam por agregação uma área com significado no âmbito da tipologia;
- Eliminação de polígonos com área inferior a 1 ha.

8.1.1 Fator de erosividade da precipitação

A desagregação de partículas de um solo pelas gotas de chuva é um dos processos fundamentais relacionados com a erosão hídrica dos solos, tornando-se assim necessário quantificar a energia cinética da precipitação (Tomás, 1992).

Os estudos de Wischmeier & Smith (1978) e de Ferro *et al.* (1991) foram a base para a expansão do número de estimativas pontuais do fator de erosividade (R) em todo o território continental, permitindo a determinação de superfícies de potencial de erosividade. Estas superfícies estão representadas no mapa de isoerodentes disponível em suporte digital no portal do SNIRH (<http://snirh.pt>, opção Atlas da Água e Atlas Nacionais).

Erosividade da precipitação R (449 postos 50.8 mm)

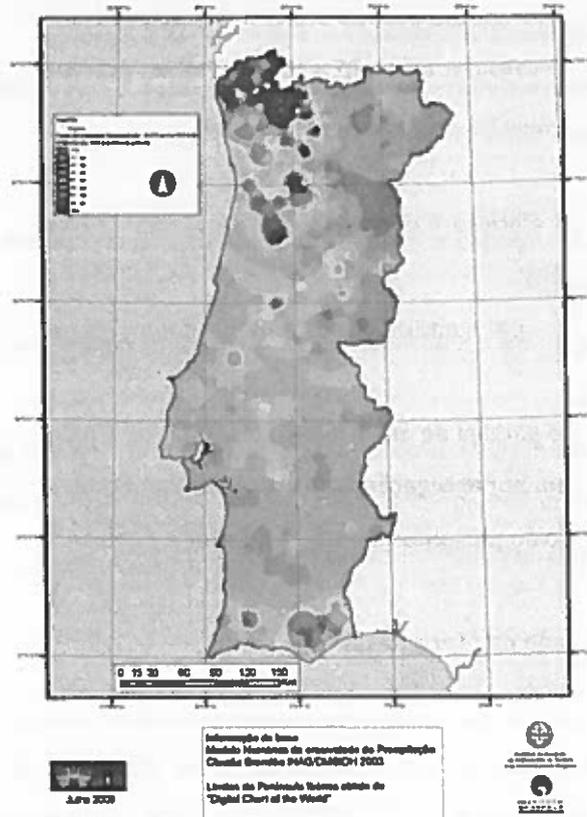


Figura 11. Erosividade da precipitação (R)

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:

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

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

8.1.3 Fator fisiográfico

O fator fisiográfico é uma das variáveis mais complexas de determinar, correspondendo o fator *L* aos valores cumulativos dos *pixels* existentes 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 fator fisiográfico pode então ser obtido através da seguinte expressão:

$$LS = \left(\lambda/72,6\right)^m (65,41 \sin^2 \beta + 4,56 \sin \beta + 0,065)$$

em que:

LS – Factor Fisiográfico

λ - Comprimento cumulativo do declive

β - Declive

m – Variável associada ao declive (0,5 para declives superiores a 2,86°; 0,4 para declives entre 1,72° e 2,86°; 0,3 para declives entre 0,57° e 1,72°; e 0,2 para declives inferiores a 0,57°)

Segundo Ribeiro *et al.* (2004), a transposição desta equação para álgebra de mapas pode ser feita 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 objetivo proposto, optámos pela expressão publicada em Mitasova *et al.* (1996):

$$LS_{(r)} = (m + 1) \left[\frac{A_s \cdot (r)}{22,13} \right]^m \left[\frac{\sin b_{(r)}}{\sin 5,143} \right]^n$$

em que:

r – resolução

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

m e n – coeficientes relacionados com o escoamento e infiltração

Para o coeficiente m foram atribuídos os valores que se apresentam na primeira equação deste sub-capítulo, e que variam de acordo com o declive, enquanto o fator n foi assumido como uma constante de valor 1,3 (Mitasova *et al.*, 1996). Os processos de análise espacial para a obtenção do parâmetro LS foram realizados sobre o modelo digital de elevações obtido através da altimetria, nas escalas 1:10.000 e 1:25.000, fornecida pela CIMAA.

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 fator 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 1:25.000.

8.1.5 Fator antrópico

O fator antrópico é determinado a partir da densidade populacional dos municípios do continente ($n.^{\circ}$ hab/km²) 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 %. No caso particular recorreu-se à distribuição da população à escala da BGRI, distribuindo-se os valores de acordo com a amplitude de valores existentes no Distrito de Portalegre, e seguindo um procedimento semelhante ao adotado à escala nacional.

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 Bubbenzer, 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 termos 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 11. Valores de referência para o parâmetro Pse

8.2 Resultados da aplicação do modelo adotado

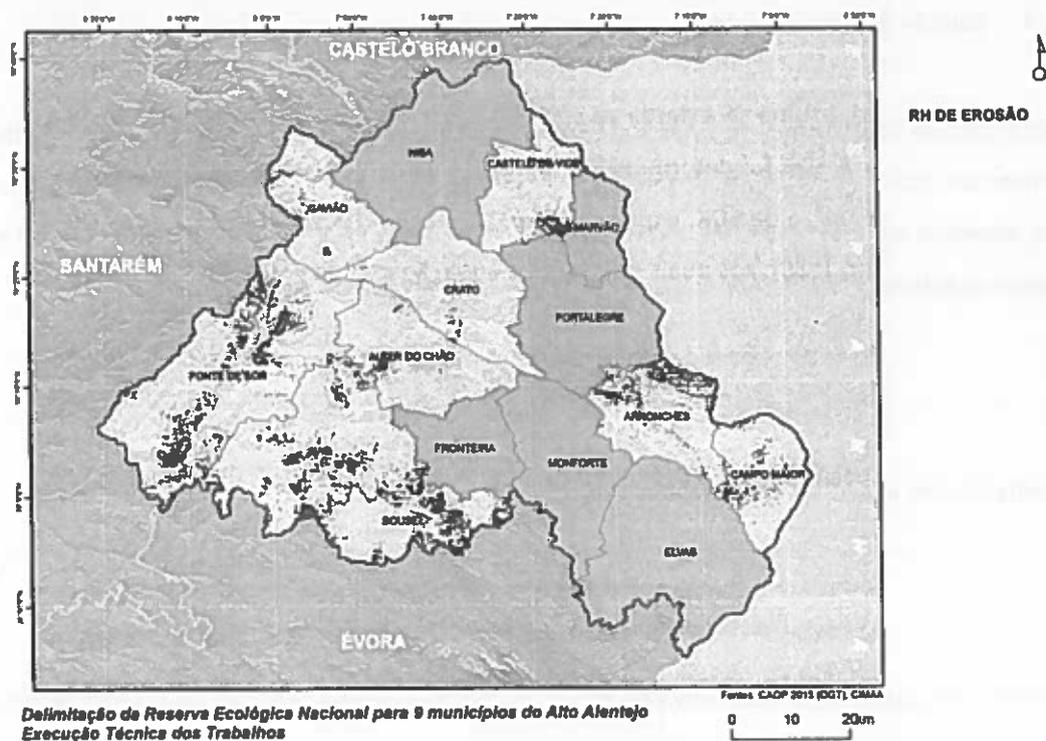


Figura 12. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo

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

CONCELHOS	ERO (REN)	ERO	VAR
Alter do Chão	i/d	645,70	-
Arronches	2980,71	3078,66	97,95
Avis	7903,67	4742,56	-3161,11
Campo Maior	4094,37	1070,94	-3023,43
Castelo de Vide	6413,14	1225,77	-5187,37
Crato	i/d	185,76	-
Gavião	9633,89	500,40	-9133,49
Ponte de Sôr	43703,51	6518,63	-37184,88
Sousel	1340,57	2838,67	1498,10

i/d: impossível de determinar (ausência de informação nos dados geográficos publicados pela CCDRA); ERO (REN): Áreas com elevado risco de erosão classificadas na REN em vigor; ERO: Áreas em risco de erosão no contexto do novo diploma da REN. Todos os valores de área estão em ha.

Tabela 12. Comparação das áreas de erosão do solo

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.

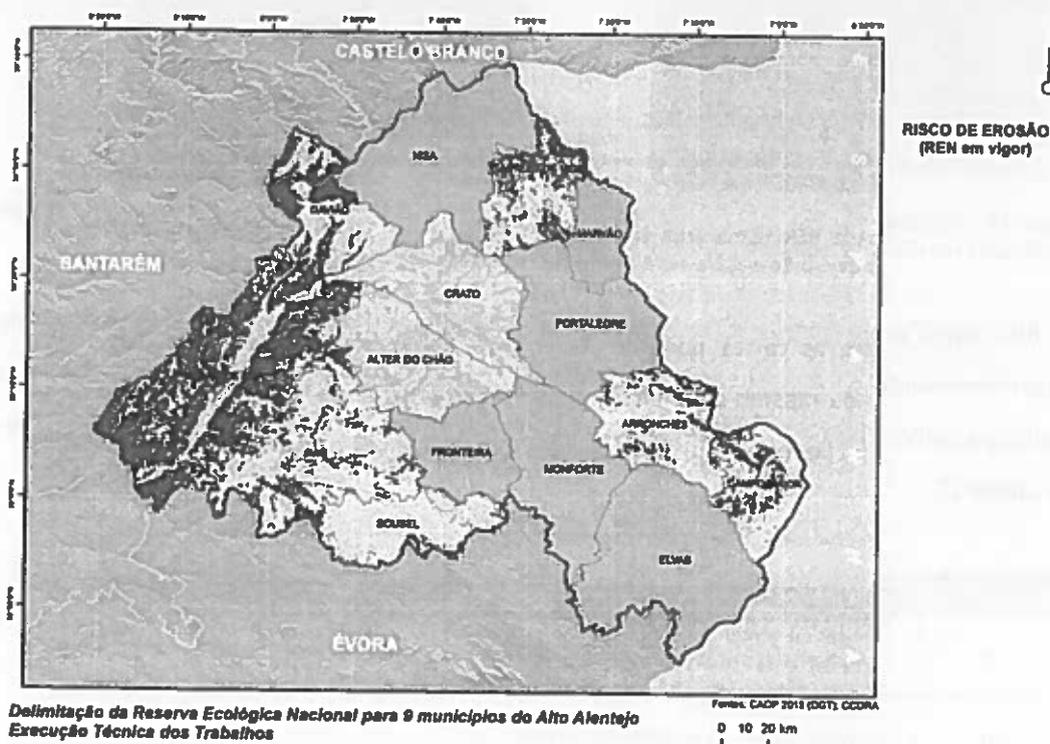


Figura 13. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo incluídas na REN atualmente em vigor. Não é possível diferenciar estas áreas nos municípios de Alter do Chão e de Crato uma vez que os dados disponíveis não têm a diferenciação por classes na tabela de atributos

Um dos fatores com implicação nas diferenças evidenciadas está relacionado com a inclusão do fator relacionado com a distribuição da população. É essencialmente por este motivo que o município de Gavião, por exemplo, apresenta baixa área de REN relacionada com a erosão, sendo de certa forma compensada com as áreas de instabilidade de vertentes apresentadas no capítulo seguinte.

Estas diferenças podem estar igualmente relacionadas com o facto de a REN atualmente em vigor ter sido cartografada recorrendo ao uso da Carta de Capacidade de Uso do Solo para este fim. O exemplo que se segue permite evidenciar que esta foi a informação base para definir as áreas com eventual Risco de Erosão a integrar na REN. 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).

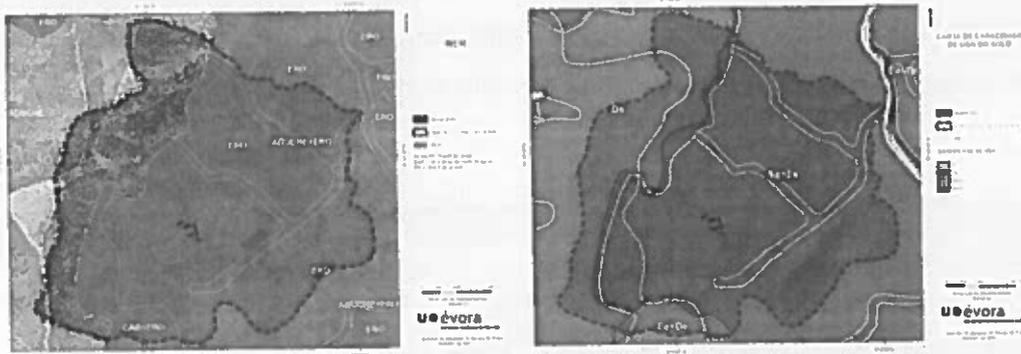


Figura 14. Tipologias de REN numa área analisada em Neves *et al.* (2014), e sobreposição das áreas REN classificadas com risco de erosão e as classes e subclasses de Capacidade de Uso do Solo

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 13.

Classe	Características principais
A	<ul style="list-style-type: none"> - Poucas ou nenhuma limitações - Sem riscos de erosão ou com riscos ligeiros - Susceptível de utilização agrícola intensiva
B	<ul style="list-style-type: none"> - Limitações moderadas - Riscos de erosão no máximo moderados - Susceptível de utilização agrícola moderadamente intensiva
C	<ul style="list-style-type: none"> - Limitações acentuadas - Riscos de erosão no máximo elevados - Susceptível de utilização agrícola pouco intensiva
D	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 13. 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 objetivos 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 objetivos 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 objetivos 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 comuns², que não necessitam de condições especiais³, 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 afetam 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.

² Teve como referência a cultura de trigo, e não integra culturas permanentes características da paisagem mediterrânica como o olival ou a vinha.

³ Como por exemplo o arroz.

9. Carta de áreas de instabilidade de vertentes

A delimitação das *Áreas de Instabilidade de Vertentes* baseia-se na avaliação da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em encostas. As áreas de instabilidade de vertentes são integradas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto, na classe “Áreas de Prevenção de Riscos Naturais” sendo consideradas por Gaspar (2004) um dos riscos naturais que ocorre com maior preponderância em Portugal Continental. A sua delimitação, no contexto das ações de planeamento e ordenamento territorial, tem como principais objetivos: garantir a segurança de pessoas e bens, garantir a estabilidade dos sistemas biofísicos, e salvaguardar recursos (e.g. solo).

É neste contexto que a Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 de 3 de Outubro estabelece como obrigatoriedade a delimitação das áreas de instabilidade de vertentes. As escarpas naturais deverão ser delimitadas enquanto áreas de instabilidade de vertentes, incluindo as 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 local⁴. No entanto, no Alentejo as áreas com instabilidade de vertentes correspondem essencialmente a ocorrências isoladas, associados a ocorrências geológicas em situação de relevo acidentado como escarpas de falha, zonas de montanha ou vales encaixados.

9.1 Definições

De acordo com o Anexo I do DL n.º 166/2008, de 22 de agosto, as áreas de instabilidade de vertentes são áreas que, pelas suas características estruturais e dinâmicas (geologia, solo, declive, dimensão e forma (da vertente ou escarpa), regime hídrico), estão sujeitas à ocorrência de movimentos de massa em vertentes incluindo deslizamentos, desabamentos e queda de blocos.

A diversidade de definições existentes na literatura científica para descrever os movimentos em vertentes, é revelador da complexidade inerente a este fenómeno (Zêzere, 2000). De acordo com a classificação inicialmente proposta por Varnes (1978), existem cinco grandes tipos de movimentos de vertente: deslizamentos, desabamentos, balançamentos, escoadas e expansões laterais.

⁴ No mínimo, deverá ser igual à altura do desnível entre a crista e o sopé.



Figura 15. Principais tipos de movimentos de vertente (Highland e Bobrowsky, 2008)

Considerando o exposto na figura anterior podemos afirmar que um movimento de vertente é, em geral, um termo utilizado para descrever o movimento em descida, numa encosta, de uma massa de solo, rocha e materiais orgânicos, por influência da gravidade e da própria forma do terreno (Highland e Bobrowsky, 2008). No entanto, a definição exata do fenómeno em análise é tão ou mais importante do que o conhecimento e compreensão das componentes básicas de um movimento de vertente típico. A Figura 16 exemplifica um tipo de movimento, um deslizamento rotacional, e as suas principais componentes.

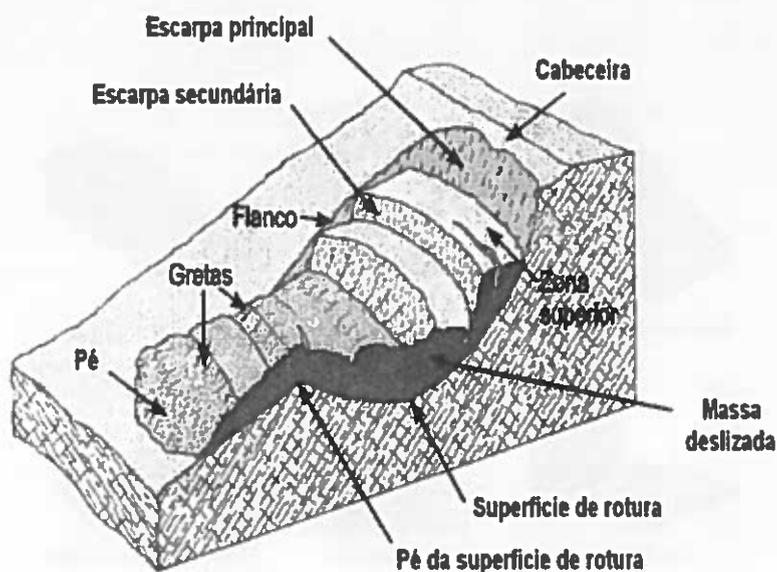


Figura 16. Esquema de um movimento rotacional e suas componentes (adaptado de Varnes, 1978)

A ocorrência de movimentos de vertentes está associada a dois grandes grupos de fatores: condicionantes e desencadeadoras. O primeiro diz respeito fundamentalmente ao contexto geológico e às características geomorfológicas do local. Estes fatores 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 rochosas assim como o seu grau de alteração e fracturação. 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 fatores 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 destacam-se a ocorrência de eventos de precipitação elevada, a ação humana por via da destruição do coberto vegetal e remoção de solo, ocorrência de sismos e vibrações, e variações de temperatura que provocam movimentos de contração e dilatação dos materiais rochosos. A conjugação espaço-temporal destes fatores bem como a sua magnitude determina a ocorrência de diferentes tipos de movimentos em vertente.

9.2 Critérios de delimitação

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 de 3 de Outubro explícita a metodologia que deverá ser seguida para a delimitação das áreas de instabilidade de vertentes. O modelo

proposto para a delimitação deveria considerar como informação fundamental o inventário de movimentos de massas em vertentes já ocorridos nas áreas dos municípios em análise, obedecendo 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 município, 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 pré-disposição 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 pré-disposição: declive, orientação das encostas, curvatura das vertentes (perfil transversal), litologia, coberto vegetal e uso do solo. Adicionalmente, podem ser utilizados outros indicadores que sejam considerados relevantes como, por exemplo, características dos solos e das formações superficiais, *Wetness Index*, estrutura geológica, etc.
- Interpretação dos fatores com recurso a um modelo estatístico de relação espacial. A ponderação de cada classe de cada fator de pré-disposição 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 (*pixeis*).

O processo metodológico sugerido no diploma anteriormente referido tem uma base Bayesiana, sustentando-se na transformação logarítmica (log natural) da razão entre probabilidade condicionada e probabilidade *a priori*. Desta forma, o Valor Informativo (I_i) para qualquer variável independente X_i é determinado pela equação:

$$I_i = \log S_i N_i S N$$

onde:

S_i é o número de *pixels* com movimentos de massa em vertentes na variável X_i ; N_i é o número de *pixels* com a variável X_i no município; S é o número total de *pixels* com movimentos de massa em vertentes no município; e N é o número total de *pixels* do município.

Devido à normalização logarítmica, I_i não é determinável quando $S_i = 0$. Nestes casos, o valor de I_i deve ser assumido como igual ao I_i mais baixo determinado para o conjunto das variáveis de pré-disposição consideradas. O valor de suscetibilidade para cada unidade matricial j é calculado pelo Valor Informativo total dado pela seguinte equação:

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} I_i$$

onde:

m é o número de variáveis e X_{ij} é igual a 1 ou 0, consoante a variável X_i está ou não presente no *pixel* j , respetivamente.

A validação do modelo preditivo deve ser efetuada, segundo a metodologia descrita, através de uma curva de sucesso. A qualidade da carta de avaliação da suscetibilidade à instabilidade das vertentes deve ser demonstrada pela aplicação de procedimentos de validação standardizados, baseados na sobreposição do inventário de movimentos com a carta de suscetibilidade para determinação da Taxa de Sucesso. 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 CCDR-Alentejo e de contactos estabelecidos previamente com a Autoridade Nacional de Proteção Civil concluiu-se que, a

existir este tipo de dados, não há a garantia de que os mesmos tenham sido recolhidos ou registados com exatidão espacial minimamente credível que permita a utilização do processo de modelação proposto pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 de 3 de Outubro. Para que o modelo estatístico de relação espacial explanado no referido diploma possa ter uma utilização plena e os resultados sejam considerados fiáveis, é imperativo 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 Portalegre 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, a equipa optou por considerar 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), dada a ausência de inventários de ocorrência de movimentos de massa na região. Este modelo considera os 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).

9.3 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 na escala 1:500.000 dado que a série 1:50.000 não está completa (nem editada em formato vetorial) para a totalidade do distrito de Portalegre. Do processo de agregação litológica resultou um conjunto de oito classes distintas: 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 adaptaram-se, para a realidade litológica do distrito de Portalegre, os Limiares Críticos de Declive (LCD), que representam o limiar a partir do qual os materiais rochosos passam a ser considerados como formações com suscetibilidade à ocorrência de fenómenos de instabilidade de vertente (Zêzere *et al.*, 2005; CCDRLVT, 2008; Henriques, 2009).

Classe litológica	Limiar Crítico de Declive (em graus)
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 14. Unidades litológicas e limiares de declive

Para o cálculo da Carta de Declives (em graus) foi utilizada a altimetria fornecida pela CIMAA. O processamento desta informação foi desenvolvido com recurso ao algoritmo *Topo to Raster* implementado no *software* ArcGIS 10.1 (Hutchinson, 1989) para o cálculo do Modelo Digital de Elevações. A Carta de Declives foi gerada com resolução espacial de 10 m através do método de Horn (Horn, 1981). A sobreposição destes dois *layers* gerou uma nova rede matricial que depois de reclassificada de acordo com as relações incluídas na Tabela 14 permitiu diferenciar as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertentes.

9.4 Resultados

A delimitação das áreas de instabilidade de vertentes para o distrito de Portalegre, segundo a metodologia anteriormente descrita, permitiu a identificação de locais com maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, devendo, por esse motivo, ser incluídos na delimitação da REN. O processo de generalização cartográfica compreendeu a agregação de polígonos com distâncias entre si inferiores a 20 m e preenchimentos de espaços vazios inferiores a 1 ha resultantes da conversão raster-vetorial, de acordo com os limiares para a elaboração de cartografia na escala 1:25.000 incluídos em Guiomar *et al.* (2009). Os restantes polígonos isolados com área inferior à área mínima cartográfica não foram considerados. Os polígonos foram posteriormente suavizados através do algoritmo de generalização geométrica de polígonos PAEK (*Polynomial with Approximation Exponential Kernel*) (Bodansky *et al.*, 2002).

As zonas mais críticas no que se refere à suscetibilidade de ocorrência de movimentos de massa em vertentes surgem maioritariamente concentradas nas encostas do vale encaixado do Rio Tejo e de alguns afluentes (em especial a Ribeira de Alferreira; Gavião) e em alguns pontos da Ribeira de Sor (Ponte de Sor).

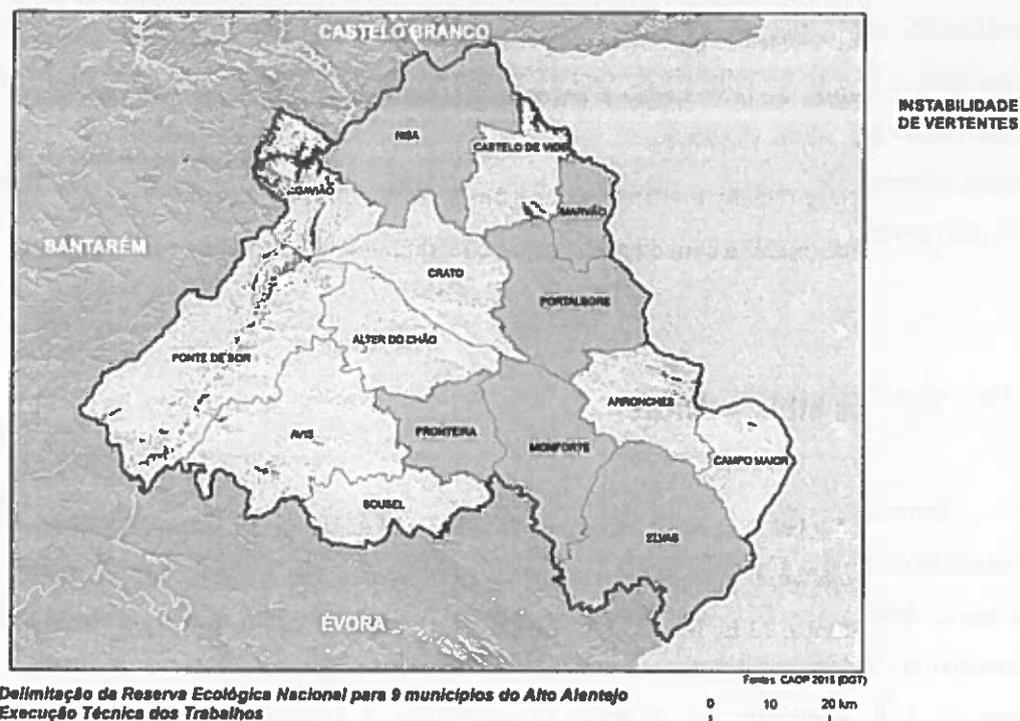


Figura 17. Áreas de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertentes (SMV)

Os resultados obtidos por município podem ser analisados na Tabela 15.

Municípios	Áreas de Instabilidade de Vertentes (ha)
Alter do Chão	49,04
Arronches	175,11
Avis	413,20
Campo Maior	52,55
Castelo de Vide	1074,19
Crato	44,30
Gavião	3465,61
Ponte de Sôr	1976,28
Sousel	45,40

Tabela 15. Áreas com suscetibilidade elevada à instabilidade de vertentes, por município

10. Nota final

O relatório elaborado descreve de forma o conjunto de trabalhos efetuado, apresentando como complemento das bases informativas criadas a referência às aproximações metodológicas seguidas e implementadas.

A informação final constante nas bases informativas foi objeto 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.

As bases informativas criadas e entregues conjuntamente com este documento estão todas concluídas, em conformidade com o estabelecido contratualmente.

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.
- Bodansky E., Gribov A., Pilouk M., 2002. Smoothing and compression of lines obtained by raster-to-vector conversion. In *Graphics recognition algorithms and applications*, Springer, Berlin, pp. 256-265.
- 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 subterrâneos do Alentejo*. 4º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento (Vol. 16).
- 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 Al (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 Adsorptiva*. 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 Universidade de 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 Subterrâneas.
- 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., Bubbenzer, G.D., 1980. Soil loss estimation. Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C. (eds.) *Soil erosion*. John Wiley and Sons Ltd.
- Monteiro, J., 1993. *Hidrogeologia da formação carbonatada de Escusa (Castelo de Vide)*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- 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.

- Neves, N., Ramos, I., Guiomar, N., Freire, M., Vila-Viçosa, C., Mendes, P., Machado, R., Godinho, S., Faria, S., 2014. Caracterização do Risco de Erosão nos Municípios do Distrito de Évora – Relatório Final. CIMAC/DPAO-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, Reiskirchjen.
- 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 hidrometeorológico 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.
- Wischmeier, 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., 2000. *A classificação dos movimentos de vertente: tipologia, actividade e morfologia*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- 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.

12. Anexo – Bases informativas

A informação produzida foi organizada e armazenada em conformidade com o estabelecido contratualmente, tendo sido criadas as bases informativas gerais e municipais se enunciam na Tabela 16.

BASES INFORMATIVAS GERAIS	SISTEMA DE COORDENADAS	FORMATO DE DADOS
GERAL_CIMAA_ETRS_89.gdb	ETRS_1989 Portugal TM06	Geodatabase ESRI
GERAL_CIMAA_DATUM_73.gdb	Datum 73 Hayford-Gaus IPCC	Geodatabase ESRI
GERAL_ETRS_89	ETRS_1989 Portugal TM06	ESRI Shapefile
GERAL_DATUM_73	Datum 73 Hayford-Gaus IPCC	ESRI Shapefile
BASES INFORMATIVAS MUNICIPAIS (exemplo) (*)	SISTEMA DE COORDENADAS	FORMATO DE DADOS
<MUNICÍPIO> ETRS_89.gdb	ETRS_1989 Portugal TM06	Geodatabase ESRI
<MUNICÍPIO> DATUM_73.gdb	Datum 73 Hayford-Gaus IPCC	Geodatabase ESRI
<MUNICÍPIO>	ETRS_1989 Portugal TM06	ESRI Shapefile
<MUNICÍPIO>	Datum 73 Hayford-Gaus IPCC	ESRI Shapefile

(*) - Foram criadas bases informativas similares para todos os municípios integrados no estudo

Tabela 16. Bases informativas criadas

Toda a informação armazenada segue o mesmo processo de codificação, descrito na tabela 17.

CARTA / ESTUDO	TEMA	CAMPO "REN"
Carta de bacias hidrográficas com área superior a 3,5 km ²	Bacias hidrográficas	BHI
Carta de albufeiras e respetiva faixa de proteção	Albufeiras	ALB
	Faixas de protecção às albufeiras	FPA
Carta de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos	Aluviosolos e coluviosolos	ALU
	Aquíferos	AQU
Carta de zonas ameaçadas pelas cheias	Zonas ameaçadas pelas cheias	ZAC
Carta de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	Risco de erosão	ERO
Carta de áreas de instabilidade de vertentes	Instabilidade de vertentes	IVE
	Concelhos incluídos	

Tabela 17. Codificação das bases informativas criadas