



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0602/01/18095
Proc. 0607/541/5756

CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À INTRUSÃO MARINHA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO CENTRO

Relatório realizado para a Administração de Região
Hidrográfica do Centro, IP

Lisboa • Agosto de 2011

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 288/2011 – NAS

Co-financiamento



Administração da
Região Hidrográfica
do Centro I.P.



Programa Operacional Regional do Centro



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
2014-2020



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha dos sistemas aquíferos da região hidrográfica do Centro

Relatório da Tarefa 4.3 “Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha”

RESUMO

O presente relatório foi desenvolvido para a Administração de Região Hidrográfica do Centro e teve como objectivo a determinação da vulnerabilidade à intrusão marinha nas áreas correspondentes aos sistemas aquíferos dessa região, através do método GALDIT.

O método utilizado na determinação da vulnerabilidade incorpora vários factores caracterizadores do sistema em estudo, nomeadamente o tipo e espessura do aquífero, a condutividade hidráulica do meio, o nível piezométrico, a distância à linha de costa e estado actual da intrusão marinha. Esta aplicação foi possível através da análise cuidada de diversos tipos de informação, como dados de piezometria (quantidade), qualidade e logs de sondagem, provenientes de diversas bases de dados como as redes de monitorização da ARH do Centro, INVENTAR do LNEC ou Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.

O método GALDIT, desenvolvido por Chachadi e Lobo Ferreira (2001), foi aplicado aos sistemas aquíferos que estão sob a influência dos efeitos de maré, permitindo avaliar a faixa litoral potencialmente sujeita a intrusão marinha em função de uma eventual subida do nível do mar (0,25 m, 0,50 m e 1 m). Da análise efectuada constatou-se que as zonas potencialmente afectadas pela intrusão marinha são as estreitas faixas costeiras cuja espessura tende a aumentar com a variação do nível do mar correspondente aos cenários futuros, e em particular no interior do limite do sistema do Quaternário de Aveiro, que estabelece relações de grande afinidade com a Ria de Aveiro e esta com o efeito de marés, o que se considera como potencial factor de avanço da cunha salina.

Caracterização da vulnerabilidade à poluição dos sistemas aquíferos da região hidrográfica do Centro

Relatório da Tarefa 4.3 “Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha”

Characterization groundwater vulnerability to saltwater intrusion of the Região Hidrográfica do Centro aquifers systems

Task 4.3 “Assessment of Groundwater vulnerability to saltwater intrusion” Report

Caractérisation de la vulnérabilité à l'intrusion de l'eau de la mer dans des systèmes aquifères de la Região Hidrográfica do Centro

Rapport de la tâche 4.3 “Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à l'intrusion de l'eau de la mer ”

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	VIII
1. APRESENTAÇÃO E OBJECTIVOS	1
2. ÁREA DE ESTUDO	3
3. TRABALHOS ANTERIORES	5
4. METODOLOGIA	6
5. APLICAÇÃO DO MÉTODO GALDIT AOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO CENTRO	12
5.1 Introdução	12
5.2 Quaternário de Aveiro (O1)	13
5.2.1 Parâmetros GALDIT	13
5.2.2 Resultados	20
5.3 Aluviões do Mondego (O6)	25
5.3.1 Parâmetros GALDIT	25
5.3.2 Resultados	31
5.4 Figueira da Foz – Gesteira (O7)	34
5.4.1 Parâmetros GALDIT	34
5.4.2 Resultados	39
5.5 Leirosa – Monte Real (O10)	42
5.5.1 Parâmetros GALDIT	42
5.5.2 Resultados	49
5.6 Vieira de Leiria – Marinha Grande (O12)	54
5.6.1 Parâmetros GALDIT	54
5.6.2 Resultados	60
6. CONCLUSÕES	64
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXO 1: SHAPEFILES E BASES DE DADOS COM OS PARÂMETROS GALDIT E RESULTADOS OBTIDOS PARA OS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO CENTRO (CD-ROM)	69
ANEXO 2: FIGURAS REPRESENTATIVAS DA SITUAÇÃO ACTUAL DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE GALDIT PARA OS SISTEMAS ESTUDADOS	71
ANEXO 3: DADOS USADOS NA DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO I DO ÍNDICE GALDIT	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Enquadramento da área de estudo	4
Figura 2 – Caracterização do parâmetro A (Quaternário de Aveiro)	15
Figura 3 – Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Quaternário de Aveiro).....	16
Figura 4 – Caracterização do parâmetro D (Quaternário de Aveiro).....	18
Figura 5 – Caracterização do parâmetro I (Quaternário de Aveiro)	19
Figura 6 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro.....	20
Figura 7 - Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m	21
Figura 8 - Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m em pormenor para a sub-área de estudo	23
Figura 9 – Caracterização do parâmetro A (Aluviões do Mondego).....	26
Figura 10 – Nível piezométrico do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego	27
Figura 11 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Aluviões do Mondego)	28
Figura 12 – Caracterização do parâmetro D (Aluviões do Mondego)	29
Figura 13 – Caracterização do parâmetro I (Aluviões do Mondego)	30
Figura 14 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego.....	31
Figura 15 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m.....	32
Figura 16 – Caracterização do parâmetro A (Figueira da Foz – Gesteira).....	35
Figura 17 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Figueira da Foz – Gesteira)	36
Figura 18 – Caracterização do parâmetro D (Figueira da Foz – Gesteira)	37
Figura 19 – Caracterização do parâmetro I (Figueira da Foz – Gesteira).....	38
Figura 20 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Figueira da Foz – Gesteira para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m.....	40
Figura 21 – Caracterização do parâmetro A (Leirosa – Monte Real)	43
Figura 22 – Nível piezométrico do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real	44
Figura 23 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Leirosa – Monte Real).....	45
Figura 24 – Caracterização do parâmetro D (Leirosa – Monte Real).....	46
Figura 25 – Caracterização do parâmetro I (Leirosa – Monte Real)	47
Figura 26 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real.....	48
Figura 27 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m.....	50
Figura 28 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m em pormenor para a área de costa	52
Figura 29 – Caracterização do parâmetro A (Vieira de Leiria – Marinha Grande)	55
Figura 30 – Nível piezométrico do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande.....	56

Figura 31 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Vieira de Leiria – Marinha Grande)	57
Figura 32 – Caracterização do parâmetro D (Vieira de Leiria – Marinha Grande)	58
Figura 33 – Caracterização do parâmetro I (Vieira de Leiria – Marinha Grande).....	59
Figura 34 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande	60
Figura 35 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m.....	62
Figura 36 – Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero	71
Figura 37 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero dos Aluviões do Mondego	72
Figura 38 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Figueira da Foz - Gesteira..	73
Figura 39 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Leirosa – Monte Real	74
Figura 40 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Marinha Grande – Vieira de Leiria.....	75

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros GALDIT.....	7
Quadro 2 – Classes de vulnerabilidade	8
Quadro 3 – Parâmetro G: ocorrência de aquíferos	8
Quadro 4 – Parâmetro A: condutividade hidráulica.....	9
Quadro 5 – Parâmetro L: nível piezométrico (acima do nível do mar)	9
Quadro 6 – Parâmetro D: distância à linha de costa.....	10
Quadro 7 – Parâmetro I: Impacte do estado actual da intrusão marinha na região	10
Quadro 8 – Parâmetro T: espessura do aquífero.....	11
Quadro 9 – Valores do parâmetro A em função da geologia (Quaternário de Aveiro)	13
Quadro 10 – Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero do Quaternário de Aveiro.....	24
Quadro 11 – Valores de parâmetro A em função da geologia (Aluviões do Mondego).....	25
Quadro 12 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero dos Aluviões do Mondego.....	33
Quadro 13 – Valores do parâmetro A em função da geologia (Figueira da Foz – Gesteira).....	34
Quadro 14 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero da Figueira da Foz – Gesteira	41
Quadro 15 - Valores do parâmetro A em função da geologia (Leirosa – Monte Real).....	42
Quadro 16 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero de Leirosa – Monte Real	53
Quadro 17 - Valores do parâmetro A em função da geologia (Vieira de Leiria – Marinha Grande)	54
Quadro 18 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande	63
Quadro 19 – Tabela síntese de variação das áreas correspondentes a cada classe de vulnerabilidade para diferentes cenários de subida do mar	64

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a Administração de Região Hidrográfica do Centro, IP, pela disponibilização das bases de dados de qualidade e quantidade fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradece-se também ao Dr. Manuel Oliveira pela revisão do relatório, esclarecimento de dúvidas e de pela discussão de metodologias a aplicar, e à Dra. Teresa Leitão pelo esclarecimento de dúvidas no âmbito da análise dos dados de qualidade disponíveis.

Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha dos sistemas aquíferos da região hidrográfica do Centro

Relatório da Tarefa 4.3 “Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha”

1. Apresentação e objectivos

A Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 (2000/60/CE), mais conhecida por Directiva–Quadro da Água (DQA), entrou em vigor em 22 de Dezembro de 2000, tendo sido transposta para o direito nacional pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro – Lei da Água. A Lei da Água e a Directiva–Quadro da Água visam proteger as águas superficiais interiores, as águas de transição, as águas costeiras e as águas subterrâneas, atingindo determinados objectivos ambientais através da execução de programas de medidas especificados em Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH), que abrange, no caso da Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P. (ARH do Centro), as bacias hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis. Os sistemas de informação foram identificados pela ARH do Centro I.P como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos eficaz e eficiente, podendo contribuir para o cumprimento das metas a serem fixadas por estes PGRH. Neste contexto, a ARH do Centro convidou o LNEC a realizar um estudo destinado à concepção e desenvolvimento da especificação de informação geográfica de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos, à elaboração de cartas de zonas inundáveis fluviais e estuarinas e à caracterização e modelação dos aspectos quantitativos e qualitativos dos sistemas aquíferos, aplicáveis às regiões hidrográficas sob jurisdição da ARH do Centro. Este estudo foi objecto de contrato entre as duas entidades, datado de 28 de Setembro de 2010.

O projecto está estruturado em quatro componentes:

- Componente 1: Desenvolvimento e implementação da especificação de informação geográfica através de modelos de dados geográficos;
- Componente 2: Modelação de recursos hídricos – cartas de zonas inundáveis fluviais;
- Componente 3: Modelação da inundaçãõ na ria de Aveiro e no estuário do rio Mondego;

- Componente 4: Modelação qualitativa e quantitativa em aquíferos.

O objectivo da componente 4 é a modelação qualitativa e quantitativa em aquíferos, que inclui a caracterização hidrogeológica da zona de jurisdição da ARH Centro, a caracterização das vulnerabilidades à poluição e à intrusão marinha, bem como a modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas.

Esta componente foi dividida nas seguintes tarefas:

Tarefa 4.1. – Modelação da recarga dos sistemas aquíferos;

Tarefa 4.2. – Caracterização da vulnerabilidade à poluição;

Tarefa 4.3. – Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha;

Tarefa 4.4. – Modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas;

Tarefa 4.5. – Modelação matemática nos sistemas aquíferos de porosidade intergranular do Quaternário de Aveiro e de Leirosa – Monte Real.

O presente documento constitui o 3º relatório da Componente 4, sendo o objectivo deste a determinação vulnerabilidade à intrusão marinha dos sistemas aquíferos da Região Hidrográfica do Centro, através da aplicação do método GALDIT.

2. Área de Estudo

A área de estudo ocupa parte da faixa litoral de Portugal continental, na Região Centro, estendendo-se para o interior do País em direcção ao Maciço Central, correspondendo às bacias hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis.

Trata-se de uma região de aproximadamente 11 480 km², abrangendo 69 municípios, que apresenta grandes contrastes geológicos e geomorfológicos que se reflectem nas características das massas de água que a compõem. A área em causa inclui duas grandes unidades hidrogeológicas, a Orla Ocidental Mesocenozóica e o Maciço Antigo. A primeira corresponde essencialmente a zonas de relevo pouco acidentado, cujas formações são essencialmente sedimentares. Já o Maciço Antigo, que serve de base à Orla Mesocenozóica é composto por rochas cristalinas.

Sob a jurisdição da região hidrográfica do Centro estão os sistemas aquíferos dos Aluviões do Mondego, Ançã – Cantanhede, Cársico da Bairrada, Condeixa – Alfarelos, Cretácico de Aveiro, Figueira da Foz – Gesteira, Leirosa – Monte Real, Louriçal, Luso, Pousos – Caranguejeira, Quaternário de Aveiro, Tentúgal, Verride, Vieira de Leiria – Marinha Grande e Viso Queridas, ocupando cerca de 30 % da área total dessa mesma região hidrográfica. Estes sistemas aquíferos são de diversos tipos, de porosidade intergranular, fracturados (Luso) e cársicos, podendo ser multicamada.

A análise da vulnerabilidade à intrusão marinha concentra-se nos aquíferos costeiros ou com fortes afinidades com o oceano como o Quaternário de Aveiro, Aluviões do Mondego, Figueira da Foz – Gesteira, Leirosa – Monte Real e Vieira de Leira – Marinha Grande – Figura 1.

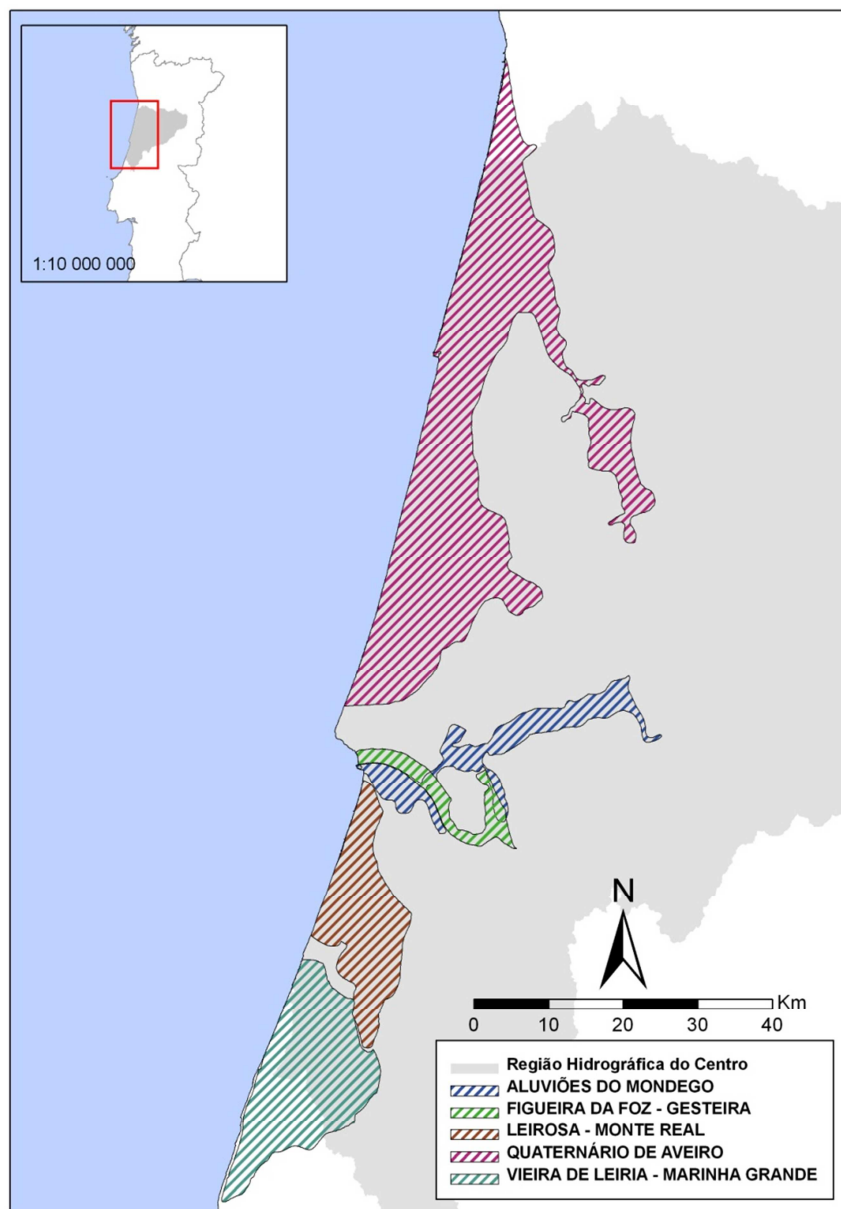


Figura 1 - Enquadramento da área de estudo

3. Trabalhos anteriores

O método GALDIT para a determinação da vulnerabilidade à intrusão marinha foi aplicado com sucesso em vários pontos do globo. É exemplo a aplicação na bacia hidrográfica do Pindaré-Mirim, no estado do Maranhão, Brasil (Pereira *et al.*, 2011), ou para a zona costeira de Goa, mais propriamente em Bardez Taluk (Chachadi e Lobo Ferreira, 2005). No segundo caso, para além da simples aplicação a fim de se perceber o estado actual de vulnerabilidade, foi também aplicado o conceito de subida do nível do mar. Outro caso de aplicação a nível internacional é o do estudo, no âmbito do projecto CIAS, na zona de costa da Guiné-Bissau (Terceiro e Lobo Ferreira, 2010).

No território nacional, este método foi aplicado a sul do País, para os esteiros do rio Guadiana, na zona de Monte Gordo, onde foram implementados cenários de subida do mar e analisadas as variações da vulnerabilidade à intrusão marinha (Lobo Ferreira *et al.*, 2005).

4. Metodologia

A intrusão marinha em aquíferos costeiros é um dos fenómenos que pode influenciar a qualidade da água subterrânea nas áreas afectadas pela subida do nível médio do mar. A sobreexploração destes aquíferos é uma das principais causas deste fenómeno, já que o incremento dos volumes de água captados pode resultar na diminuição do nível de água subterrânea. Como consequência, a interface água doce / água salgada avança para o interior do continente, dando origem à salinização não só da água como também do solo.

Lobo Ferreira *et al.* (2007) definiram vulnerabilidade à intrusão marinha (neste relatório designada de marinha por ser proveniente do mar) como “a sensibilidade da qualidade da água subterrânea a uma extracção imposta ou à subida do nível do mar, determinada pelas características intrínsecas do aquífero”. Esta definição relaciona-se com a definição de vulnerabilidade à poluição de aquíferos (“a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero e do tipo de poluente”), proposta por Lobo Ferreira e Cabral (1991). O método GALDIT refere-se a um aspecto específico de vulnerabilidade que se pode enquadrar dentro do campo mais vasto das metodologias de vulnerabilidade à poluição/alteração da qualidade das águas subterrâneas.

Os factores mais importantes que controlam a intrusão marinha em aquíferos costeiros são os seguintes: ocorrência de águas subterrâneas (tipo do aquífero: não confinado, confinado ou semi-confinado); condutividade hidráulica do aquífero; nível piezométrico (acima do nível do mar); distância à linha de costa; impacto da existência de fenómenos de intrusão marinha na área; e espessura da camada do aquífero em estudo. O método foi denominado GALDIT do seu acrónimo em inglês (**G**roundwater occurrence (aquifer type; unconfined, confined and leaky confined); **A**quifer hydraulic conductivity; **D**epth to groundwater **L**evel above the sea; **D**istance from the shore (distance inland perpendicular from shoreline); **I**mpact of existing status of sea water intrusion in the area; and **T**hickness of the aquifer, which is being mapped). A caracterização espacial de cada um destes factores, e a sua combinação conjunta permite obter um índice ponderado que representa a vulnerabilidade à intrusão marinha do sistema aquífero costeiro em estudo.

O método GALDIT foi desenvolvido por Chachadi e Lobo Ferreira (2001) com o objectivo de avaliar a vulnerabilidade à intrusão marinha das regiões costeiras de clima tropical da Índia, no âmbito do projecto COASTIN (*cf.* http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/estudos_id/costin). Embora tenha sido criado considerando condições particulares do litoral indiano, uma vez que incorpora aspectos universais do funcionamento dos aquíferos costeiros, a sua aplicação é possível em qualquer região costeira. Posteriormente, o método foi modificado pelos autores, sendo utilizada neste trabalho a versão descrita em Chachadi e Lobo Ferreira (2007).

Os valores dos parâmetros variam entre 2,5 e 10 que correspondem, respectivamente, a uma vulnerabilidade à intrusão marinha baixa e alta. De forma geral, estes valores são atribuídos a partir de tabelas que fazem a correspondência entre as características hidrogeológicas locais e o valor do parâmetro associado. Os coeficientes de ponderação variam entre 1 e 4, valores que são associados, respectivamente, aos parâmetros com menor e maior influência na vulnerabilidade, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros GALDIT

Parâmetro GALDIT	Valor do Coeficiente de Ponderação
G – Ocorrência de Aquíferos	1
A – Condutividade Hidráulica	3
L – Nível piezométrico (acima do nível do mar)	4
D – Distância à linha de costa	4
I – Impacte do estado actual da intrusão marinha na região	1
T – Espessura do aquífero	2

Conhecido o valor de cada parâmetro, o índice GALDIT é calculado utilizando todos os parâmetros, através da seguinte equação (Chachadi e Lobo Ferreira, 2007):

$$\text{Índice GALDIT} = (1 \times G + 3 \times A + 4 \times L + 4 \times D + 1 \times I + 2 \times T) / 15$$

As classes de vulnerabilidade GALDIT, que se encontram descritas no Quadro 2, são definidas em função do índice calculado utilizando a equação anterior (Chachadi e Lobo Ferreira, 2007). Os parágrafos seguintes descrevem com maior detalhe cada um dos parâmetros.

Quadro 2 – Classes de vulnerabilidade

Classes de vulnerabilidade	Índice GALDIT
Vulnerabilidade elevada	$\geq 7,5$
Vulnerabilidade moderada	5 – 7,5
Vulnerabilidade baixa	≤ 5

Ocorrência de Aquíferos (G) – refere-se ao tipo de aquífero, que pode ser confinado, livre, semi-confinado ou limitado por uma ou mais fronteiras. Os autores referem que a ocorrência de intrusão marinha depende do tipo de aquífero. Assim, em condições naturais, os aquíferos livres são mais susceptíveis à intrusão marinha do que os aquíferos confinados, uma vez que estes possuem a protecção de uma carga hidráulica superior à pressão atmosférica. Contudo, quando há exploração, o aquífero confinado torna-se de todos o mais vulnerável, devido à formação de um maior cone de rebaixamento e descarga instantânea de água para as captações durante a bombagem. Os aquíferos semi-confinados são menos susceptíveis uma vez que não só possuem uma carga hidráulica superior à que existiria num aquífero livre, como também podem manter ao longo do tempo pelo menos uma parte dessa carga através da drenância a partir dos aquíferos circundantes. Os aquíferos separados do mar por uma barreira impermeável encontram-se mais protegidos da intrusão marinha, sendo os menos vulneráveis a este fenómeno (Novo (2007) e Chachadi e Lobo Ferreira, 2007). Os últimos autores ressalvam que, no caso de sistemas multi-aquífero, se pode atribuir o valor 10 ao aquífero confinado. O Quadro 3 mostra o valor do índice atribuído por tipo de aquífero.

Quadro 3 – Parâmetro G: ocorrência de aquíferos

Classes “ocorrência de aquíferos”	Valor do índice
Aquífero confinado	10
Aquífero livre	7,5
Aquífero semi-confinado	5
Aquífero limitado (recarga e/ou barreira impermeável alinhada paralelamente à linha de costa)	2,5

Condutividade hidráulica (A) – este parâmetro é utilizado para medir a velocidade de fluxo de água no aquífero, para o mar. A condutividade hidráulica de um aquífero define-se como a sua capacidade em transmitir água e depende da porosidade eficaz e da fracturação em rochas consolidadas. A condutividade hidráulica influencia a dimensão da intrusão marinha ou seja, quanto mais elevado for o seu valor maior será o avanço da cunha marinha. A intrusão marinha tende a ser maior não só nos períodos de estio, quando a recarga é menor, como também em regiões sujeitas à sobreexploração, já que o rebaixamento do nível de água doce promove o avanço da água do mar para o continente (Novo, 2007). O Quadro 4 contém as diferentes classes e valores deste parâmetro.

Quadro 4 – Parâmetro A: condutividade hidráulica

Classes “condutividade hidráulica”	Intervalo (m/d)	Valor do índice
Elevada	> 40	10
Média	10 – 40	7,5
Baixa	5 – 10	5
Muito Baixa	< 5	2,5

Nível piezométrico (acima do nível do mar) (L) – refere-se ao nível de água subterrânea medido em relação ao nível do mar. É um parâmetro bastante importante, uma vez que permite determinar a carga hidráulica que faz recuar o avanço da cunha salina. Neste parâmetro deve ser considerada apenas a variação temporal de longo período dos níveis de água. As diferentes classes e respectivos valores deste parâmetro encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5 – Parâmetro L: nível piezométrico (acima do nível do mar)

Classes “nível piezométrico (acima do nível do mar)”	Intervalo (m)	Valor do índice
Elevada	< 1	10
Média	1 – 1,5	7,5
Baixa	1,5 – 2	5
Muito Baixa	> 2	2,5

Distância à linha de costa (D) – o impacte da intrusão marinha geralmente diminui com o aumento da distância na perpendicular à linha de costa, apresentando valores máximos junto da linha litoral. O Quadro 6 apresenta os valores atribuídos a este parâmetro.

Quadro 6 – Parâmetro D: distância à linha de costa

Classes “distância à linha de costa”	Intervalo (m)	Valor do índice
Muito Perto	< 500	10
Perto	500 – 750	7,5
Meia distância	750 – 1000	5
Longe	> 1000	2,5

Impacte do estado actual da intrusão marinha na região (I) – reflecte o desequilíbrio que pode existir entre a água do mar e a água doce, por alteração do equilíbrio hidráulico em condições naturais, como resultado da actividade antropogénica já existente na zona. Chachadi e Lobo Ferreira (2001) recomendam a utilização da razão $Cl^- / [HCO_3^- + CO_3^{2-}]$ como um dos possíveis critérios de avaliação da intrusão marinha em aquíferos costeiros. Na ausência de dados hidroquímicos pode usar-se informação recolhida no campo ou dos próprios utilizadores da água. As concentrações devem encontrar-se em miliequivalentes por litro. O Quadro 7 ilustra os valores para este parâmetro.

Quadro 7 – Parâmetro I: Impacte do estado actual da intrusão marinha na região

Classes “impacte do estado actual da intrusão marinha na região”	Razão $Cl^- / [HCO_3^- + CO_3^{2-}]$ na água doce	Valor do índice
Alta	> 2	10
Média	1,5 – 2	7,5
Baixa	1 – 1,5	5
Muito baixa	< 1	2,5

Espessura do aquífero (T) – a espessura do aquífero e a espessura saturada do aquífero confinado desempenha um papel importante no controlo da intrusão marinha. Quanto maior for a espessura do aquífero maior a extensão da intrusão.

Quadro 8 – Parâmetro T: espessura do aquífero

Classes “espessura do aquífero”	Intervalo (m)	Valor do índice
Grande	> 10	10
Média	7,5 – 10	7,5
Pequena	5 – 7,5	5
Muito pequena	< 5	2,5

5. Aplicação do método GALDIT aos sistemas aquíferos da Região Centro

5.1 Introdução

A análise da vulnerabilidade à intrusão marinha foi aplicada aos aquíferos da região hidrográfica do Centro que estão em contacto com o oceano ou que sofrem a influência dos efeitos de maré. Esta análise teve em conta os cenários de alterações climáticas, nomeadamente a subida nível médio do mar.

No sentido de caracterizar o avanço da cunha salina, foram analisados os dados de qualidade fornecidos pela ARH do Centro. Procedeu-se à selecção de todos os pontos dentro dos limites dos sistemas aquíferos em estudo que possuíam dados de concentrações de Cloretos e Bicarbonatos. Seleccionou-se desses pontos as amostras mais recentes, correspondentes ao mês de Abril de 2010, convertendo-se as concentrações dos elementos a analisar de mg/L para meq/L (Anexo 3).

Domenico & Schwartz (1997) mostram através do Gráfico 1, representativo do sistema carbonatado, que entre o pH 7 e pH 9 o Bicarbonato é a espécie mais abundante, apresentando o Carbonato concentrações muito baixas. Apenas a partir do pH 10, raro na natureza, é que o Carbonato se torna a espécie dominante e não se deve considerar como desprezível.

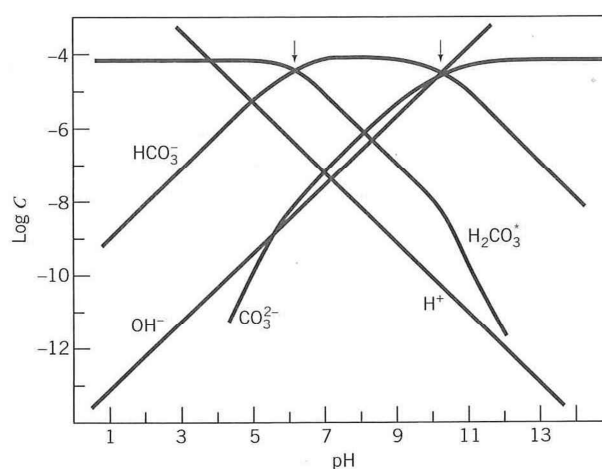


Gráfico 1 – Diagrama Log-C vs. pH representando o sistema carbonatado (Domenico & Schwartz, 1997)

Optou-se portanto por se calcular a relação $[Cl/HCO_3^-]$ ignorando-se a concentração de CO_3^{2-} , considerando que todas as amostras utilizadas no cálculo desta relação possuem pH inferior a 9.

5.2 Quaternário de Aveiro (O1)

5.2.1 Parâmetros GALDIT

Almeida *et al.* (2000) define o sistema aquífero do Quaternário de Aveiro como um sistema multiaquífero, poroso, em que o aquífero instalado nas dunas apresenta uma vulnerabilidade elevada a fenómenos de contaminação. Neste contexto definiu-se para todas as áreas correspondentes a areias de duna, areias de praia e litologias recentes o índice do parâmetro G como aquífero livre (7,5). Para as restantes áreas (que apresentam as litologias cretácicas e jurássicas e triásicas) foi definido o índice 5 correspondente a aquíferos semi-confinados.

Os valores de condutividade foram determinados a partir do ábaco proposto por Freeze e Cherry (1979) e tendo por base a cartografia geológica (IGM) à escala de 1:50 000, foram atribuídos os respectivos índices de vulnerabilidade GALDIT relativos ao parâmetro A, apresentados no Quadro 9 e na Figura 2.

Quadro 9 – Valores do parâmetro A em função da geologia (Quaternário de Aveiro)

Geologia (Carta geológica 1:50 000)	A
Arenitos de Eirol (T)	2.5
Camadas de Coimbra (J1_cd)	2.5
Margas e calcários margosos de Vale das Fontes (J1_ef)	2.5
Calcários e calcários margosos (J1_f)	2.5
Arenitos de Carrascal (C1-2)	2.5
Gres de Palhaça (C1-2)	2.5
Arenitos de Requeixo (C2)	2.5
Depositos argilo-gresosos (C2)	2.5
Calcários de Tentúgal (C2-3)	2.5
Grés de Furadouro (C3)	2.5
Grés de Oiã (C3-4)	2.5
Grés de Furadouro (C3_F)	2.5
Argilas de Vagos (C5)	2.5
Argilas de Viso (C5)	2.5
Arenitos de Viso (C5*)	2.5
Conglomerado de Mira (C5*)	2.5

Geologia (Carta geológica 1:50 000)	A
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (Areias de Cordinhã) (P)	5.0
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (Areias de Cantanhede) (Q2)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 60-70m (Q2_a)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 45-50m (Q2_b)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 30-40m (Q3)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 30-40m (seixos e cascalheiras roladas) (Q3*)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 15-20 m (Q4_a)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 15-20m (Q4_a)	7.5
Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 5-8m (Q4_b)	7.5
Formação areno-pelítica de cobertura (Qp)	7.5
Areias eólicas (s.l.) - Areias de Gandara (s.l.) (A)	7.5
Areias de duna (Ad)	7.5
Areias hidro-eólicas - Areias de Gandara (s.l.) (Ae)	7.5
Areias de praia (Ap)	7.5
Cordão dunar de praia (da)	7.5
Dunas com orientação W-E (db)	7.5
Dunas parabólicas (dc)	7.5
Dunas parabólicas - Areias de Gandara (s.l.) (dc)	7.5
Dunas com orientação NW-SE (dd)	7.5
Eluviões carbonatados (Ec)	7.5
Aluviões (a)	2.5

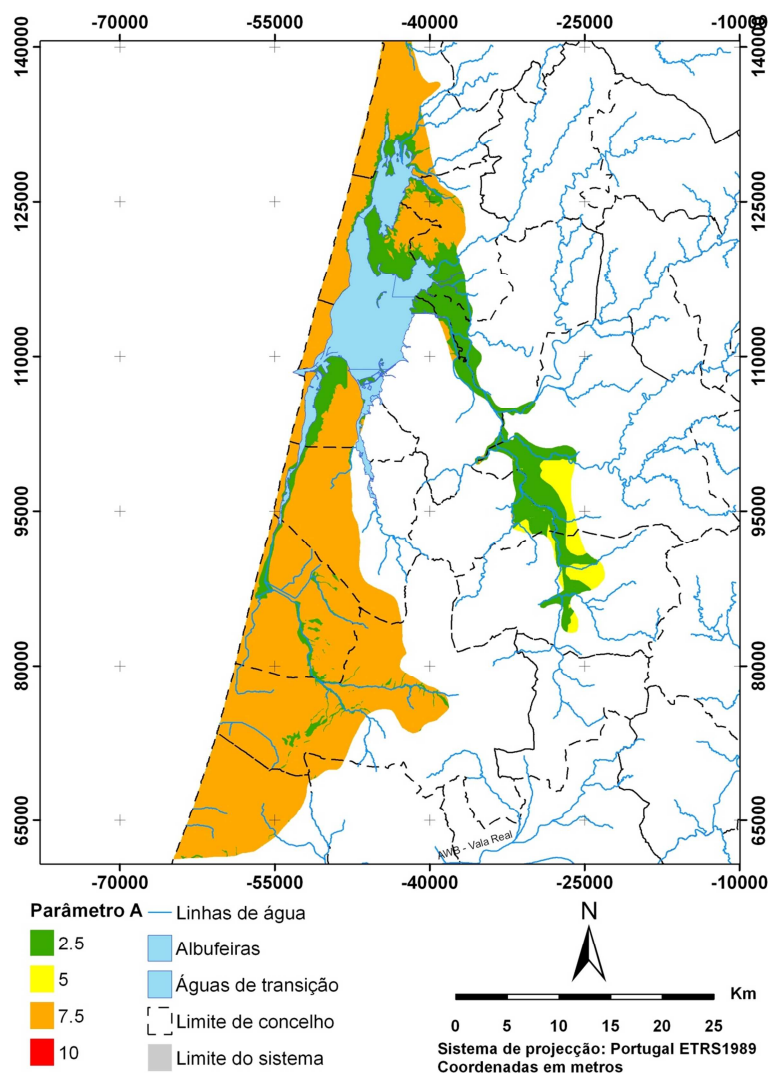


Figura 2 – Caracterização do parâmetro A (Quaternário de Aveiro)

A determinação da altura da água acima do nível do mar (nível piezométrico) teve como apoio os dados de piezometria fornecidos pela ARH do Centro. No entanto, devido ao facto da fraca correlação destes dados não permitir criar uma superfície de tendência, foi calculado um valor médio a partir destes mesmos dados e a partir do modelo digital do terreno calculado o nível da água acima do mar.

Com vista à caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha face a uma eventual subida do nível do mar na área de influência da maré na zona costeira devido a alterações climáticas, recalculou-se o nível piezométrico da situação de referência, considerando uma subida do nível médio do mar de 0,25 m, 0,50 m e 1 m – Figura 3.

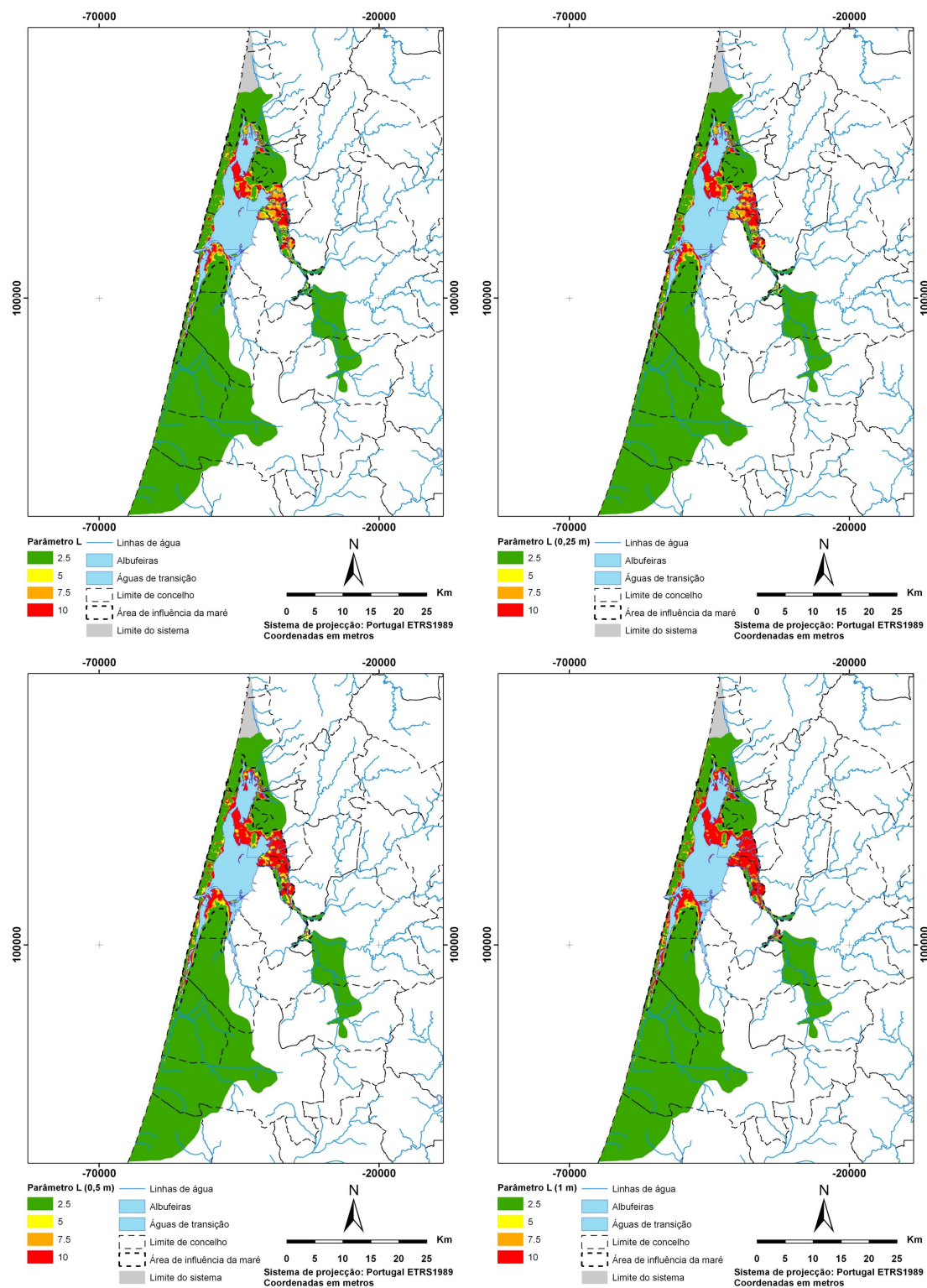


Figura 3 – Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Quaternário de Aveiro)

Dado que a influência da maré é muito elevada na Ria de Aveiro, foi necessário adoptar critérios de definição do parâmetro D que reflectam esse comportamento da maré oceânica no interior como contributo para o possível avanço da cunha salina. Assim, foram analisados dados relativos à amplitude de maré registados no porto de Aveiro (Intitulo Hidrográfico), e determinou-se como valor máximo de subida da maré 4 m. A este valor foi acrescido 1 metro, que representa o reflexo do cenário de subida do nível do mar. A partir do modelo digital do terreno foi desenhada a linha de cota correspondente aos 5 m de altitude, e determinou-se que dentro desta área (dos 0 aos 5 m) se teria em consideração o efeito do prisma de maré, delimitando-se para além dos *buffers* relativos à distância de 500, 750 e 1000 m do NMM, *buffers* com o mesmo espaçamento em torno do plano correspondente à Ria de Aveiro – Figura 4. Este limite dos 5 m delimita portanto uma sub-área de estudo da vulnerabilidade dentro da área do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro.

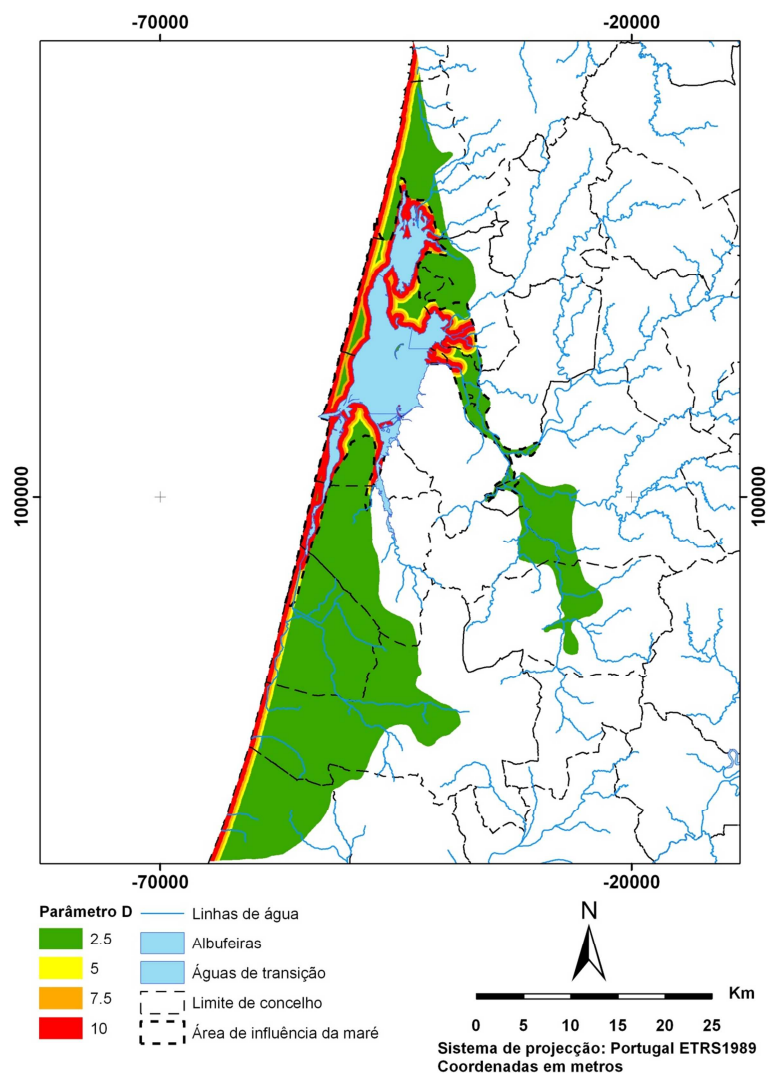


Figura 4 – Caracterização do parâmetro D (Quaternário de Aveiro)

Para a determinação do parâmetro I (Figura 5) foram usados os dados de qualidade, também fornecidos pela ARH do Centro, no sentido de se calcular e representar espacialmente a relação entre as concentrações dos iões cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-) em miliequivalentes. Para tal foi calculada uma superfície de tendência através do método da Krigagem a partir da qual se atribuíram os índices de vulnerabilidade.

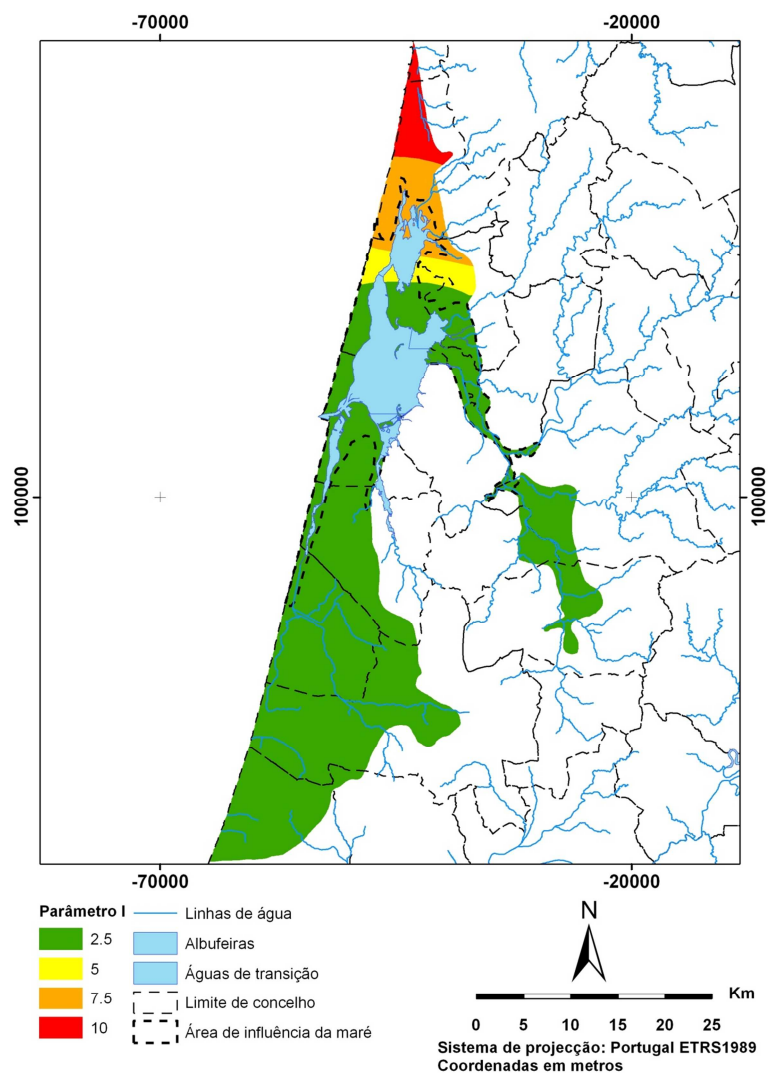


Figura 5 – Caracterização do parâmetro I (Quaternário de Aveiro)

Finalmente, foi definida através do método da krigagem e com base nos logs de sondagem reunidos na base de dados INVENTAR do LNEC uma superfície correspondente à base do sistema aquífero, definindo-se consequentemente a sua espessura - Figura 6.

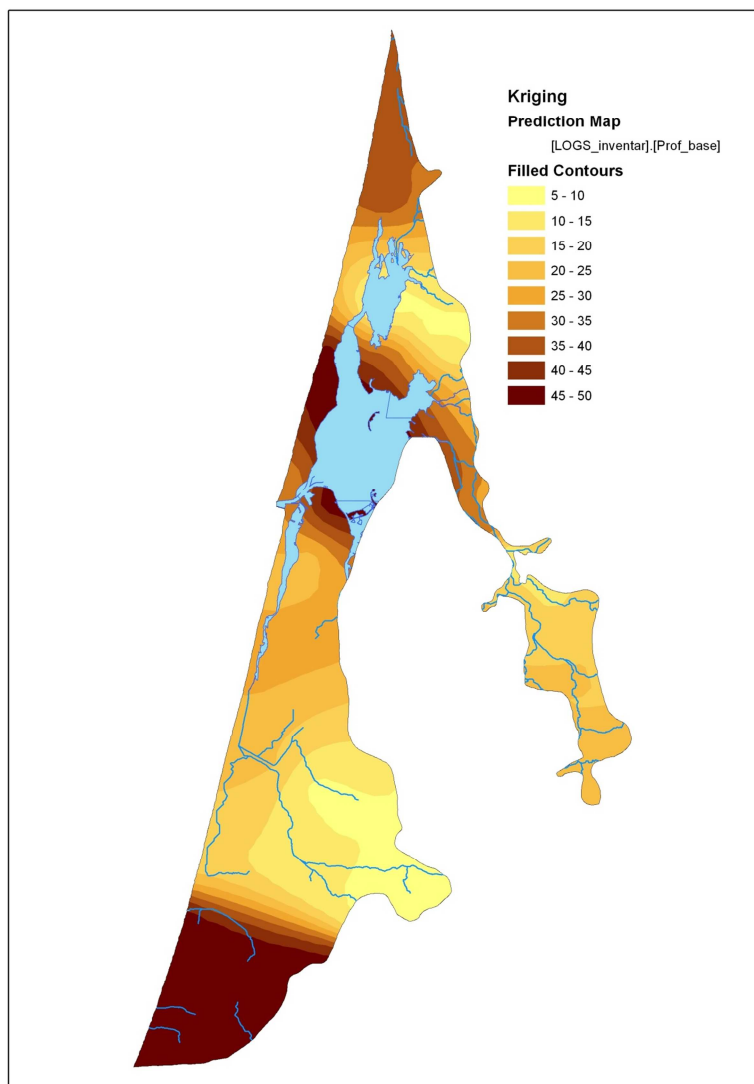


Figura 6 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro

5.2.2 Resultados

A Figura 7 mostra os resultados do cálculo do índice GALDIT para a situação actual, situação de subida do mar 0,25 m, subida de 0,50 m e situação de subida de 1 m, respectivamente.

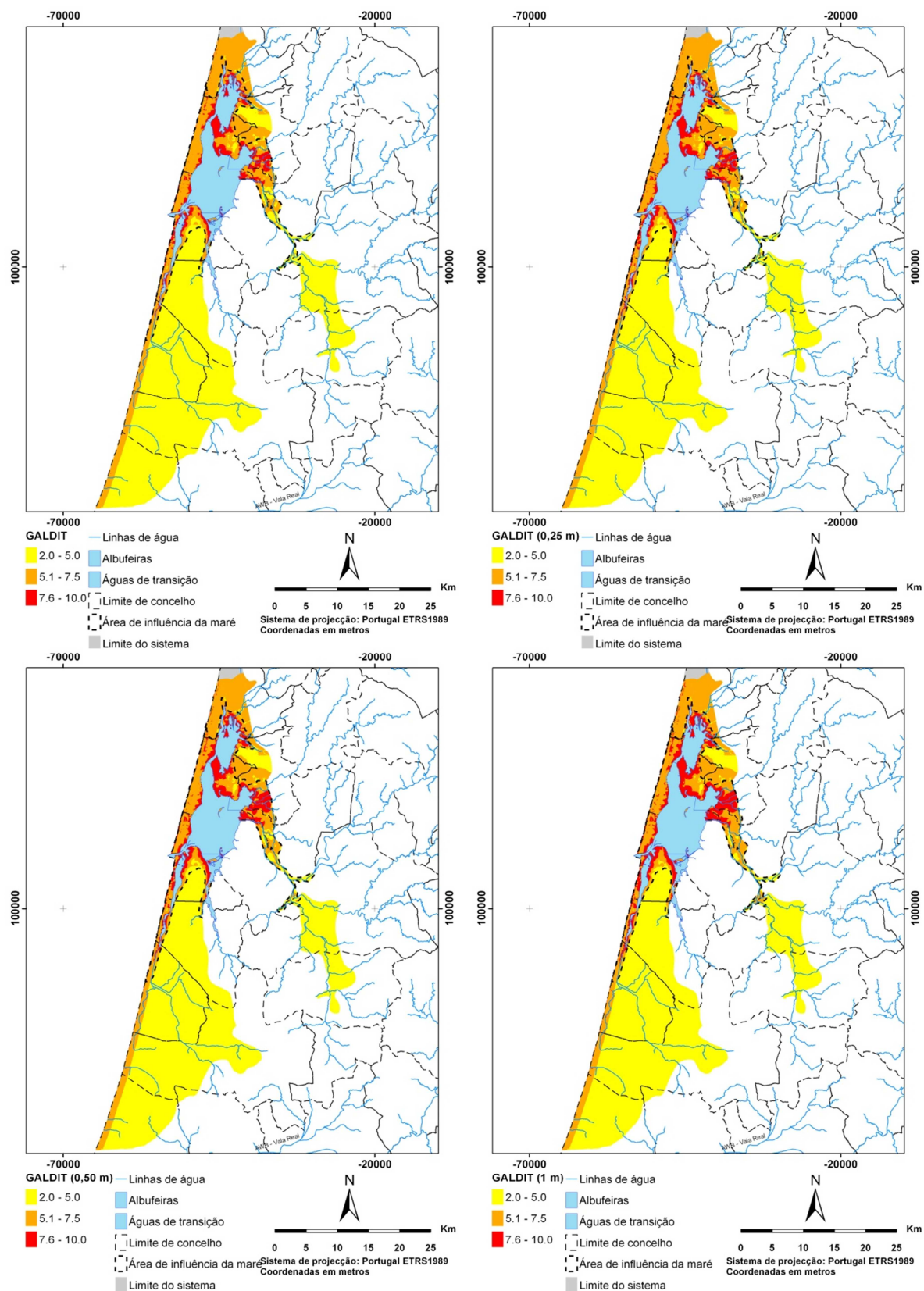


Figura 7 - Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m

Embora a escala a que se apresentam os resultados da vulnerabilidade à intrusão marinha não permita observar instantaneamente variações na vulnerabilidade com a subida do nível do mar, estas podem ser observadas se observarmos em pormenor algumas das áreas circundantes da Ria (focando a sub-área de estudo enunciada). É possível verificar um progressivo aumento, ainda que suave, da vulnerabilidade elevada e da moderada para o interior à medida que se faz variar o parâmetro L – Figura 8.

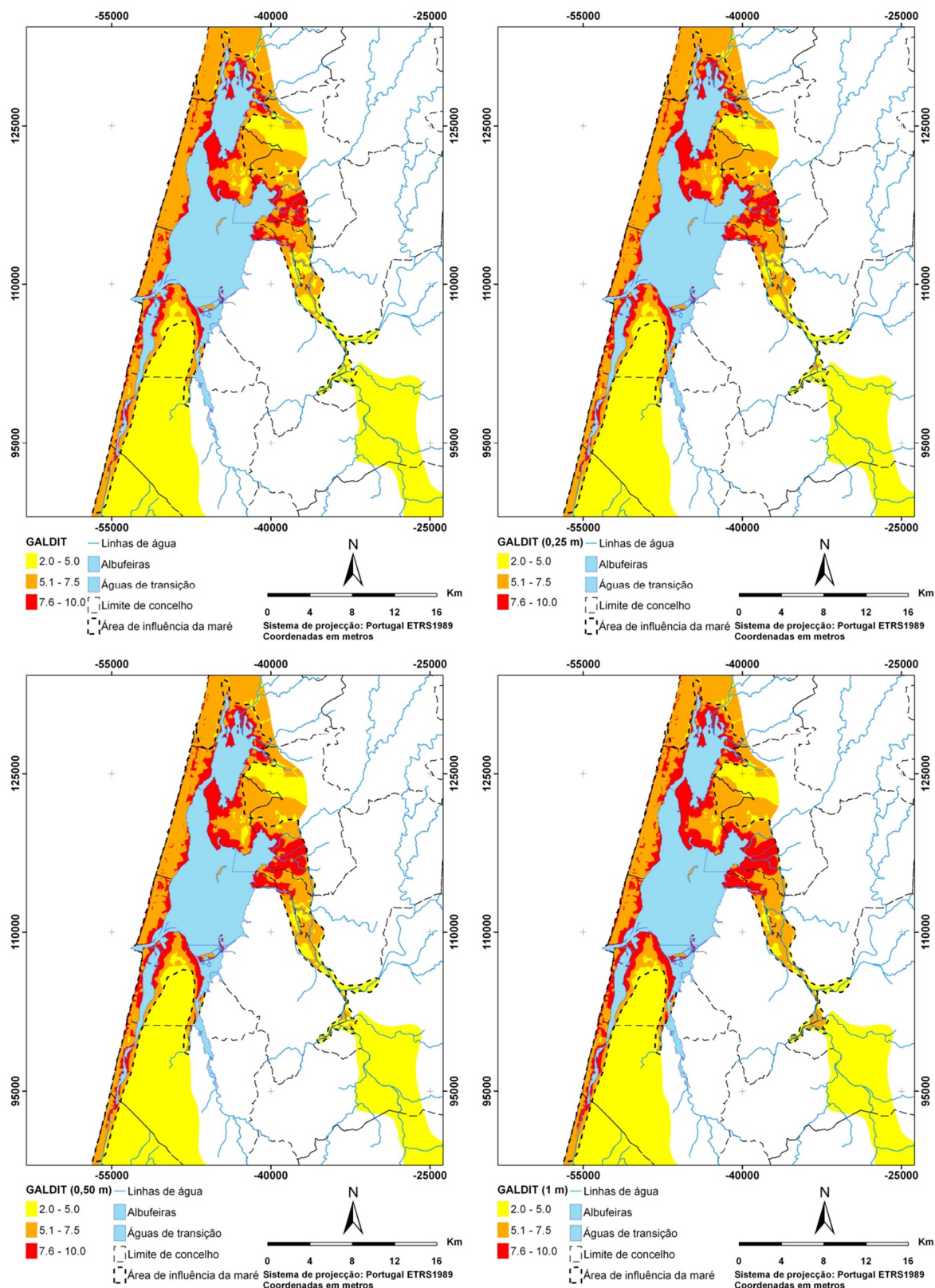


Figura 8 - Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m em pormenor para a sub-área de estudo

O Quadro 10 apresenta a variação das áreas correspondentes a cada índice de vulnerabilidade perante os diferentes cenários de subida do mar.

Quadro 10 – Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero do Quaternário de Aveiro

	Área aflorante (m ²)	Índice GALDIT		
		Baixa (≤ 5)	Moderada (5 - 7.5)	Elevada (≥ 7.5)
Situação actual	905360326	564304617	247054452	93711041
Subida de 0,25 m		561738805	242523029	101179078
Subida de 0,50 m		558948553	236386662	110120839
Subida de 1 m		553060620	230209887	122203720

5.3 Aluviões do Mondego (O6)

5.3.1 Parâmetros GALDIT

Almeida *et al.* (2000) definem o sistema aquífero dos Aluviões do Mondego como um sistema aquífero livre a confinado ou semi-confinado, poroso, multicamada. Atendendo ao facto que possui grande afinidade ao rio Mondego, caracteriza-se por variações importantes de fácies, e uma grande heterogeneidade litológica. Assim, optou-se por se atribuir para toda a sua extensão o índice de vulnerabilidade 5, correspondente a um aquífero semi-confinado.

Os valores de condutividade foram determinados a partir do ábaco proposto por Freeze e Cherry (1979) e tendo por base a cartografia geológica apresentada por Almeida *et al.* (2000), foram atribuídos os respectivos índices de vulnerabilidade GALDIT relativos ao parâmetro A, apresentados no Quadro 11 e na Figura 9.

Quadro 11 – Valores de parâmetro A em função da geologia (Aluviões do Mondego)

Geologia (Almeida <i>et al.</i>, 2000)	A
Grés de Silves e Margas da Dagorda (T-J1)	2.5
Depósitos de terraços (Q)	7.5
Areias de duna e areias de praia (Q)	7.5
Aluviões (a)	5.0

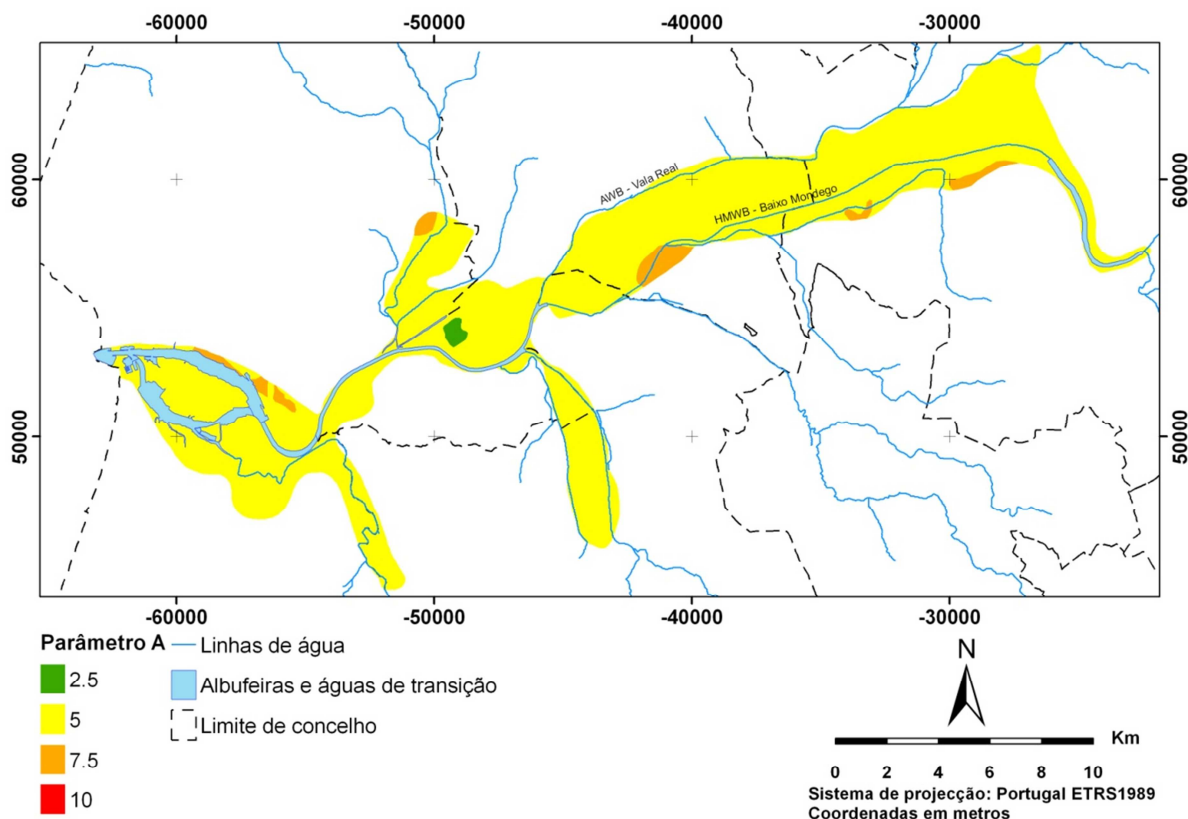


Figura 9 – Caracterização do parâmetro A (Aluviões do Mondego)

A determinação da altura da água acima do nível do mar (nível piezométrico) teve como apoio os dados de piezometria contemporâneos registados na base de dados INVENTAR. Foi assim criada uma superfície piezométrica através do método geoestatístico do inverso do quadrado da distância – Figura 10. Dada a grande afinidade do sistema com as águas superficiais definiram-se pontos correspondentes aos segmentos das linhas de água, representando zonas de descarga (ou seja, nível piezométrico igual a 0).

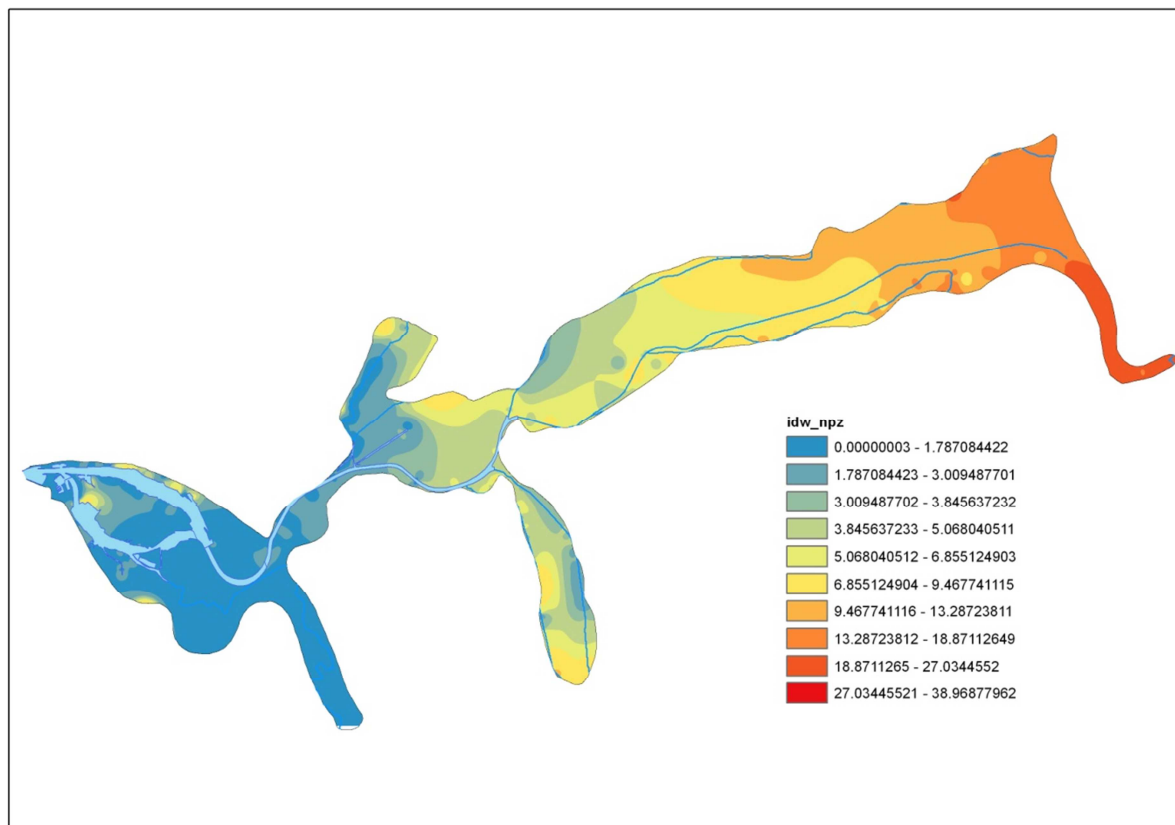


Figura 10 – Nível piezométrico do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego

Com vista à caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha face a uma eventual subida do nível do mar na área de influência da maré na zona costeira devido a alterações climáticas, recalculou-se o nível piezométrico da situação de referência, considerando uma subida do nível médio do mar de 0,25 m, 0,50 m e 1 m – Figura 11. Embora se pudesse considerar, tal como foi feito para o sistema aquífero de Aveiro, uma zona tampão (*buffer*) para o contorno do estuário do Mondego, considerou-se que a influência da maré, embora relevante ao nível das águas superficiais não teria impacto significativo no avanço da cunha salina para o interior devido aos importantes caudais deste rio.

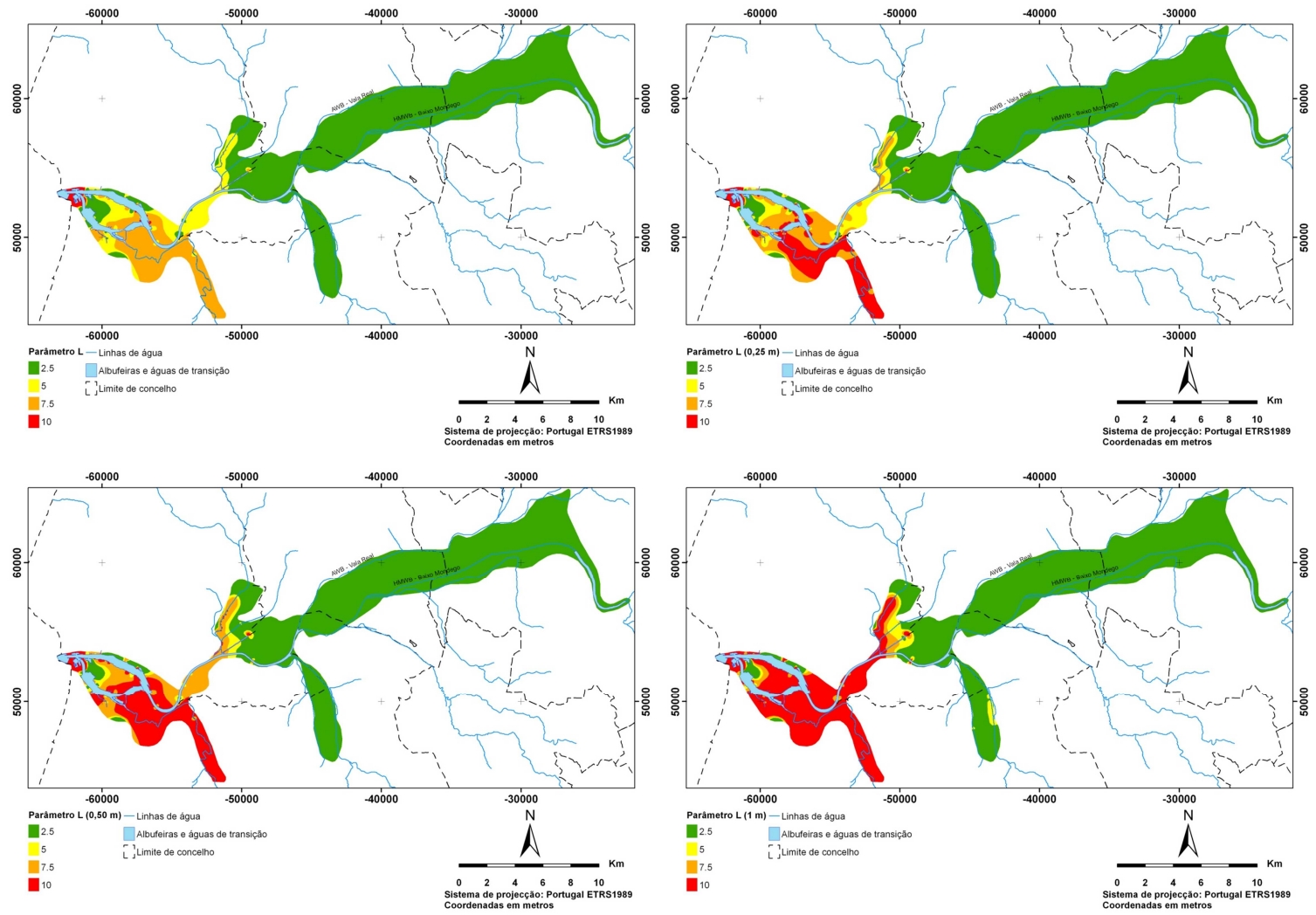


Figura 11 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Aluviões do Mondego)

O parâmetro correspondente à distância à linha da costa (D) foi determinado através do cálculo de três distâncias na perpendicular à linha da costa e em torno das secções consideradas como águas de transição, de 500, 750 e 1000 m – Figura 12. Assim, à semelhança com o procedimento tomado para o Quaternário de Aveiro, tem-se em conta a influência da maré dentro do estuário do Mondego.

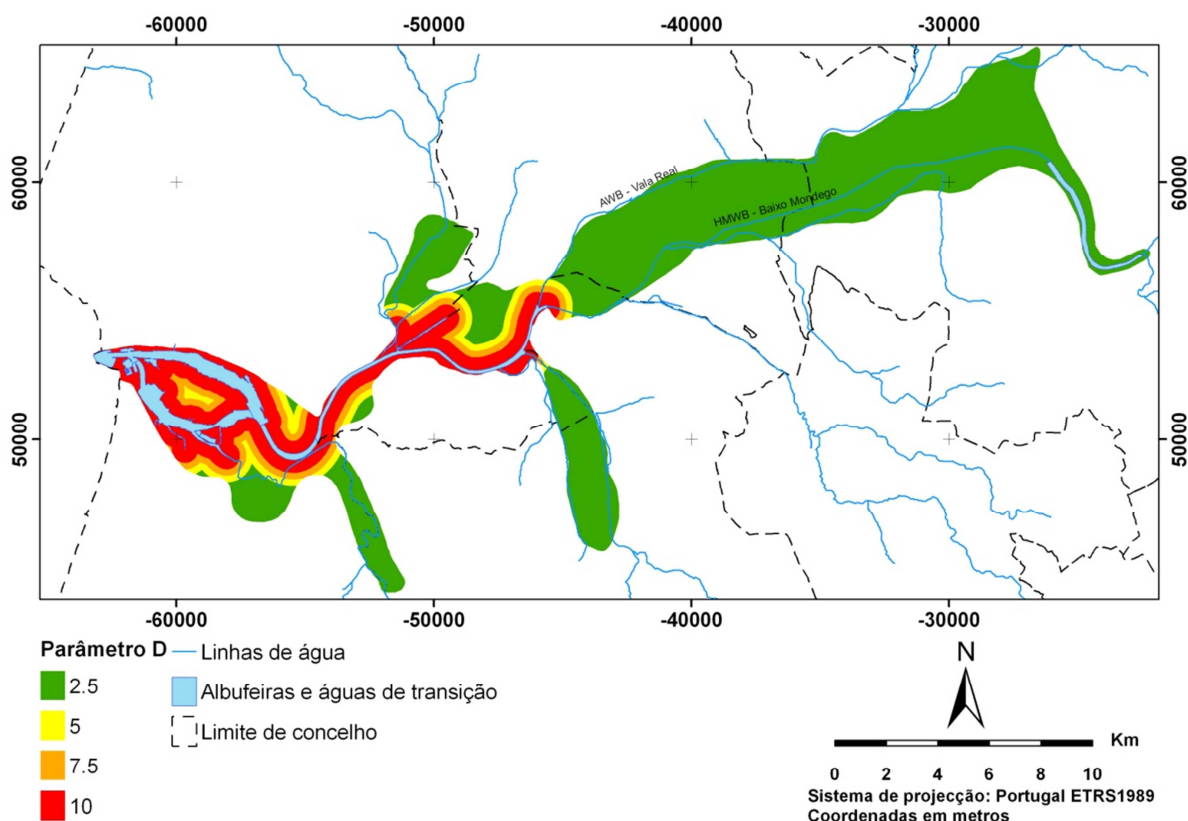


Figura 12 – Caracterização do parâmetro D (Aluviões do Mondego)

Para a determinação do parâmetro I foram usados os dados de qualidade, também fornecidos pela ARH do Centro, no sentido de calcular e representar espacialmente a relação entre as concentrações (em miliequivalentes por litro) dos iões cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-). Para tal foi calculada uma superfície de tendência através do método do inverso do quadrado da distância (IDW) a partir da qual se atribuíram os índices de vulnerabilidade - Figura 13.

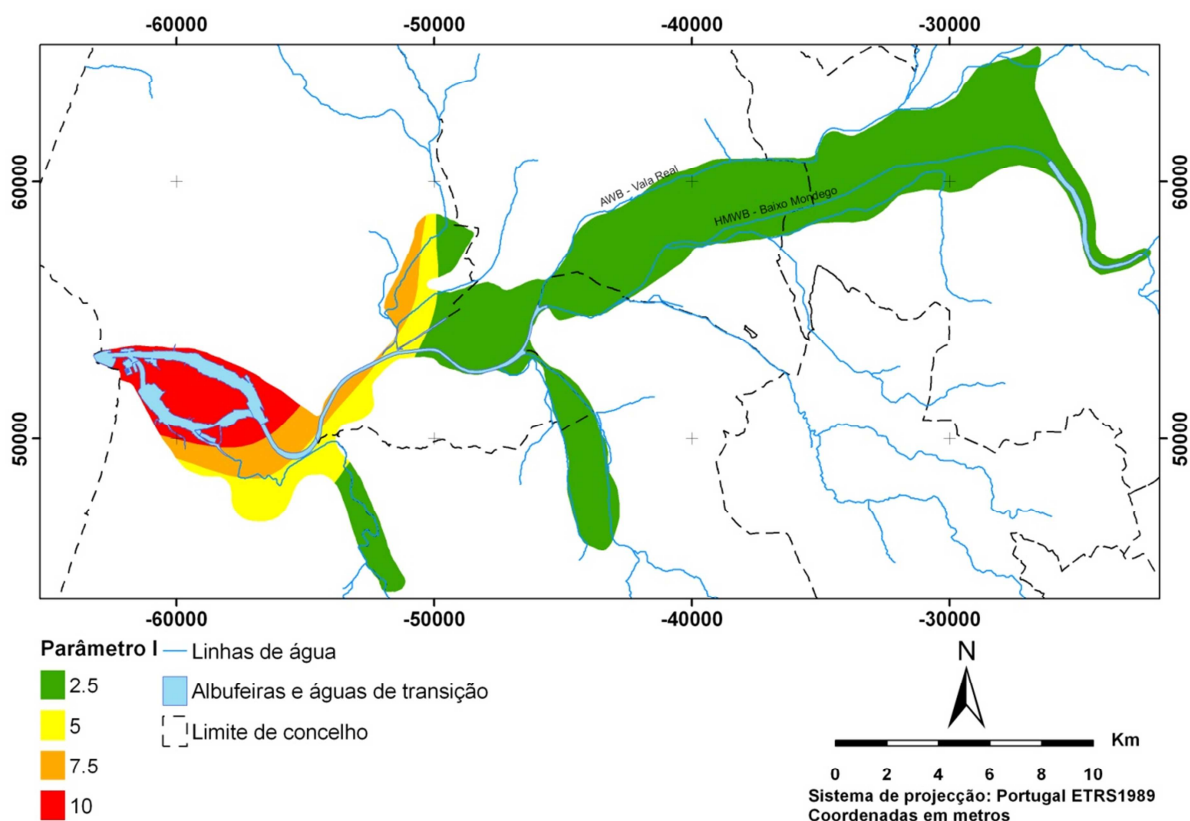


Figura 13 – Caracterização do parâmetro I (Aluviões do Mondego)

Finalmente, foi definida através do método da krigagem e com base nos *logs* de sondagem reunidos na base de dados INVENTAR e nas espessuras médias apresentadas por Almeida *et al.* (2000) uma superfície correspondente à base do sistema aquífero, definindo-se consequentemente a sua espessura - Figura 14.

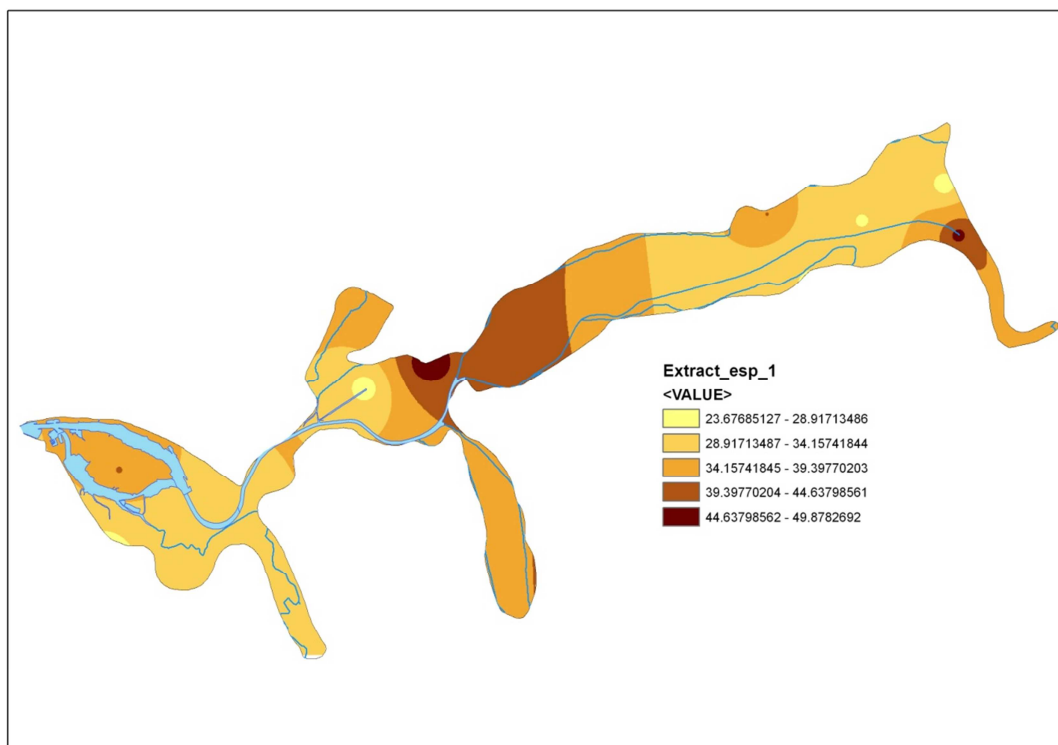


Figura 14 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego

5.3.2 Resultados

A observação da Figura 15, que corresponde respectivamente à situação actual de vulnerabilidade à intrusão marinha, à situação de subida do mar 0,25 m, subida de 0,50 m e subida de 1 m, permite observar, significativo aumento da vulnerabilidade máxima para o interior do estuário, ao longo do rio, para Leste da garganta de Lares. Como seria de esperar, a vulnerabilidade nas áreas mais interiores do sistema em relação ao litoral possuem vulnerabilidade ao avanço da cunha salina baixa.

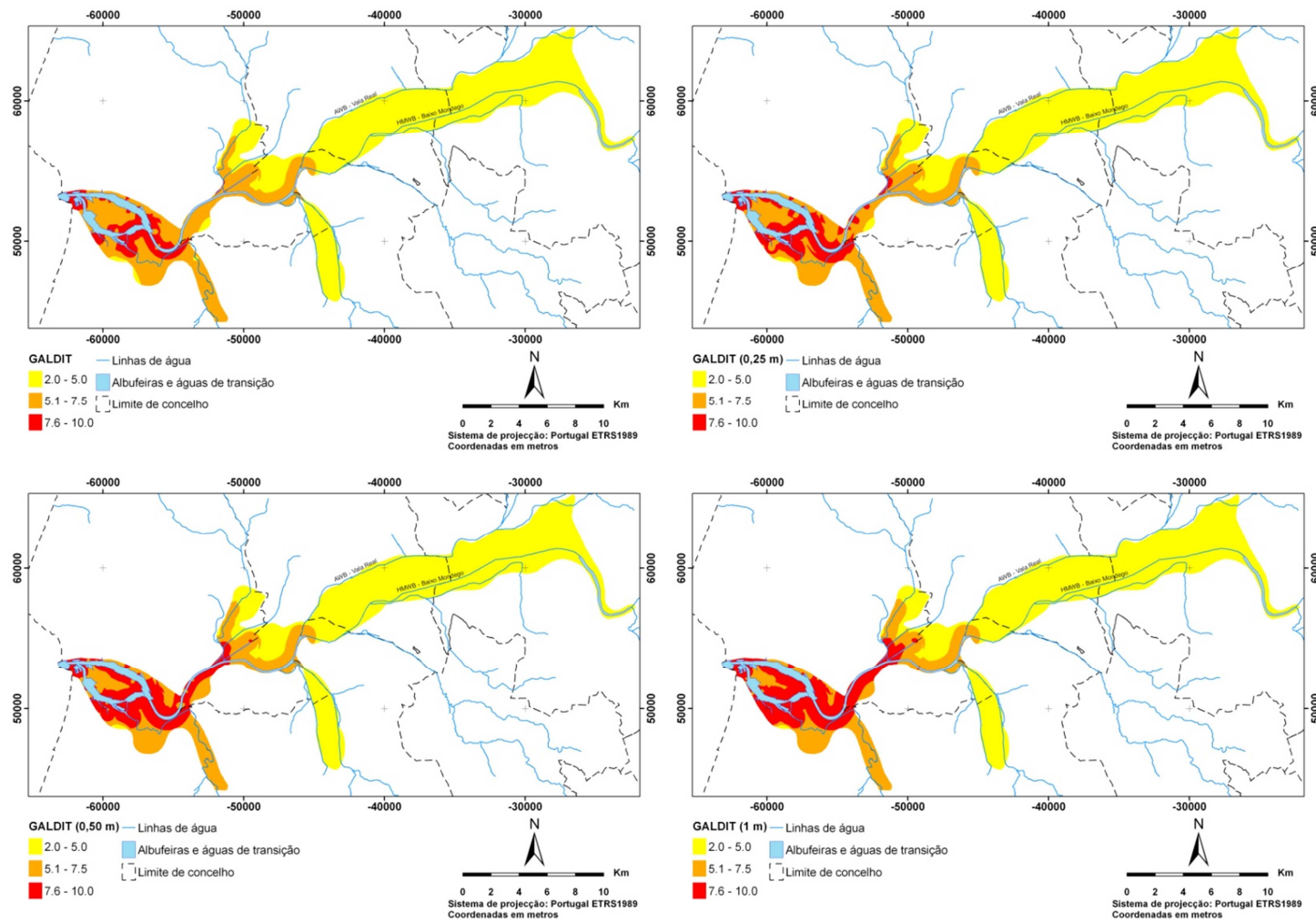


Figura 15 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m

O Quadro 12 apresenta a variação das áreas correspondentes a cada índice de vulnerabilidade perante os diferentes cenários de subida do mar.

Quadro 12 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero dos Aluviões do Mondego

	Área aflorante (m ²)	Índice GALDIT		
		Baixa (≤ 5)	Moderada (5 - 7.5)	Elevada (≥ 7.5)
Situação actual	148118642	93942467	41086253	13090392
Subida de 0,25 m		93220097	36247034	18656340
Subida de 0,50 m		92310123	31415089	24394265
Subida de 1 m		91384318	27335861	29392328

5.4 Figueira da Foz – Gesteira (O7)

5.4.1 Parâmetros GALDIT

O sistema aquífero da Figueira da Foz – Gesteira é definido, em Almeida *et al.* (2000), como um sistema multicamada, essencialmente poroso, livre a confinado. Assim, foi atribuído o índice de vulnerabilidade para o parâmetro G correspondente a um aquífero semi-confinado (5) às formações cretácicas e jurássicas e um índice de vulnerabilidade correspondente a um aquífero livre (7,5) às formações quaternárias e aluvionares. Optou-se no entanto por se delimitar a área de estudo da vulnerabilidade à intrusão marinha ao sector a Norte do Rio Mondego, em contacto com o litoral.

Os valores de condutividade foram determinados a partir do ábaco proposto por Freeze e Cherry (1979) e tendo por base a cartografia geológica do Instituto Geológico e Mineiro à escala 1:50 000, foram atribuídos os respectivos índices de vulnerabilidade GALDIT relativos ao parâmetro A, apresentados no Quadro 13 e na Figura 16.

Quadro 13 – Valores do parâmetro A em função da geologia (Figueira da Foz – Gesteira)

Geologia (Carta geológica (1:50 000))	A
Calcários margosos e margas (J1_g)	2.5
Calcários, margas e calcários margosos (J2_ab)	2.5
Caloviano (J2_c)	2.5
Camadas de Abadia (J3_c)	2.5
Portlandiano e Kimeridgiano (J4-5)	2.5
Cenomaniano inferior, Albiano, Aptiano e Neocomiano (C1-2)	2.5
Turoniano incluindo as camadas com Pterocera incerta (C2-3)	2.5
Arenitos finos de Lousões (C4)	2.5
Arenitos e argilas de Taveiro (C5)	2.5
Depositos de terraços de 75-100m (Q1)	7.5
Depositos de praias antigas e de terraços fluviais de 30-45m (Q3)	7.5
Depositos de praias antigas e de terraços fluviais de 10-20m (Q4)	7.5
Areias de praia (A)	7.5
Aluvião (a)	2.5

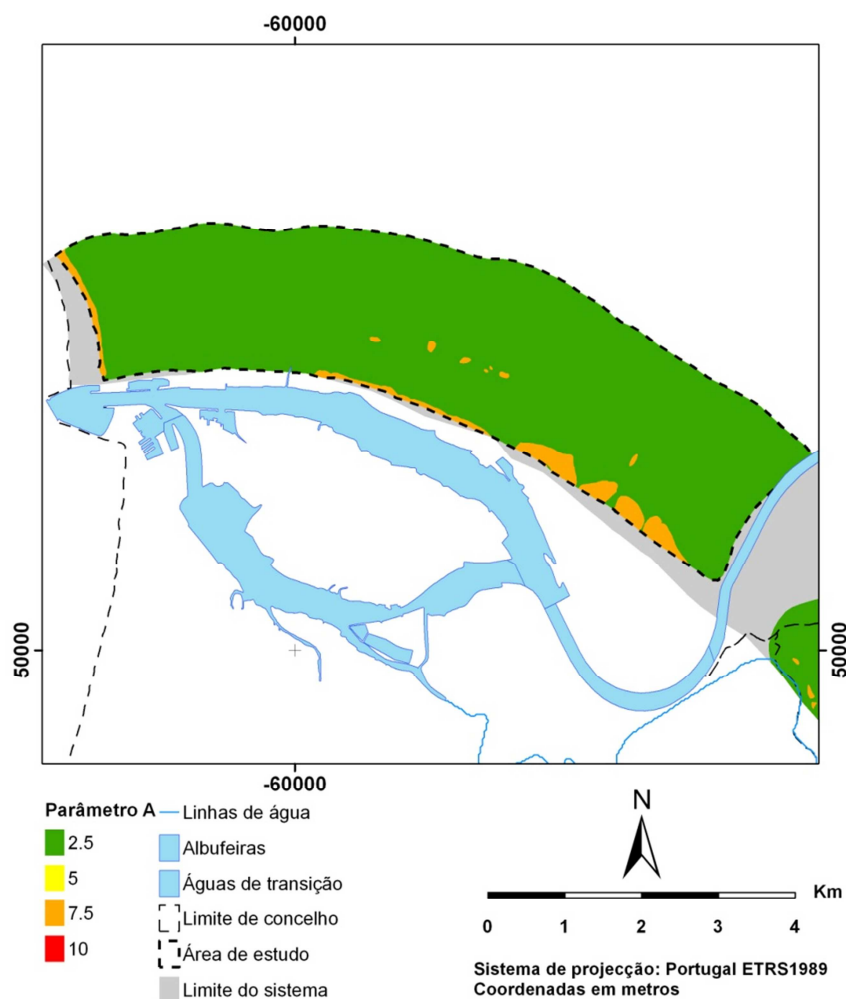


Figura 16 – Caracterização do parâmetro A (Figueira da Foz – Gesteira)

A determinação da altura da água acima do nível do mar (nível piezométrico) teve como apoio os dados de piezometria fornecidos pela ARH do Centro. No entanto, devido à fraca correlação e pequena cobertura do sistema aquífero, optou-se por calcular um valor médio para todos os registos do nível piezométrico, valor esse que foi subtraído ao modelo digital do terreno, à semelhança da metodologia aplicada no sistema aquífero do Quaternário de Aveiro.

Com vista à caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha face a uma eventual subida do nível do mar na área de influência da maré na zona costeira devido a alterações climáticas, recalculou-se o nível piezométrico da situação de referência, considerando uma subida do nível médio do mar de 0,25 m, 0,50 m e 1 m – Figura 17.

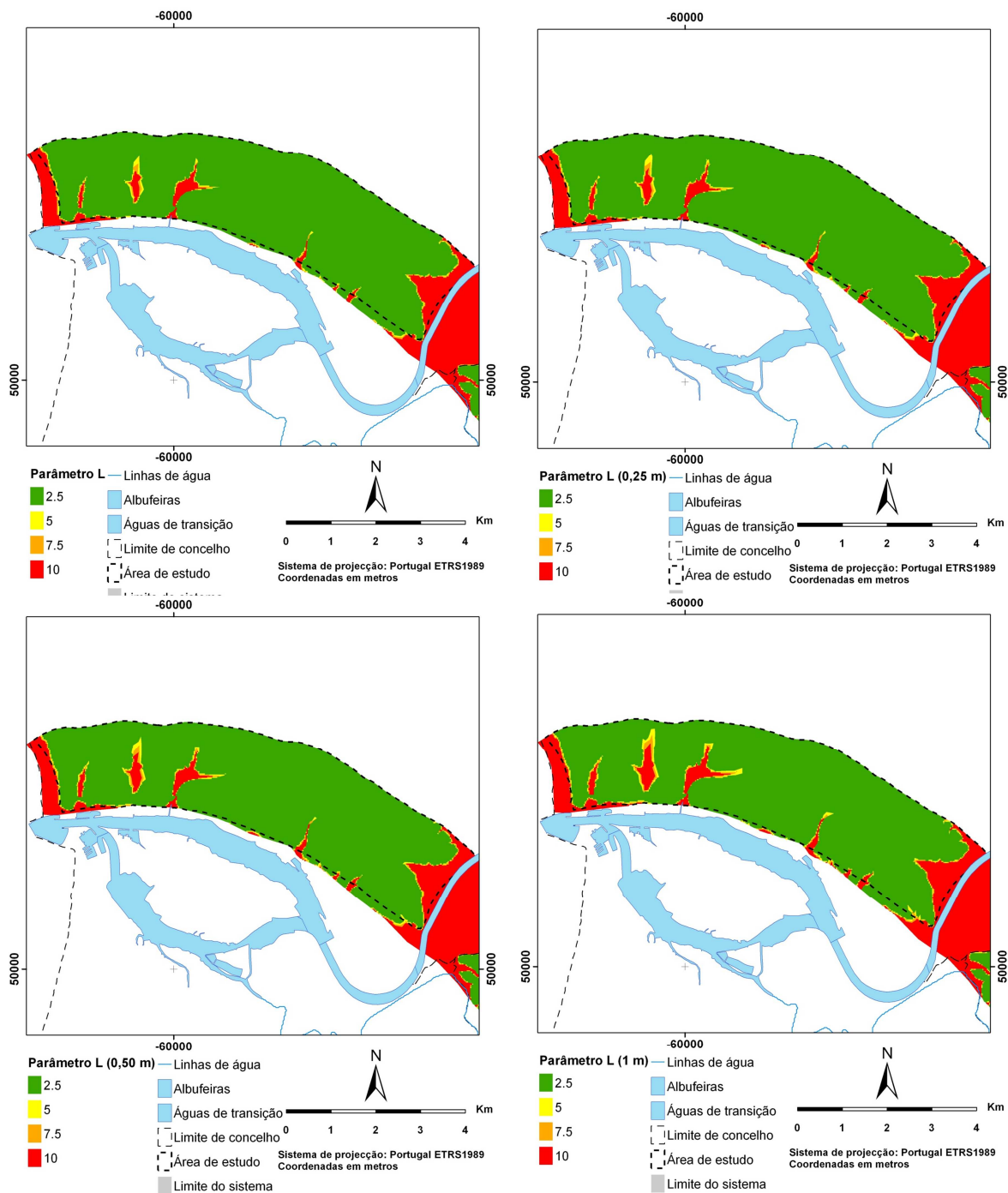


Figura 17 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Figueira da Foz – Gesteira)

O parâmetro correspondente à distância à linha da costa (D) foi determinado através do cálculo de três distâncias na perpendicular à linha da costa e em relação ao estuário do Mondego, de 500, 750 e 1000 m – Figura 18.

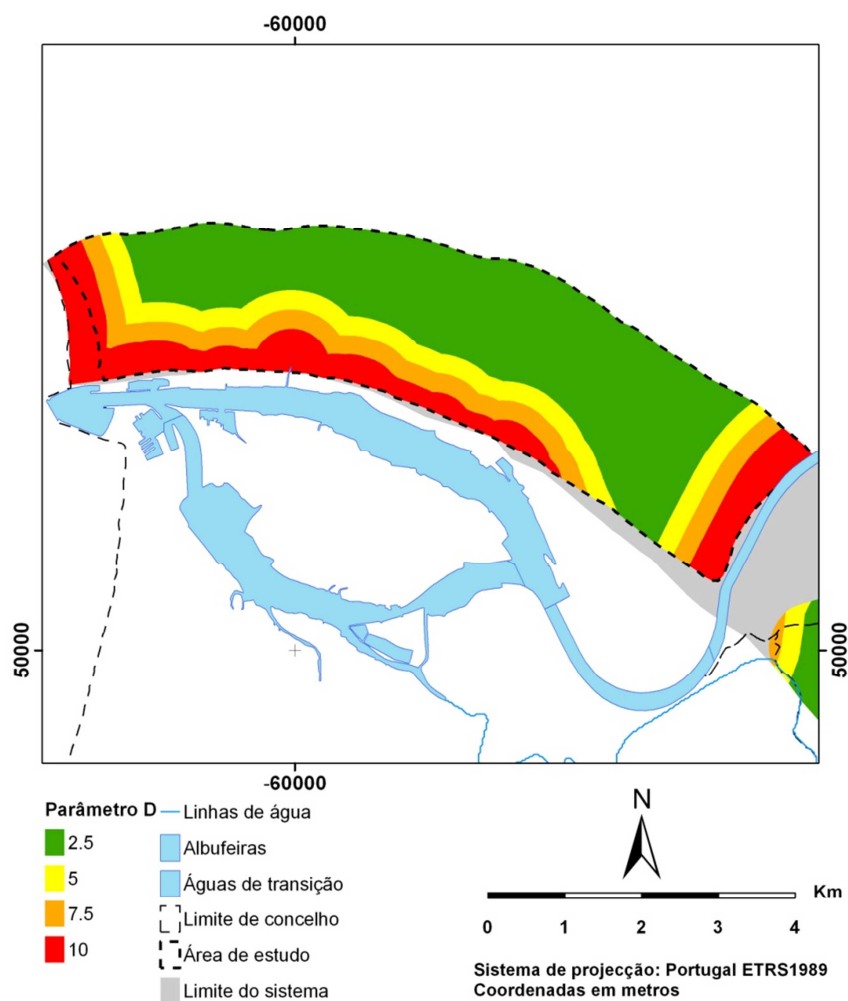


Figura 18 – Caracterização do parâmetro D (Figueira da Foz – Gesteira)

Para a determinação do parâmetro I foram usados os dados de qualidade, também fornecidos pela ARH do Centro, no sentido de calcular e representar espacialmente a relação entre as concentrações (em miliequivalentes) dos iões cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-). Para tal foi calculada uma superfície de tendência através do método da krigagem a partir da qual se atribuíram os índices de vulnerabilidade - Figura 19.

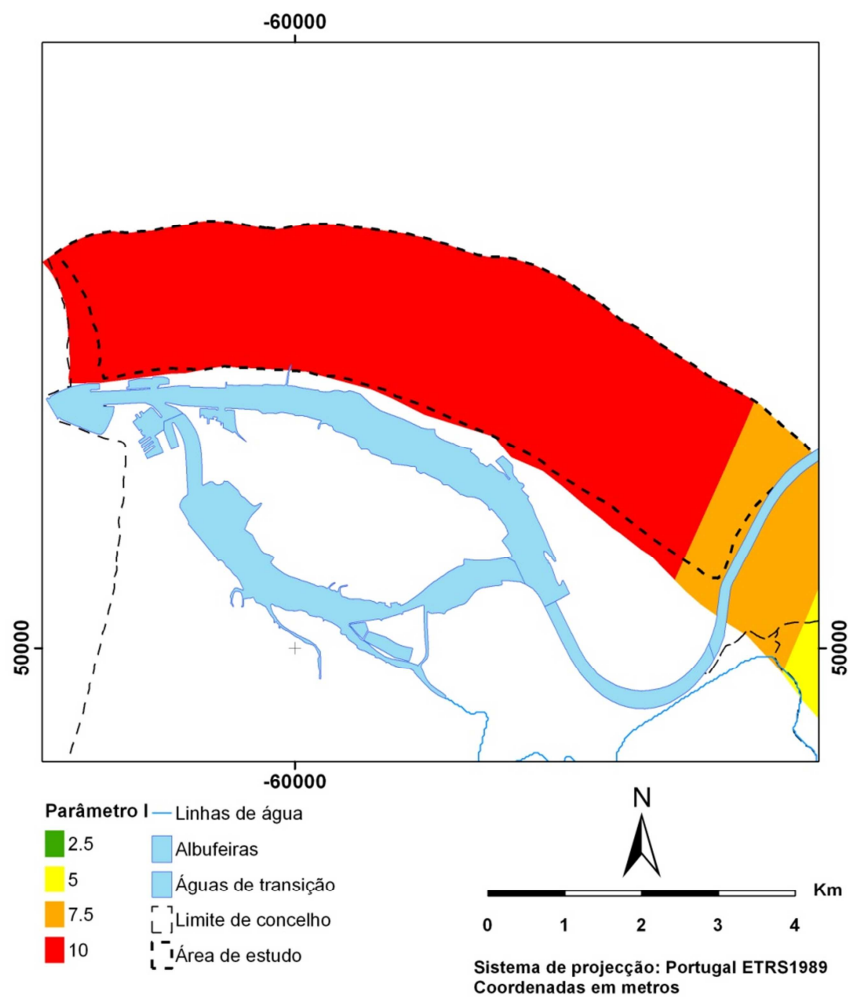


Figura 19 – Caracterização do parâmetro I (Figueira da Foz – Gesteira)

Finalmente, definiu-se pela análise dos *logs* de sondagem presentes na base de dados INVENTAR que a espessura do sistema aquífero era sempre superior a 10 m, atribuindo-se consequentemente para toda a área um índice de vulnerabilidade do parâmetro T igual a 10 (espessura grande).

5.4.2 Resultados

Definiu-se para este sistema que a área a estudar, no que toca à vulnerabilidade à intrusão marinha, seria o sector NW, que se possui um segmento costeiro. Assim, verificou-se para a situação uma estreita faixa de vulnerabilidade elevada, essencialmente perpendicular ao mar, que se estende ligeiramente para o interior, resultado do incremento do nível médio do mar em três fases (0,25, 0,50 e 1 m). Verificou-se ainda que se dá também um aumento da área correspondente à vulnerabilidade moderada, nos três cenários – Figura 20.

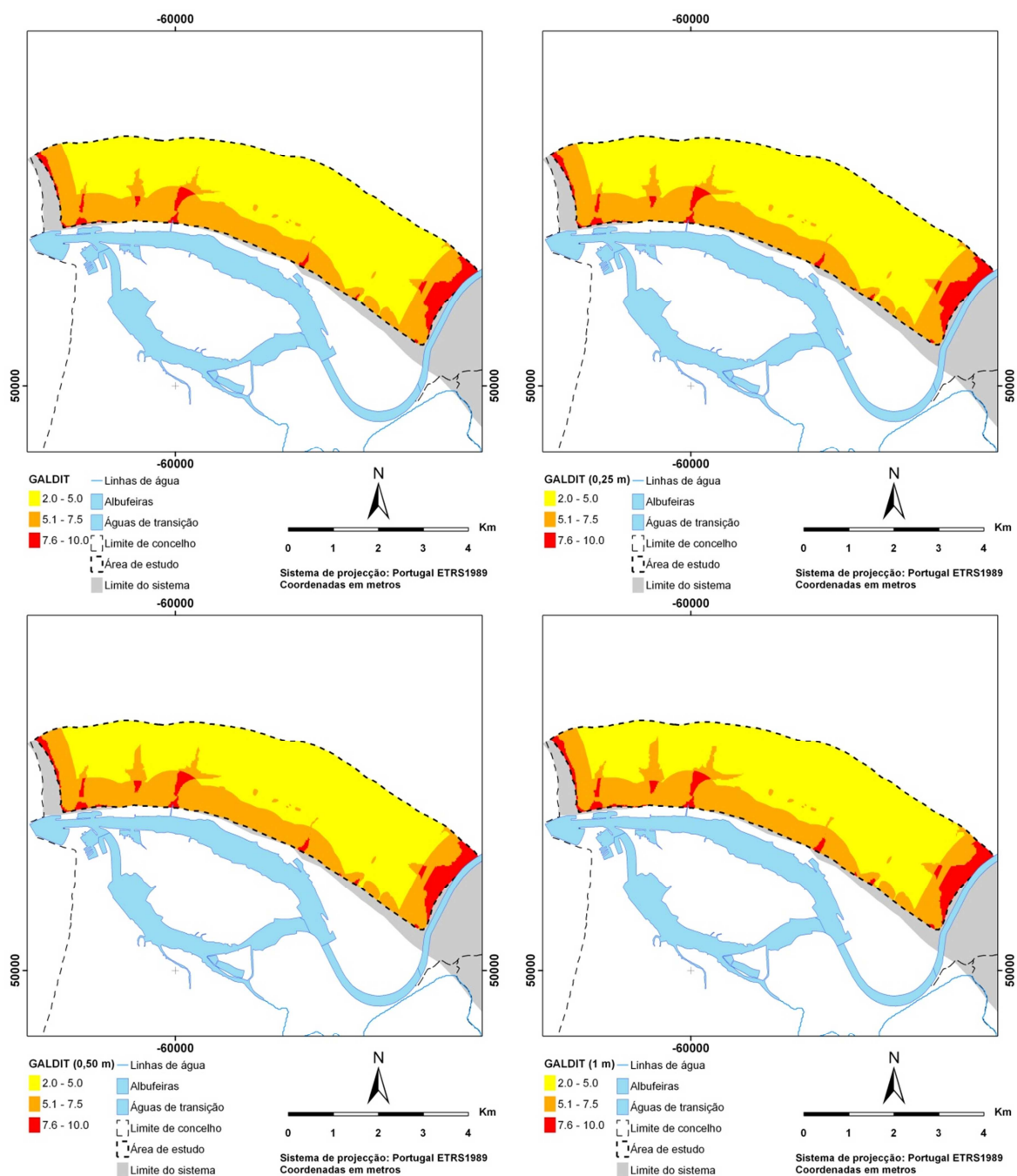


Figura 20 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Figueira da Foz – Gesteira para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m

O Quadro 14 apresenta a variação das áreas correspondentes a cada índice de vulnerabilidade perante os diferentes cenários de subida do mar.

Quadro 14 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero da Figueira da Foz – Gesteira

	Área aflorante (m ²)	Índice GALDIT		
		Baixa (≤ 5)	Moderada (5 - 7.5)	Elevada (≥ 7.5)
Situação actual	19458920	12757032	5566712	1135430
Subida de 0,25 m		12705038	5556841	1196680
Subida de 0,50 m		12641140	5557924	1259728
Subida de 1 m		12481437	5590958	1386761

5.5 Leirosa – Monte Real (O10)

5.5.1 Parâmetros GALDIT

Almeida *et al.* (2000) definem o sistema aquífero de Leirosa – Monte Real como um sistema poroso, multicamada. No entanto a recarga faz-se essencialmente pela precipitação, tendo-se definido para toda a sua extensão o índice do parâmetro G como aquífero livre (7,5).

Os valores de condutividade foram determinados a partir do ábaco proposto por Freeze e Cherry (1979) e tendo por base a cartografia geológica do Instituto Geológico e Mineiro à escala 1:50 000, foram atribuídos os respectivos índices de vulnerabilidade GALDIT relativos ao parâmetro A, apresentados no Quadro 15 e na Figura 21.

Quadro 15 - Valores do parâmetro A em função da geologia (Leirosa – Monte Real)

Geologia (Carta geológica 1:50 000)	A
Doleritos e rochas afins (delta)	5.0
Margas de Dagorda: Calcários dolomíticos (J1*_ab)	2.5
Margas de Dagorda (J1_ab)	2.5
Cenomaniano inferior, Albiano, Aptiano e Neocomiano (C1-2)	2.5
Formação argilo-gresosa e conglomerática de Senhora do Bom Sucesso (phi-M)	2.5
Miocénico e Paleogénico indiferenciado (phi-M)	2.5
Miocénico continental (M)	5.0
Formações marinhas de Monte Real: Série continental de Marrazes e de Barracão (P)	5.0
Plio-Plistocénico indiferenciado (P-Q)	5.0
Cascalheiras de antigas praias (Q)	7.5
Plistocénico indiferenciado (Q)	7.5
Depósitos de terraços de 25-40m (Q3)	7.5
Areias de praia (A)	7.5
Areias de duna (Ad)	7.5
Dunas, areias de dunas e de praia (d)	7.5
Aluviões (a)	2.5

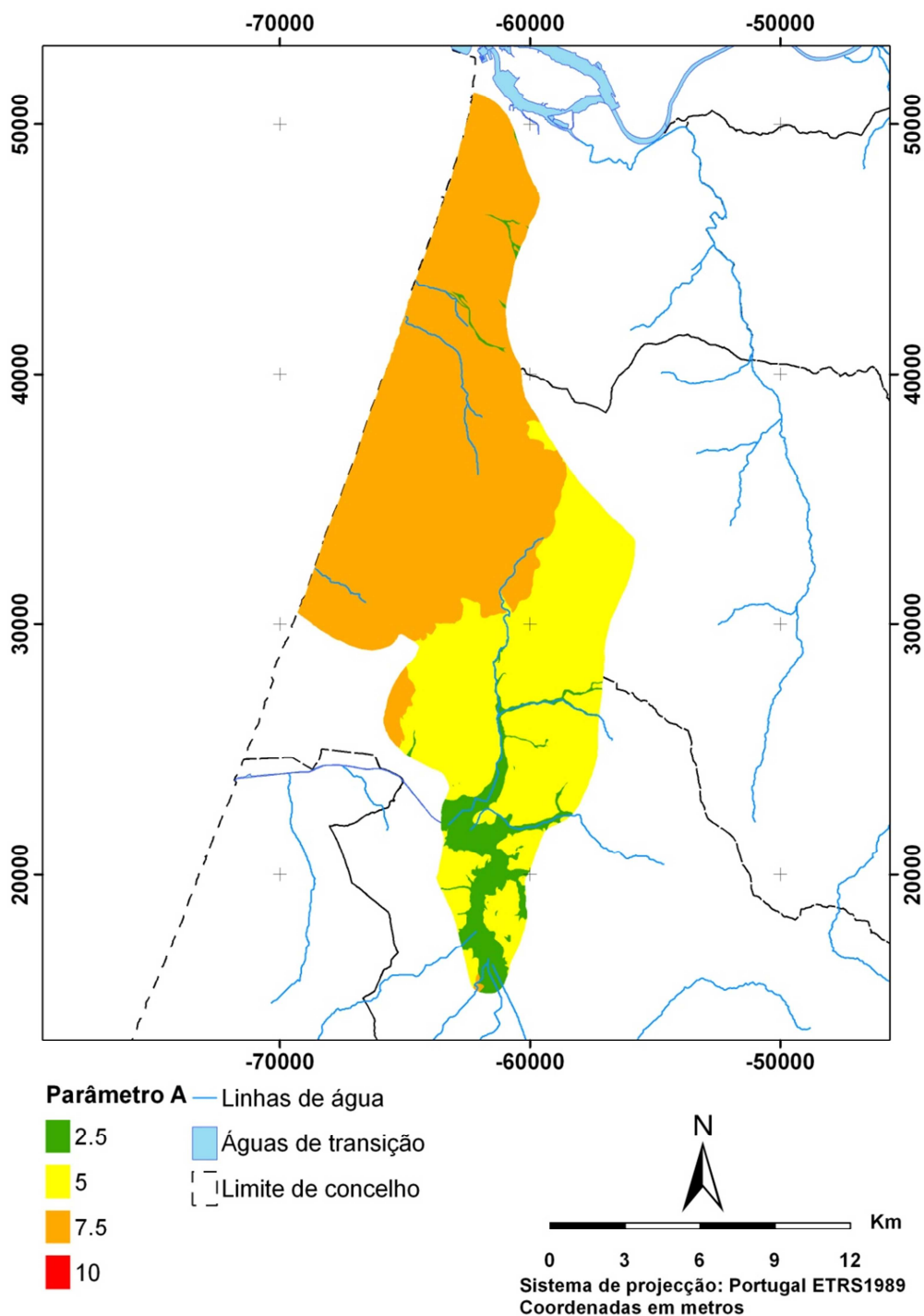


Figura 21 – Caracterização do parâmetro A (Leirosa – Monte Real)

A determinação da altura da água acima do nível do mar (nível piezométrico) teve como apoio os dados de piezometria fornecidos pela ARH do Centro. Foi assim criada uma superfície piezométrica através do método geoestatístico do inverso do quadrado da distância – Figura 22.

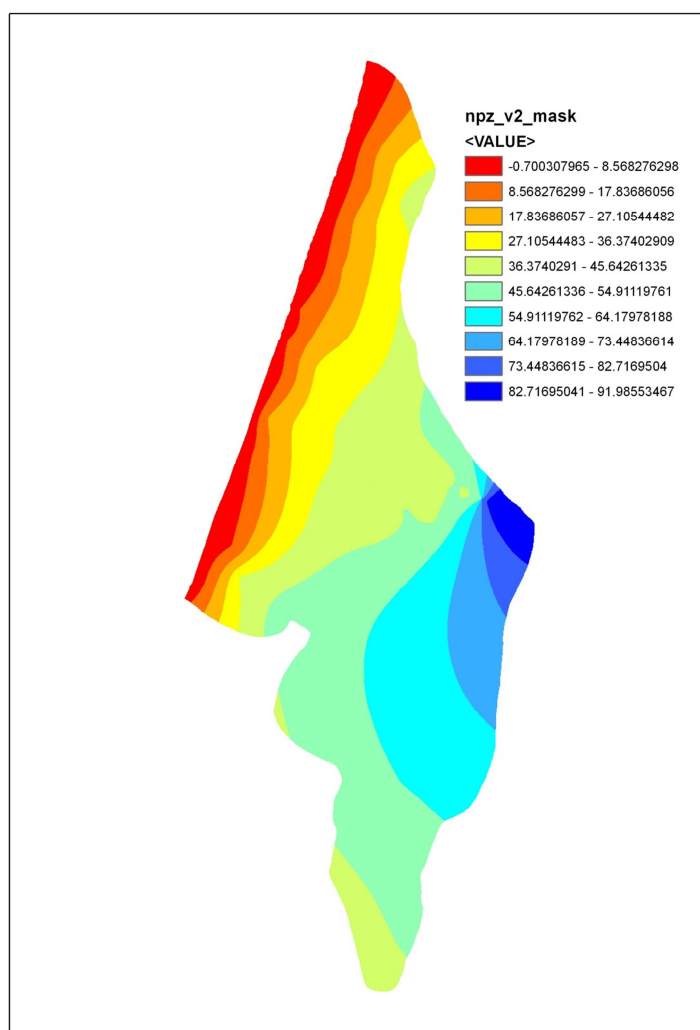


Figura 22 – Nível piezométrico do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real

Com vista à caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha face a uma eventual subida do nível do mar na área de influência da maré na zona costeira devido a alterações climáticas, recalculou-se o nível piezométrico da situação de referência, considerando uma subida do nível médio do mar de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Figura 23).

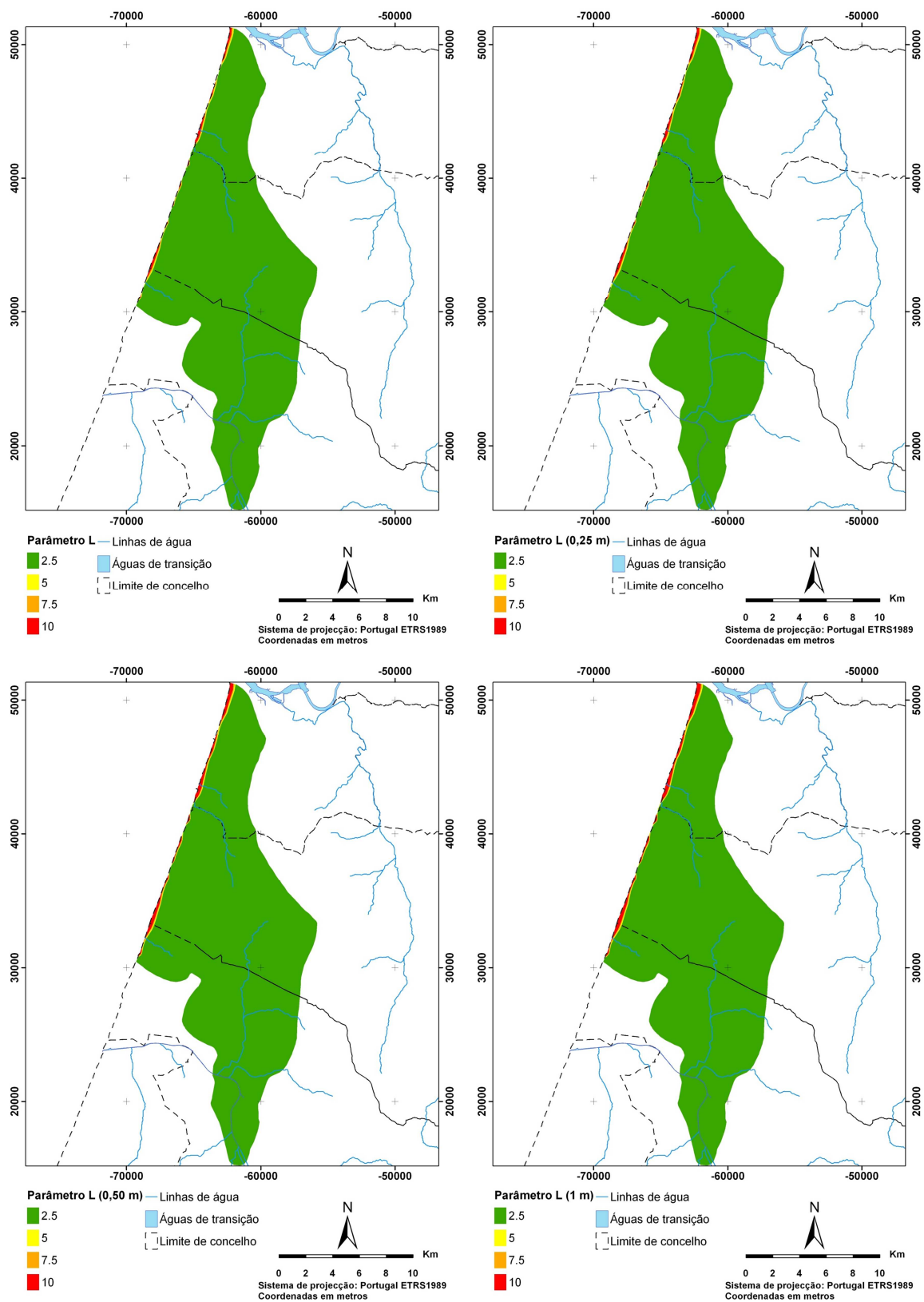


Figura 23 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Leirosa – Monte Real)

O parâmetro correspondente à distância à linha da costa (D) foi determinado através do cálculo de três distâncias na perpendicular à linha da costa, de 500, 750 e 1000 m – Figura 24.

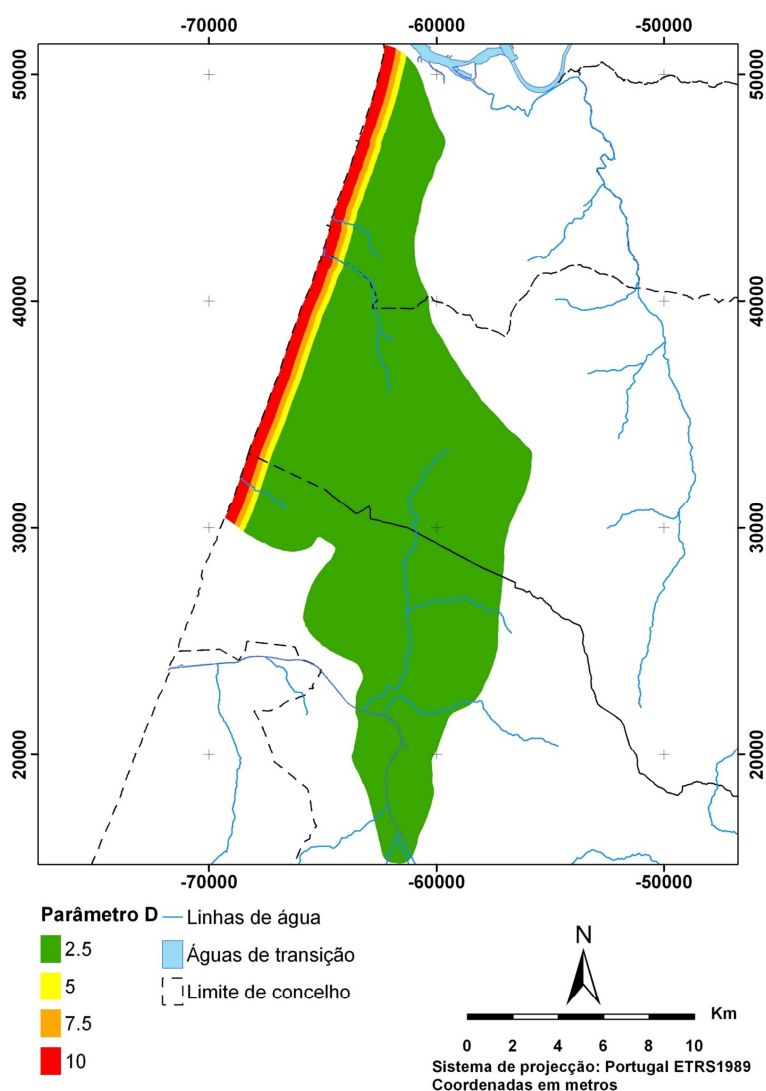


Figura 24 – Caracterização do parâmetro D (Leirosa – Monte Real)

Para a determinação do parâmetro I foram usados os dados de qualidade, também fornecidos pela ARH do Centro, no sentido de calcular e representar espacialmente a relação entre as concentrações dos iões cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-) em miliequivalentes. Para tal foi calculada uma superfície de tendência através do método da Krigagem a partir da qual se atribuíram os índices de vulnerabilidade – Figura 25.

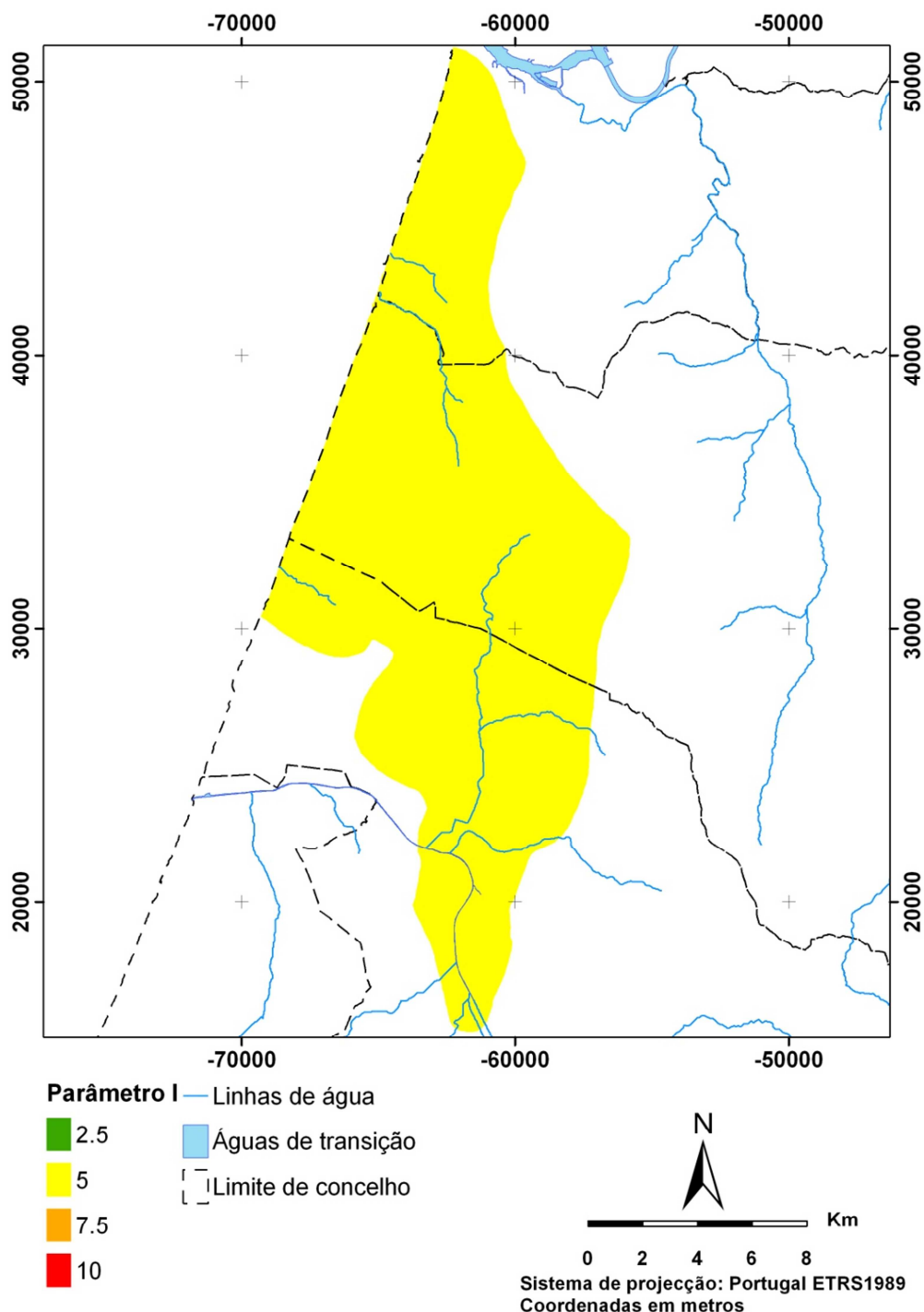


Figura 25 – Caracterização do parâmetro I (Leirosa – Monte Real)

Finalmente, foi definida através do método da Krigagem e com base nos *logs* de sondagem reunidos na base de dados INVENTAR uma superfície correspondente à base do sistema aquífero, definindo-se consequentemente a sua espessura pela diferença para com o nível piezométrico - Figura 26.

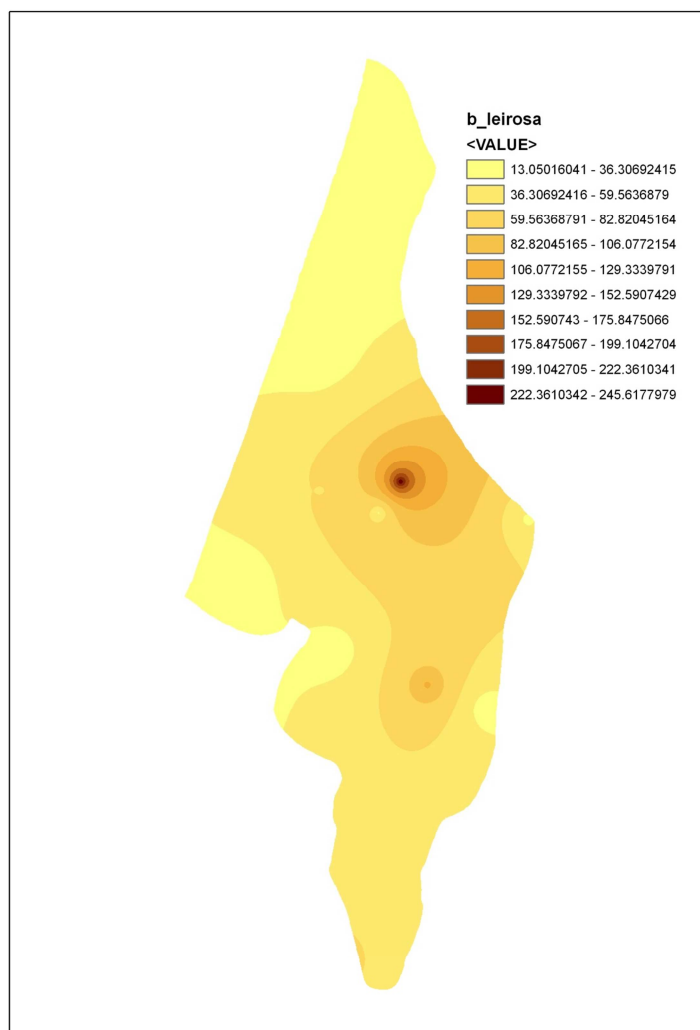


Figura 26 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real

5.5.2 Resultados

À semelhança do que foi registado no sistema aquífero do Quaternário de Aveiro, a variação do parâmetro correspondente ao nível piezométrico (L) com a subida do nível do mar manifesta-se por um relativo aumento das zonas de máxima vulnerabilidade do litoral para o interior. Não se registam no entanto o aumento das áreas de vulnerabilidade intermédia. Na Figura 27 mostram-se respectivamente o cenário actual da vulnerabilidade à intrusão marinha, o cenário de subida 0,25 m, o cenário de 0,50 m e finalmente o cenário de 1 m.

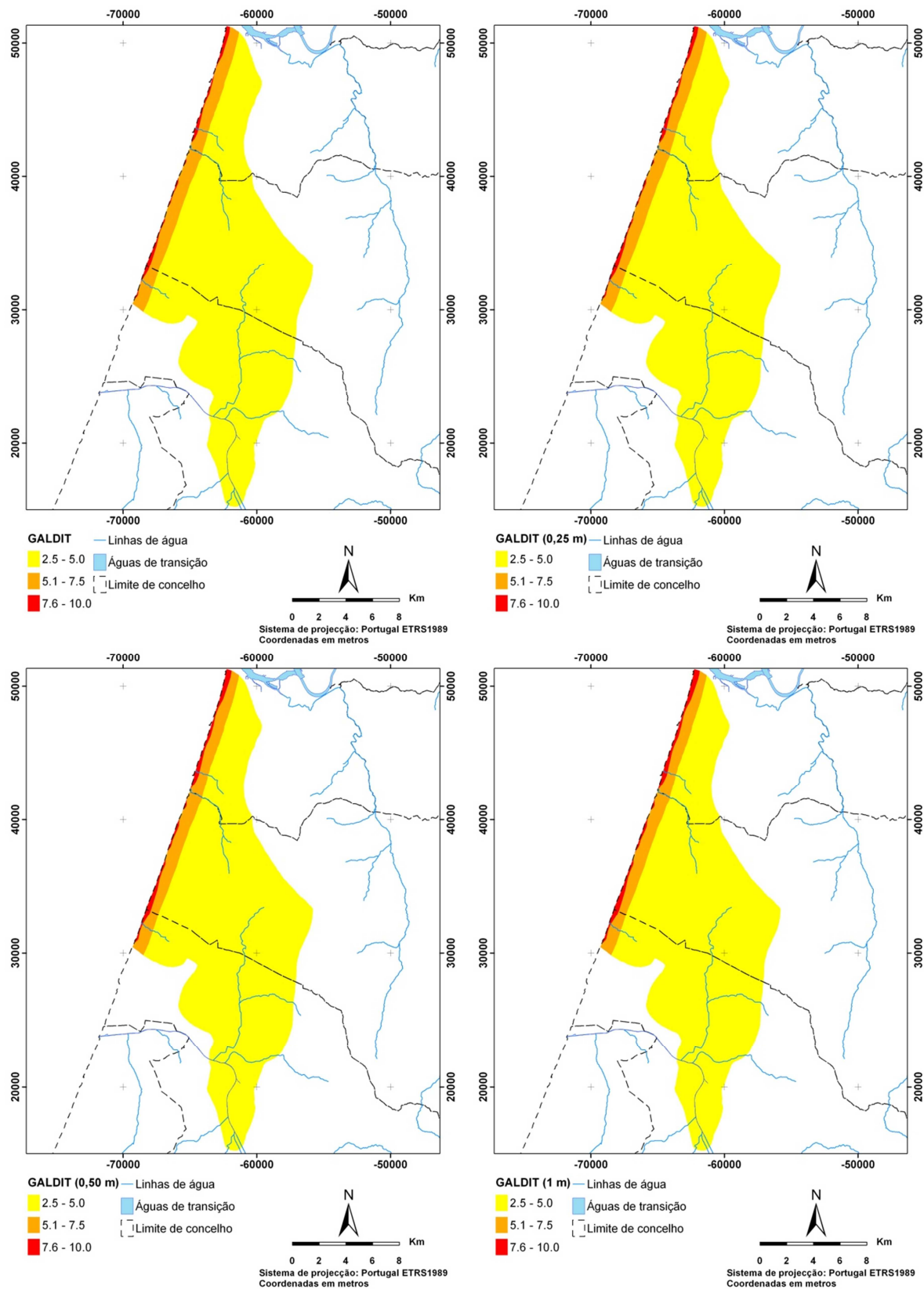


Figura 27 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real para o cenário actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m

Apresenta-se de seguida na Figura 28, em pormenor, a área litoral deste sistema para a situação actual, subida de 0,25 m, subida de 0,50 m e subida de 1 m, respectivamente.

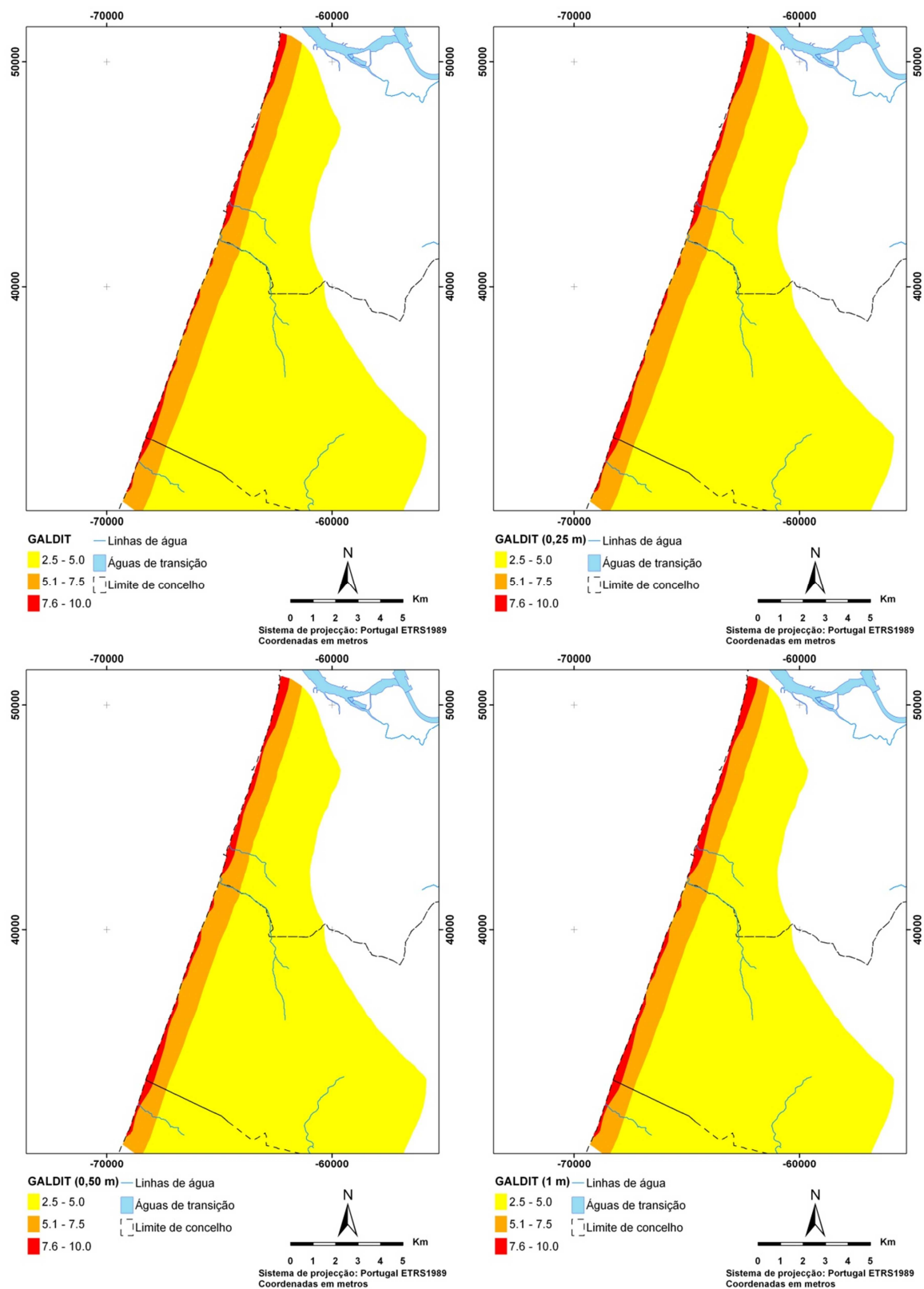


Figura 28 - Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Leirosa – Monte Real para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m em pormenor para a área de costa

O Quadro 16 apresenta a variação das áreas correspondentes a cada índice de vulnerabilidade perante os diferentes cenários de subida do mar.

Quadro 16 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero de Leirosa – Monte Real

	Área aflorante (m ²)	Índice GALDIT		
		Baixa (≤ 5)	Moderada (5 - 7.5)	Elevada (≥ 7.5)
Situação actual	217856986	195724809	19637160	2485792
Subida de 0,25 m		195724809	19206531	2922358
Subida de 0,50 m		195724809	18344721	3794363
Subida de 1 m		195724809	17913352	4224430

5.6 Vieira de Leiria – Marinha Grande (O12)

5.6.1 Parâmetros GALDIT

Almeida *et al.* (2000) definem o sistema aquífero de Vieira de Leiria como um sistema poroso, multicamada. Embora este sistema possua algumas semelhanças ao sistema aquífero de Leirosa – Monte Real, neste as camadas do Miocénico e os Arenitos do Cretácico ganham particular relevância. Optou-se portanto por se caracterizar este sistema como semi-confinado, ou seja o índice do parâmetro G é igual a 5

Os valores de condutividade foram determinados a partir do ábaco proposto por Freeze e Cherry (1979) e tendo por base a cartografia geológica do Instituto Geológico e Mineiro à escala 1:50 000, foram atribuídos os respectivos índices de vulnerabilidade GALDIT relativos ao parâmetro A, apresentados no Quadro 17 e Figura 29.

Quadro 17 - Valores do parâmetro A em função da geologia (Vieira de Leiria – Marinha Grande)

Geologia (Carta geológica 1:50 000)	A
Andesitos (alfa)	5.0
Doleritos e rochas afins (delta)	5.0
Teschenito (theta)	2.5
Margas de Dagorda: Calcários dolomíticos (J1*_ab)	2.5
Margas de Dagorda: margas e calcários de Dagorda (J1_ab)	2.5
Sinemuriano (J1_c)	2.5
Lotaringiano (J1_d)	2.5
Toarciano (J1_g)	2.5
Camadas de Cabaços e de Montejunto (J3_ab)	2.5
Cenomaniano inferior, Albiano, Aptiano e Neocomiano (C1-2)	2.5
Turoniano incluindo as camadas com <i>Neolobites vibrayeanus</i> (C3)	2.5
Oligocénico (phi)	2.5
Miocénico e Paleogénico indiferenciado (phi-M)	2.5
Miocénico (M)	5.0
Formações marinhas de Monte Real: Série continental de Marrazes e de Barracão (P)	5.0
Plio-Plistocénico indiferenciado (PQ)	5.0
Plistocénico indiferenciado (Q)	7.5
Areias de praia (A)	7.5
Dunas, areias de dunas e de praia (d)	7.5
Aluviões e depósitos de fundo de vale (a)	2.5

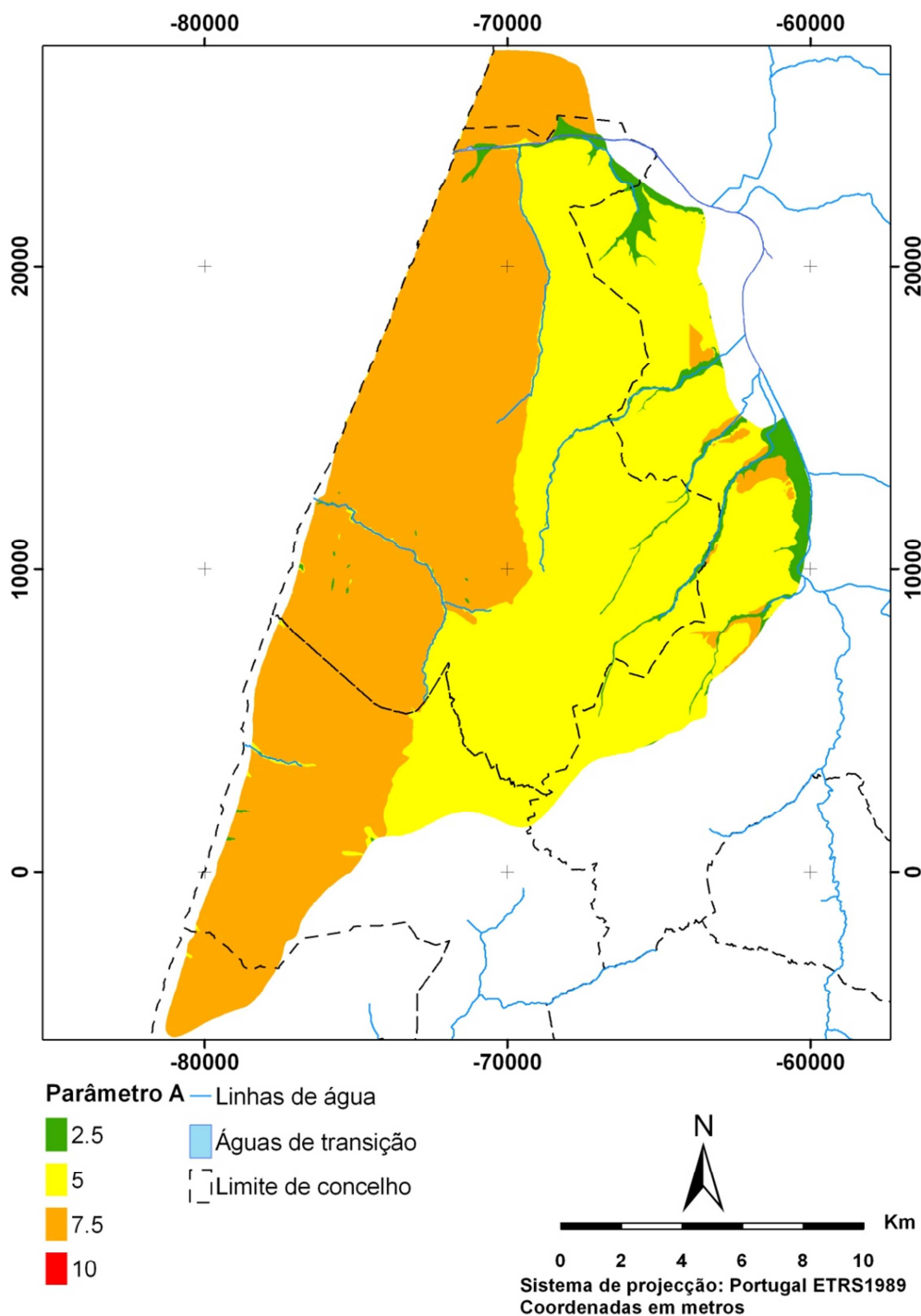


Figura 29 – Caracterização do parâmetro A (Vieira de Leiria – Marinha Grande)

A determinação da altura da água acima do nível do mar (nível piezométrico) teve como apoio os dados de piezometria fornecidos pela ARH do Centro complementados com dados da

INVENTAR. Foi assim criada uma superfície piezométrica através do método geoestatístico do inverso do quadrado da distância – Figura 30.

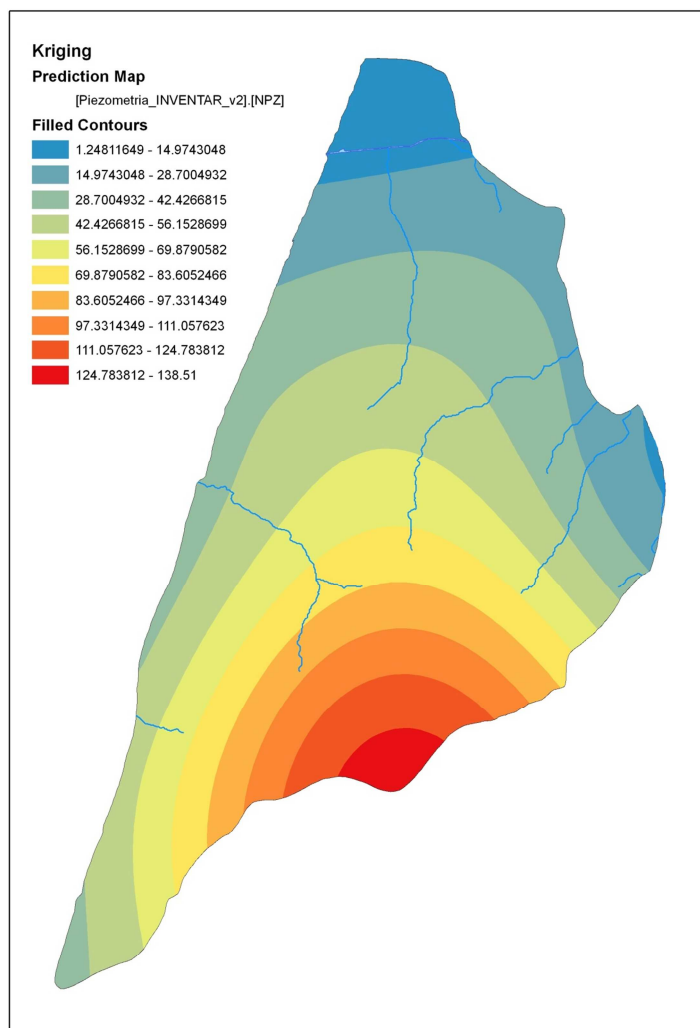


Figura 30 – Nível piezométrico do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande

Com vista à caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha face a uma eventual subida do nível do mar na área de influência da maré na zona costeira devido a alterações climáticas, recalculou-se o nível piezométrico da situação de referência, considerando uma subida do nível médio do mar de 0,25 m, 0,50 m e 1 m – Figura 31.

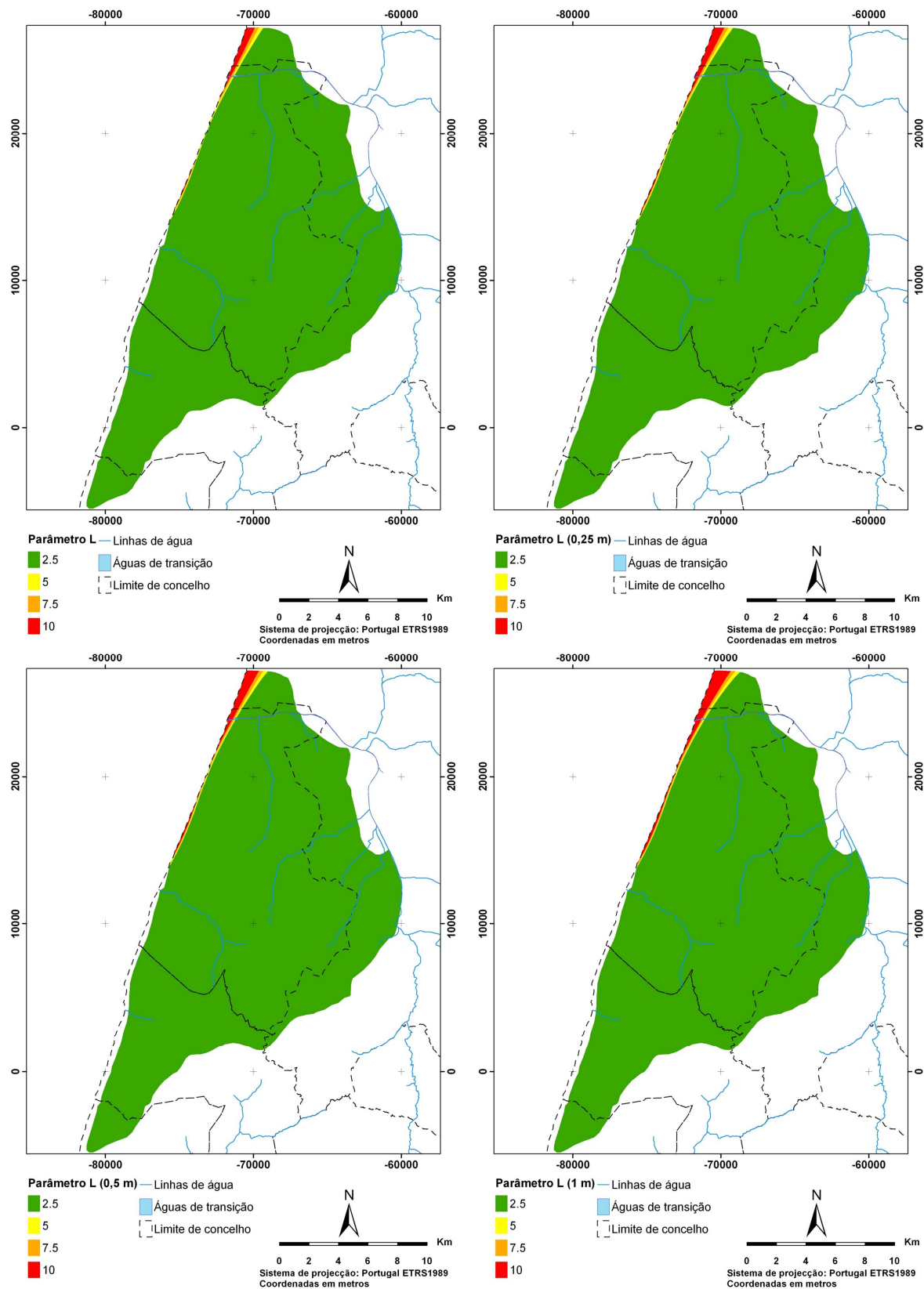


Figura 31 - Caracterização do parâmetro L para o estado actual, subida de 0,25 m, 0,50 m e 1 m (Vieira de Leiria – Marinha Grande)

O parâmetro correspondente à distância à linha da costa (D) foi determinado através do cálculo de três distâncias na perpendicular à linha da costa, de 500, 750 e 1000 m – Figura 32. Foi igualmente considerado a entrada de água salgada devido ao avanço da maré oceânica na área correspondente à foz do Lis (a norte do sistema aquífero).

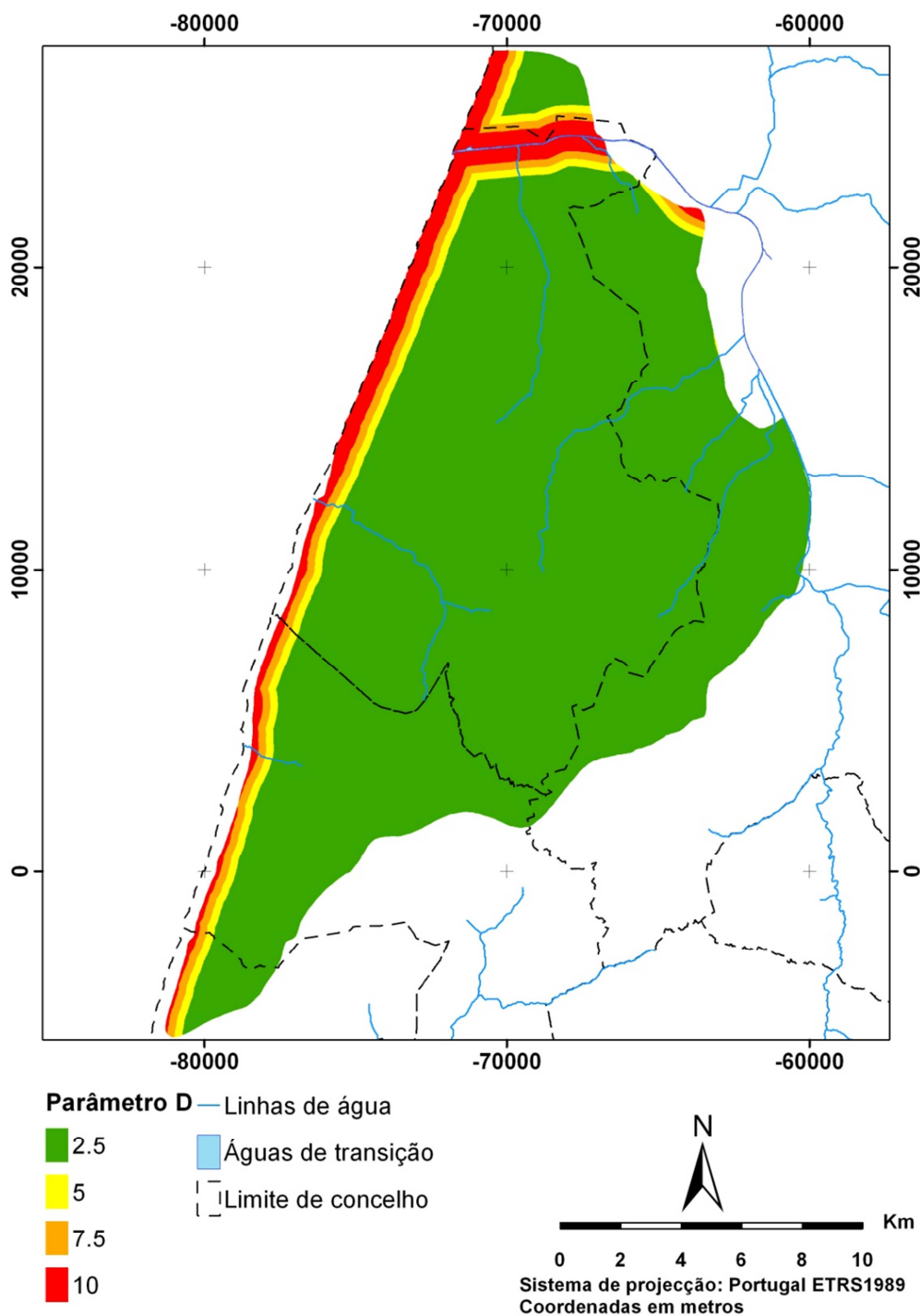


Figura 32 – Caracterização do parâmetro D (Vieira de Leiria – Marinha Grande)

Para a determinação do parâmetro I foram usados os dados de qualidade, também fornecidos pela ARH do Centro, no sentido de calcular e representar espacialmente a relação entre as concentrações dos iões cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-). Para tal foi calculada uma superfície de tendência através do método da Krigagem a partir da qual se atribuíram os índices de vulnerabilidade - Figura 33.

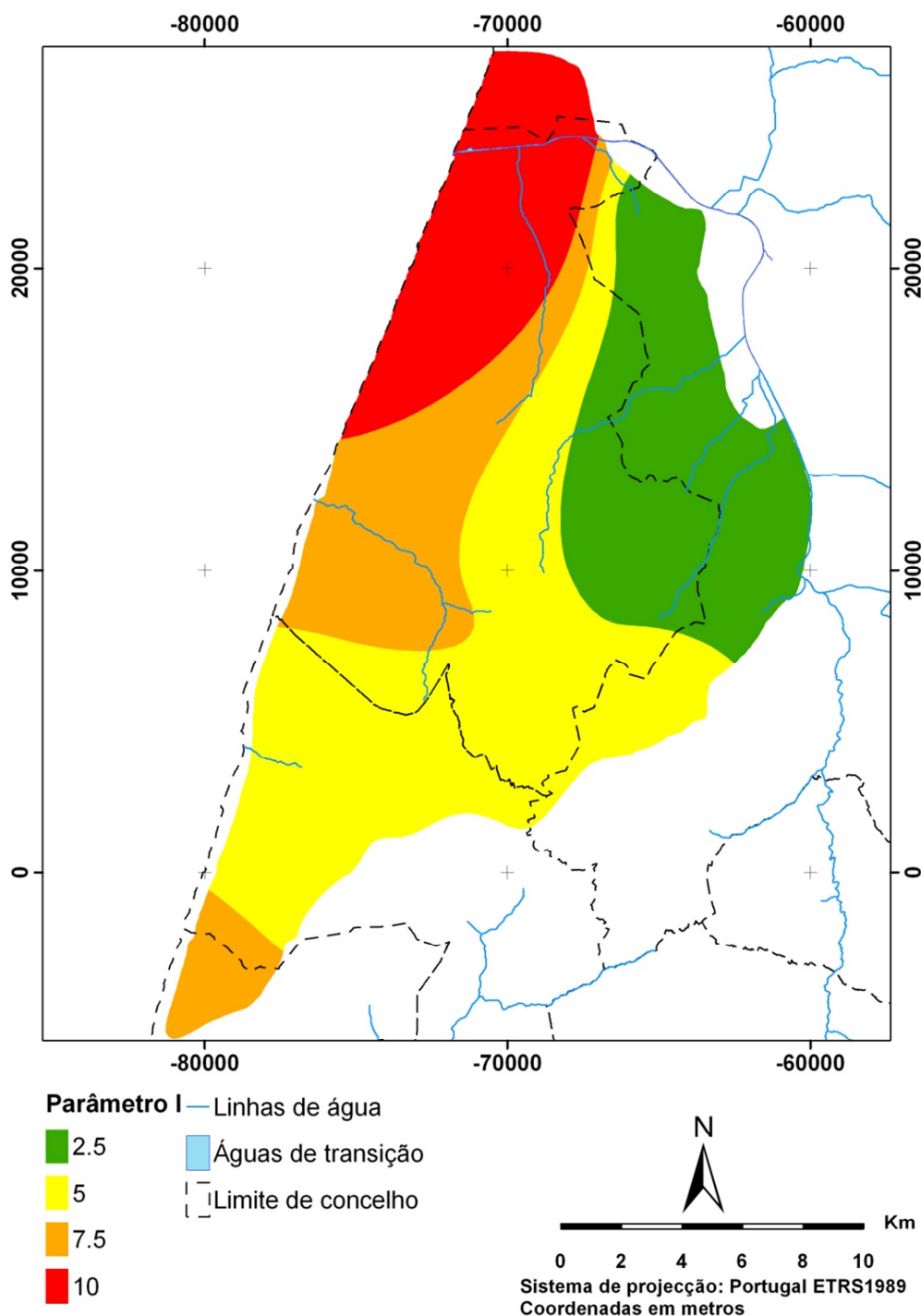


Figura 33 – Caracterização do parâmetro I (Vieira de Leiria – Marinha Grande)

Finalmente, foi definida através do método do Inverso do Quadrado da Distância e com base nos logs de sondagem reunidos na base de dados INVENTAR uma superfície correspondente à base do sistema aquífero, definindo-se conseqüentemente a sua espessura - Figura 34.

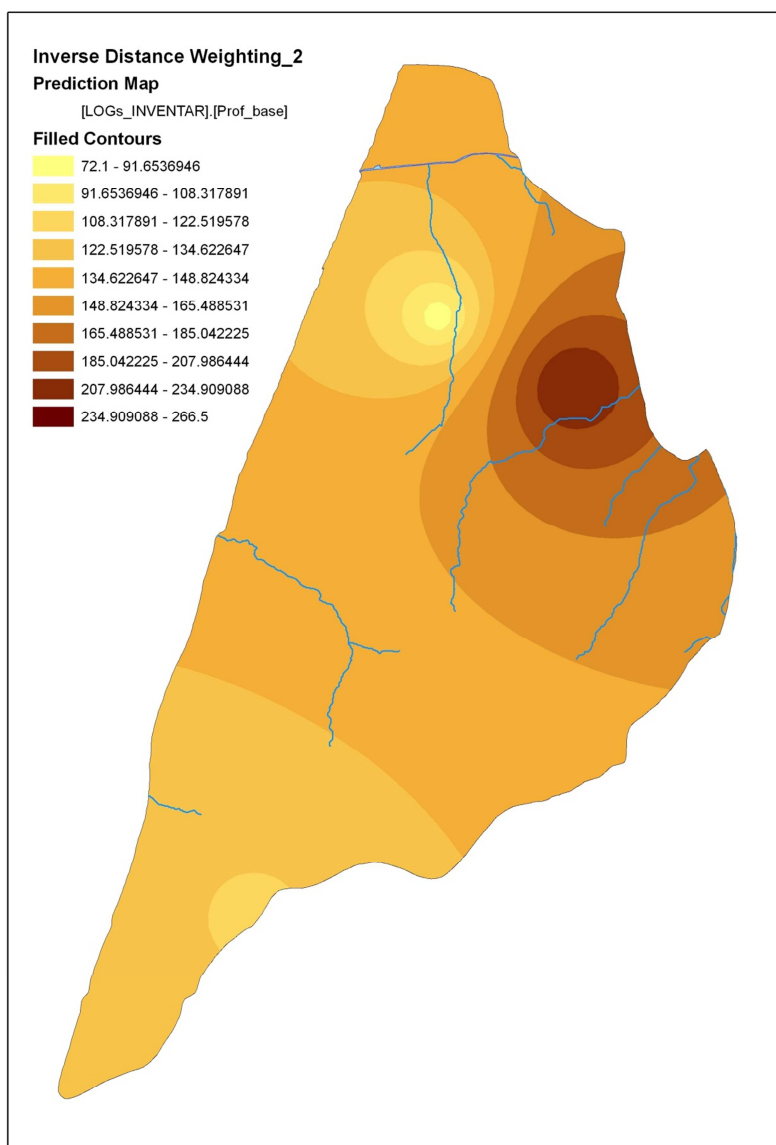


Figura 34 – Superfície de tendência representando a espessura do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande

5.6.2 Resultados

No caso do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande, os resultados são muito semelhantes aos do sistema de Leirosa – Monte Real. Assim, tem-se uma faixa que

acompanha o litoral em que se registam valores vulnerabilidade máxima à intrusão marinha, e que aumenta para o interior com o incremento do nível do mar. Esta variação de espessura desta faixa para o interior regista-se essencialmente na área Norte do sistema, e pode ser observada na Figura 35 (estado actual, cenário de subida do nível do mar em 0,25 m, subida de 0,50 m e subida de 1 m).

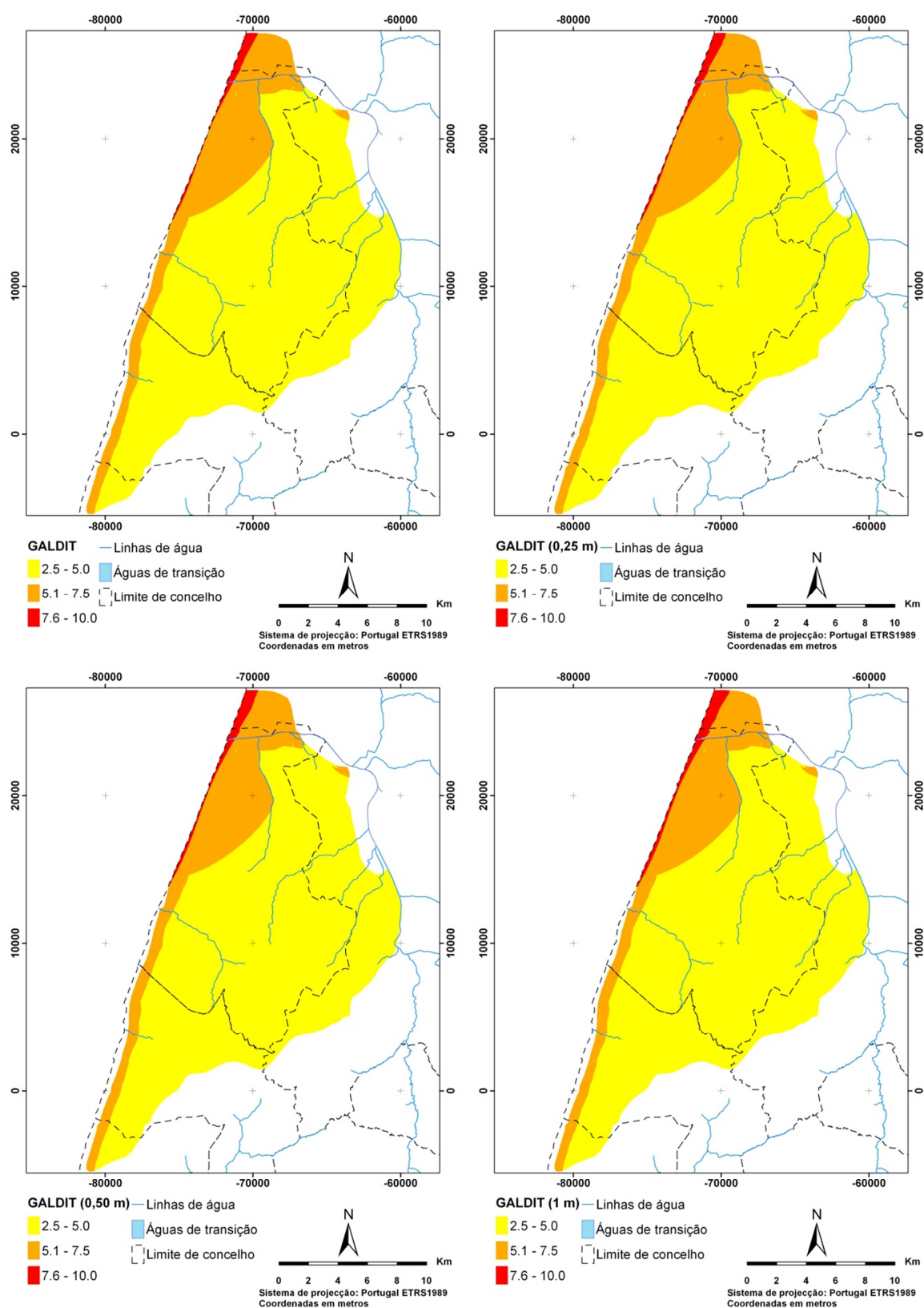


Figura 35 – Índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha das águas subterrâneas do sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande para os cenários actual, 0,25 m, 0,50 m e 1 m

O estado actual, com a subida do NMM, não regista variação da área de vulnerabilidade baixa (índice GALDIT situado entre 2,5 e 5), mantendo-se inalterada em todos os cenários, predominando ao longo de grande extensão numa mancha contínua, interior. Denota-se um progressivo aumento da área de vulnerabilidade elevada com a subida do mar em detrimento da área correspondente a vulnerabilidade moderada.

O Quadro 18 apresenta a variação das áreas correspondentes a cada índice de vulnerabilidade perante os diferentes cenários de subida do mar.

Quadro 18 - Tabela síntese de aplicação do método GALDIT no sistema aquífero de Vieira de Leiria – Marinha Grande

	Área aflorante (m ²)	Índice GALDIT		
		Baixa (≤ 5)	Moderada (5 - 7.5)	Elevada (≥ 7.5)
Situação actual	320378997	258468184	58777300	3128936
Subida de 0,25 m		258468184	58276872	3636030
Subida de 0,50 m		258468184	57801474	4107482
Subida de 1 m		258468184	56767613	5147545

6. Conclusões

A determinação do índice GALDIT de vulnerabilidade à intrusão marinha permite caracterizar qual o risco associado à entrada de água do mar no sistema aquífero, seja devido a cenários associados a alterações climáticas e à progressiva subida do nível do mar, seja por sobreexploração dos sistemas aquíferos. Assim, da análise do estado actual e dos cenários propostos com a subida no nível médio do mar, é possível prever impactos de utilização não controlada deste recurso, definir estratégias de protecção, implementar redes de monitorização e assegurar que o estado actual não sofre uma degradação da qualidade dos sistemas em causa.

O Quadro 19 sintetiza para a situação actual e nos cenários propostos os resultados obtidos através do estudo a vulnerabilidade GALDIT.

Quadro 19 – Tabela síntese de variação das áreas correspondentes a cada classe de vulnerabilidade para diferentes cenários de subida do mar

Sistema aquífero	Cenário	Área analisada (Km2)	Índice GALDIT					
			Baixa		Moderada		Elevada	
			(≤ 5)	%	(5 - 7.5)	%	(≥ 7.5)	%
Quaternário de Aveiro (O1)	Situação actual	905.36	564.30	62.33	247.05	27.29	93.71	10.35
	Subida de 0,25 m	905.36	561.74	62.05	242.52	26.79	101.18	11.18
	Subida de 0,50 m	905.36	558.95	61.74	236.39	26.11	110.12	12.16
	Subida de 1 m	905.36	553.06	61.09	230.21	25.43	122.20	13.50
Aluviões do Mondego (O6)	Situação actual	148.12	93.94	63.42	41.09	27.74	13.09	8.84
	Subida de 0,25 m	148.12	93.22	62.94	36.25	24.47	18.66	12.60
	Subida de 0,50 m	148.12	92.31	62.32	31.42	21.21	24.39	16.47
	Subida de 1 m	148.12	91.38	61.70	27.34	18.46	29.39	19.84
Figueira da Foz - Gesteira (O7)	Situação actual	19.46	12.76	65.56	5.57	28.61	1.14	5.84
	Subida de 0,25 m	19.46	12.71	65.29	5.56	28.56	1.20	6.15
	Subida de 0,50 m	19.46	12.64	64.96	5.56	28.56	1.26	6.47
	Subida de 1 m	19.46	12.48	64.14	5.59	28.73	1.39	7.13
Leirosa - Monte Real (O10)	Situação actual	217.86	195.72	89.84	19.64	9.01	2.49	1.14
	Subida de 0,25 m	217.86	195.72	89.84	19.21	8.82	2.92	1.34
	Subida de 0,50 m	217.86	195.72	89.84	18.34	8.42	3.79	1.74
	Subida de 1 m	217.86	195.72	89.84	17.91	8.22	4.22	1.94
Vieira de Leiria - Marinha Grande (O12)	Situação actual	320.38	258.47	80.68	58.78	18.35	3.13	0.98
	Subida de 0,25 m	320.38	258.47	80.68	58.28	18.19	3.64	1.13
	Subida de 0,50 m	320.38	258.47	80.68	57.80	18.04	4.11	1.28
	Subida de 1 m	320.38	258.47	80.68	56.77	17.72	5.15	1.61

A análise da tabela permite-nos concluir que o sistema aquífero que se encontra mais exposto ao avanço da cunha salina é o dos Aluviões do Mondego. Neste caso, a percentagem da área correspondente a vulnerabilidade elevada, varia entre os 9%, na situação actual, para os 20% num cenário de subida de um metro do nível médio do mar. Isto resulta essencialmente da influência da maré dentro do estuário, que se considerou até aproximadamente Montemor-o-Novo.

Conclui-se ainda que o sistema aquífero do Quaternário de Aveiro apresenta igualmente elevada vulnerabilidade à intrusão marinha. Neste caso, a percentagem da área correspondente a vulnerabilidade elevada, varia entre os 10%, no estado actual e os 13,5% no cenário de subida de um metro do nível do mar. Este facto está directamente associado à influência da maré na Ria de Aveiro, concentrando-se essas áreas de maior vulnerabilidade em redor desta massa de água.

A Figueira da Foz – Gesteira, apresenta-se como um sistema igualmente vulnerável ao avanço da cunha salina, com a variação de 6% a 7% de área de elevada vulnerabilidade, para o sector estudado, a NW do rio Mondego, que se considerou sofrer influência da entrada da maré oceânica no estuário deste rio.

Nos restantes sistemas as áreas de vulnerabilidade elevada não ultrapassam os 2% da área total do sistema, sendo em geral sistemas de vulnerabilidade baixa na quase totalidade da sua extensão. À excepção de estreitas faixas em geral paralelas à linha de costa. Nos cenários de subida do nível do mar, regista-se em todos os sistemas o suave aumento das áreas de vulnerabilidade elevada, que ganham área às zonas de vulnerabilidade intermédia.

O facto de predominarem áreas de vulnerabilidade baixa em todos os sistemas estudados implica que este método é sobretudo aplicável às zonas que fazem fronteira com o mar ou corpos de água que sofrem influência deste, definindo nas zonas próximas da fronteira se são de maior ou menor vulnerabilidade à intrusão marinha. A extensão desta zona próxima da fronteira pode ser definida como 3000 m, tendo em conta que a classe de menor vulnerabilidade do parâmetro D corresponde à distância superior a 1000 m. No caso das zonas

interiores do aquífero, que neste caso se assumiria de distância superior a 3000 m da fronteira, a sua exploração não teria consequências a nível de intrusão marinha.

Deve notar-se que a determinação dos índices de vulnerabilidade GALDIT foi dificultada por dois factores distintos: a escassez de dados de piezometria e a escassez de dados de qualidade (Cloretos e Bicarbonatos).

No primeiro caso a fraca correlação espacial e temporal dos dados de piezometria inviabilizaram nalguns sistemas a criação de superfícies piezométricas válidas, pelo que foram usados métodos expeditos no sentido de colmatar este lacuna, procurando validá-los através dos dados existentes (tanto registos piezométricos como bibliográficos). Uma definição adequada do parâmetro L, requereria uma campanha de campo extensa para cada sistema aquífero em que não se possuem dados representativos.

No segundo caso, relativo aos dados de qualidade, verificou-se que a rede de monitorização não cobre apenas pequenas áreas dos sistemas estudados, sendo por vezes difícil proceder-se à análise da relação $[Cl^-/HCO_3^-]$ devido essencialmente à escassez de dados. Mais uma vez, uma análise cuidadosa destes parâmetros requer análises contemporâneas às águas dos sistemas afectados, no sentido de se perceber qual a progressão da cunha salina e consequente zona de contacto entre água doce e água do mar. Outro problema associado com a relação $[Cl^- / HCO_3^-]$ prende-se com o facto de esta área ser abundante a actividade diapírica. Este facto pode resultar em valores de cloretos elevados nas águas dessas áreas de actividade tectono-diapírica, resultantes da dissolução destes elementos. Por isso podem-se observar concentrações elevadas de cloretos que não estão obrigatoriamente associados ao fenómeno do avanço da cunha marinha, mas sim à salinidade natural das rochas.

Os dados obtidos representam uma base fundamental de conhecimento sobre estes sistemas e constituem peças importantes na composição de ferramentas no apoio ao licenciamento e na preservação ou melhoramento da qualidade e quantidade da água dos sistemas. Para tal anexa-se um CD (Anexo 1) que contém os elementos georreferenciados resultantes do da manipulação, atribuição de índices e cálculo da vulnerabilidade.

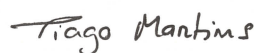
Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Agosto de 2011

VISTOS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas

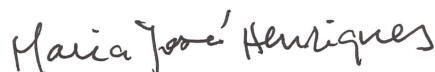
AUTORIAS



Tiago Martins
Geólogo
Bolseiro no Núcleo de Águas Subterrâneas



Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Maria José Henriques
Geóloga
Técnica Superior



J. P. Cárcamo Lobo Ferreira
Doutor Eng. Civil
Investigador-Coordenador

Bibliografia

Almeida C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000 – Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.

Chachadi, A. G., J. P. Lobo-Ferreira, Ligia Noronha, B. S. Choudri (2002), “Assessing the Impact of Sea-Level Rise on Salt Water Intrusion in Coastal Aquifers using GALDIT Model”, Coastin – November 2002, TERI, pp. 27-32.

Chachadi, A.G., Lobo Ferreira, J.P (2005) – “Assessing Aquifer Vulnerability to Sea-Water Intrusion Using GALDIT Method: Part 2 - GALDIT Indicators Description”. Comunicação apresentada no 4º Intercéltico "Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability",Guimarães, 11 a 14 de Julho de 2005.

Domenico, P.A., Schwartz, F. W. (1997) – “Physical and Chemical Hydrogeology”, Second edition, Wiley & Sons, Inc., EUA, 505 pp.

Freeze, R. A. e Cherry, J. A. (1979) – “Groundwater”. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA, 523 pp.

Lobo Ferreira, J.P, Chachadi, A.G., Diamantino, C., Henriques, M.J. (2005) – “Assessing Aquifer Vulnerability to Sea-Water Intrusion Using Galdit Method: Part 1 - Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo”. Comunicação apresentada no 4º Intercéltico "Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability",Guimarães, 11 a 14 de Julho de 2005.

Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Moinante, M.J., (1995) – “Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal”. Volume 2, Lisboa, LNEC, 514 pp.

Pereira, E.D., Martins, T., Henriques, M.J., Lobo Ferreira, J.P., Querner, E. (2011) - "Avaliação da Vulnerabilidade à Contaminação da Água Subterrânea e da Intrusão Salina na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré-Ma Utilizando o Método DRASTIC e GALDIT". 10.º SILUSBA, 10 pp.

Terceiro, P., Lobo-Ferreira, J.P. (2010) - "Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS). Relatório científico da componente LNEC do ano 2010". Relatório 286/2010-NAS, 23 pp.

Anexo 1: *Shapefiles* e bases de dados com os parâmetros GALDIT e resultados obtidos para os sistemas aquíferos da Região Centro (CD-Rom)

Anexo 2: Figuras representativas da situação actual do índice de vulnerabilidade GALDIT para os sistemas estudados¹

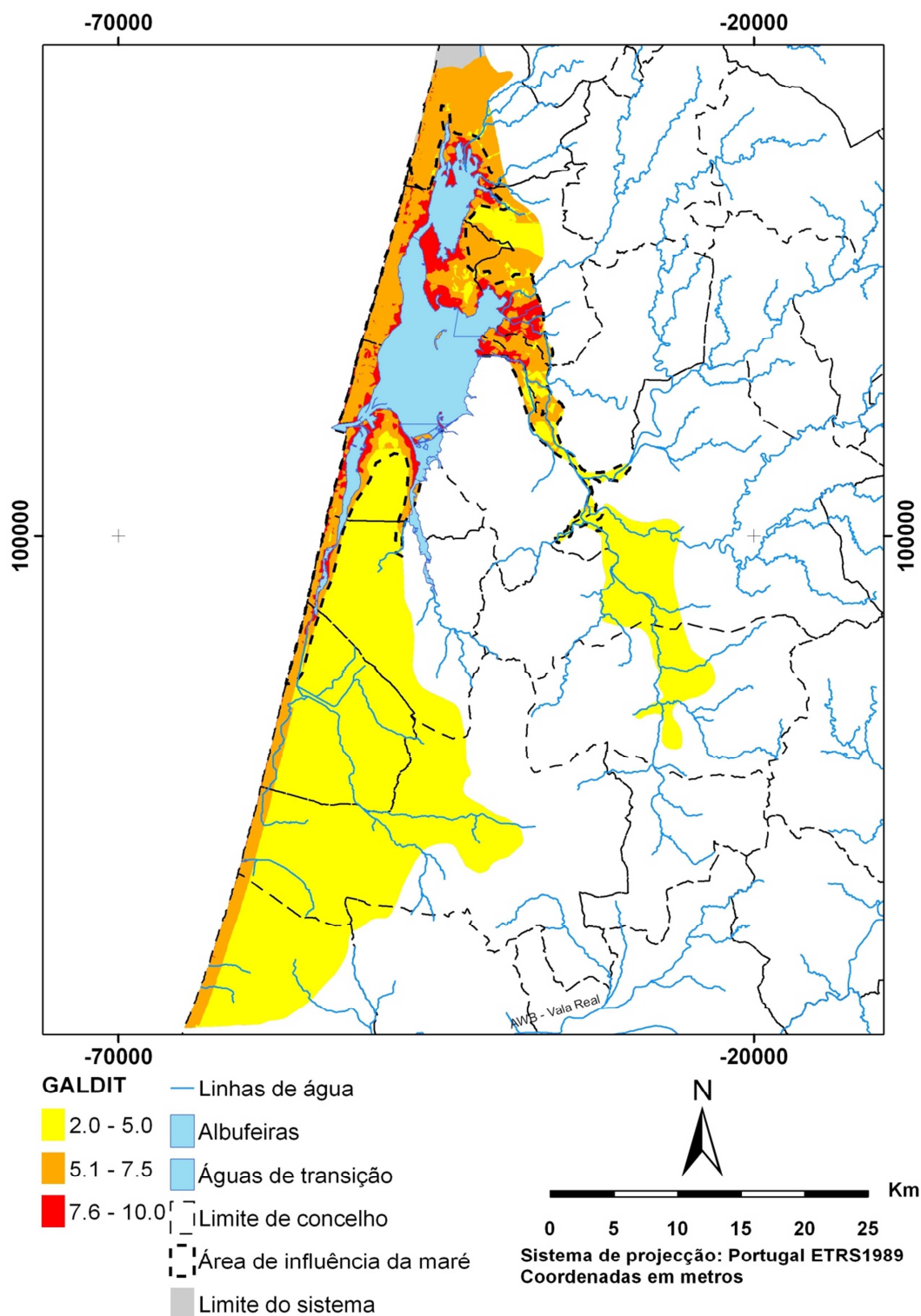


Figura 36 – Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero do Quaternário de Aveiro

¹ Ampliação das figuras anteriormente apresentadas nas secções de resultados de cada sistema aquífero

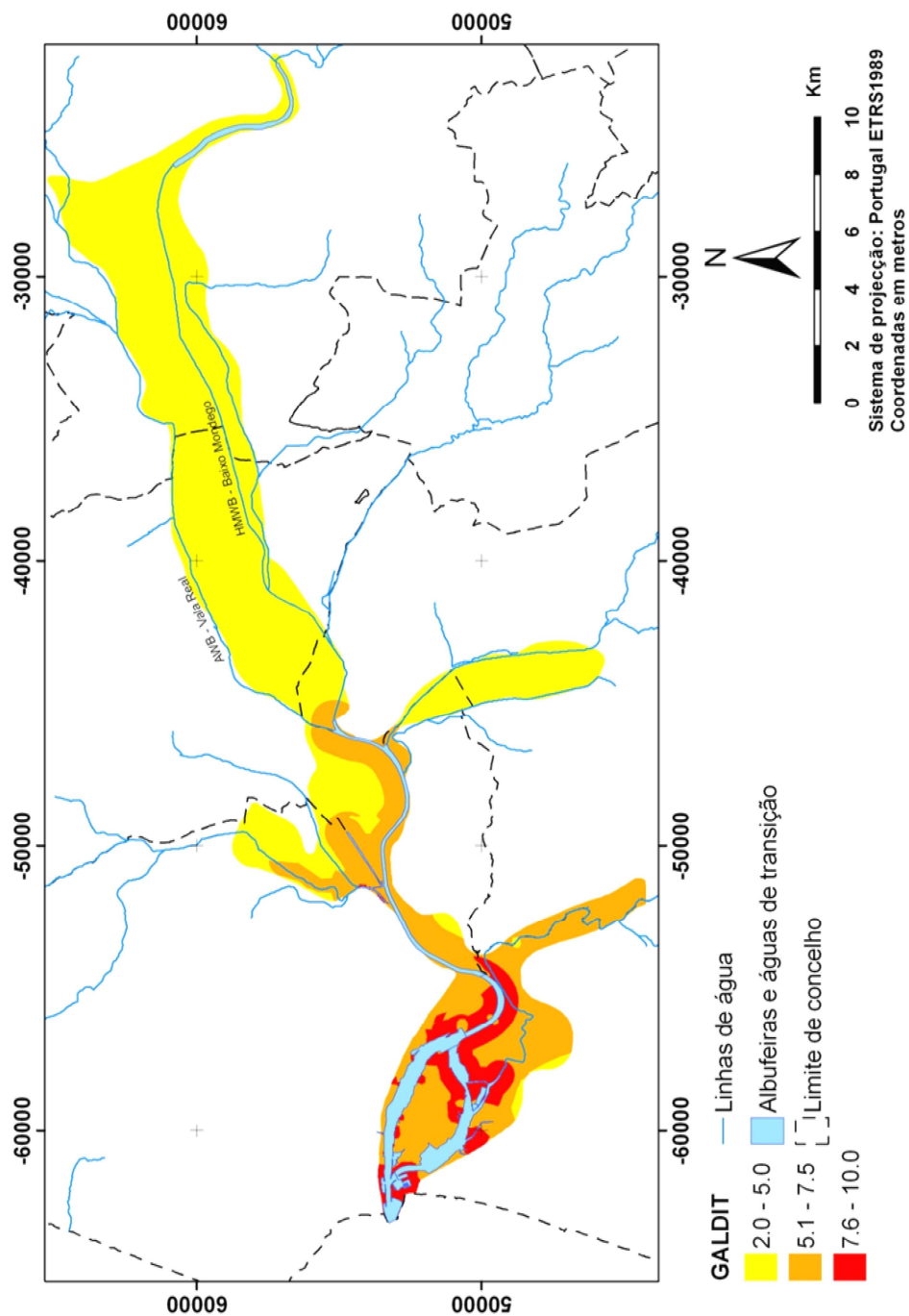


Figura 37 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero dos Aluviões do Mondego

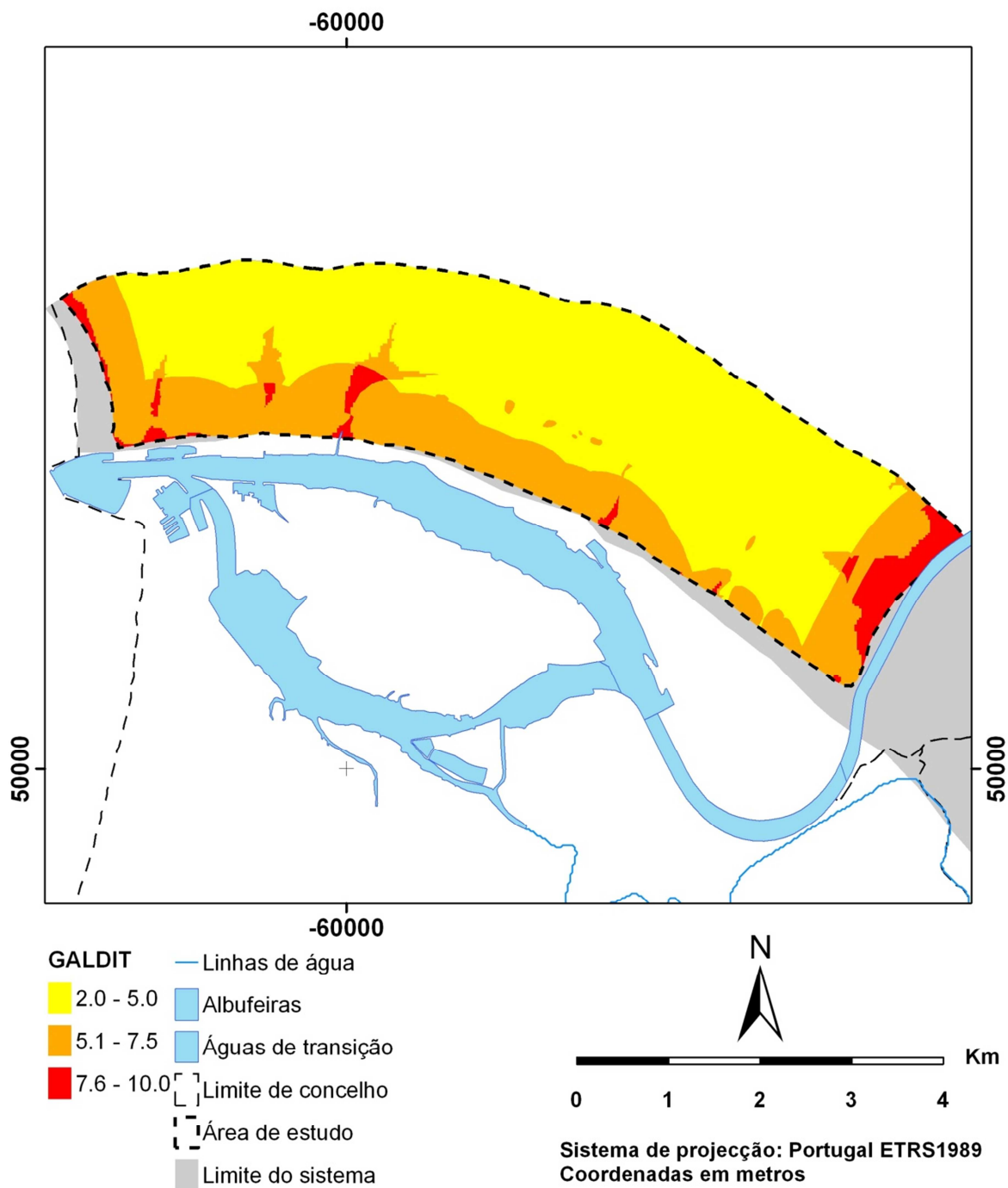


Figura 38 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Figueira da Foz - Gesteira

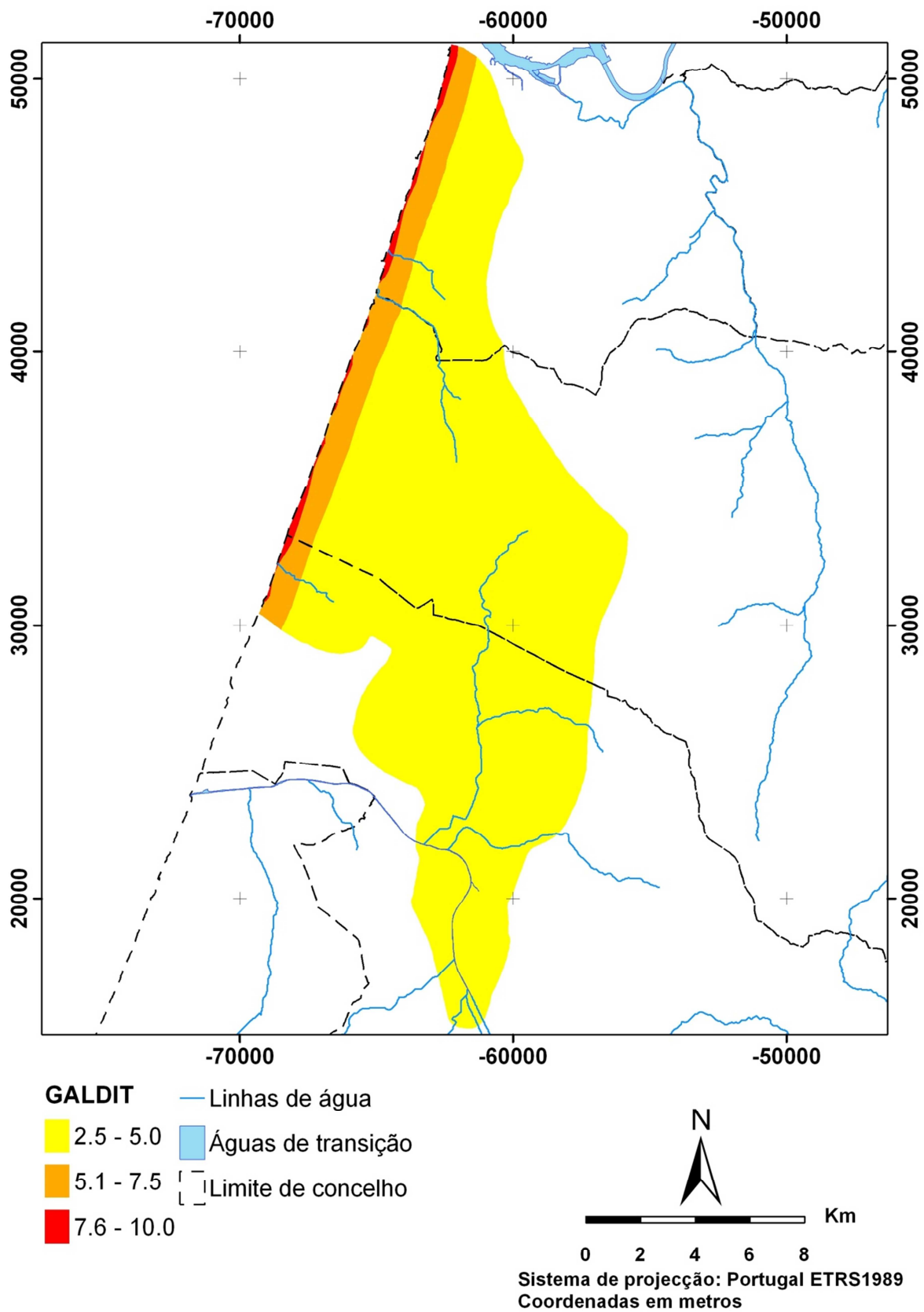


Figura 39 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Leirosa – Monte Real

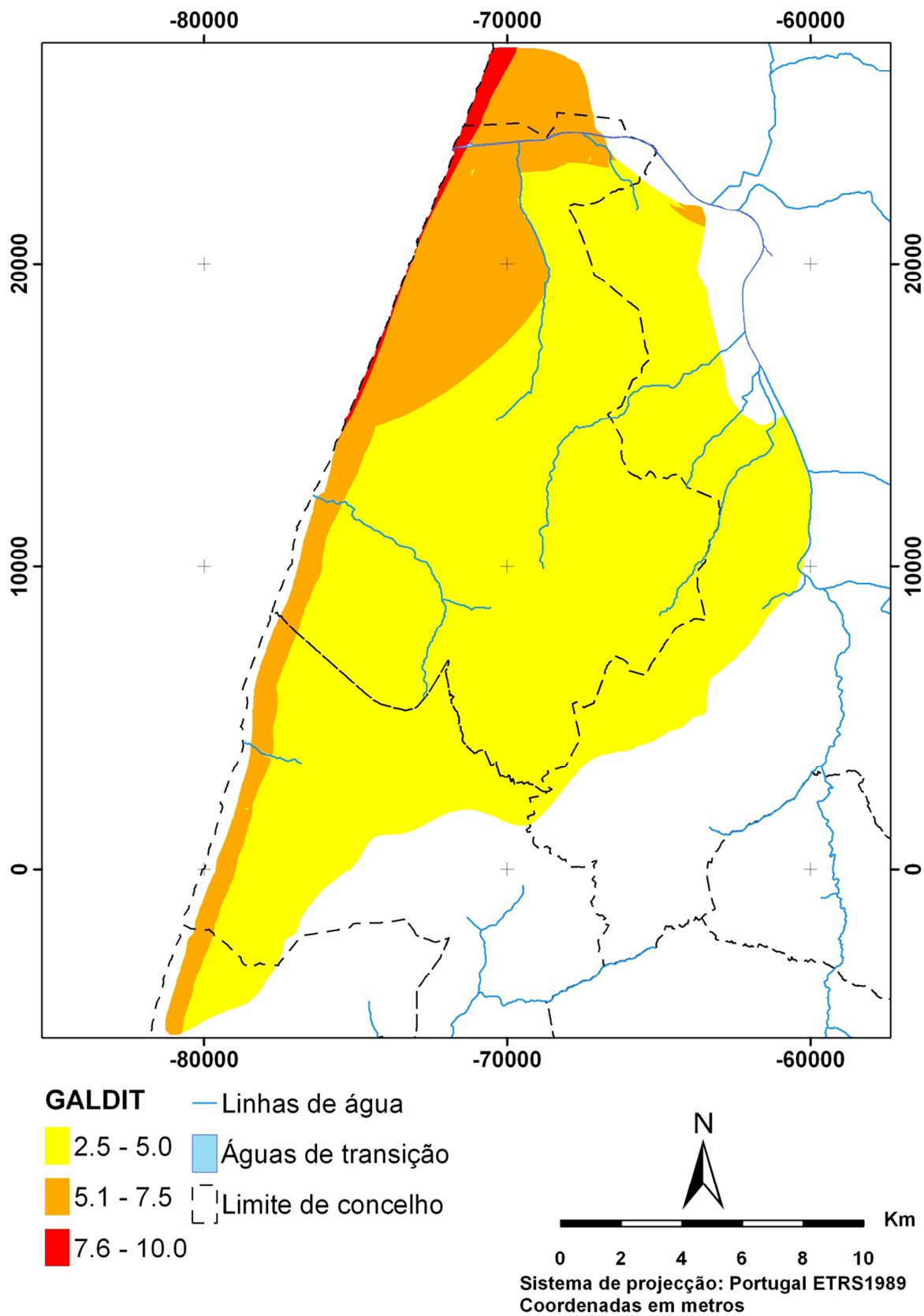


Figura 40 - Índice GALDIT na situação actual para o sistema aquífero de Marinha Grande – Vieira de Leira

Anexo 3: Dados usados na determinação do parâmetro I do índice GALDIT

Nº. de Inventário	Designação	Localização	Coordenadas		Sistema Aquífero	Ano	Nº. da Amostra	Data	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	pH	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	[Cl ⁻ /HCO ₃ ⁻]
			M	P										
241/87	P1	Boavista (Coimbra)	175361	357981	Aluviões Mondego	-	4252010	14-04-2010	26	11	7.0	0.000426	0.000314	0.737363
-	PS1	Tentúgal - PS1	161252	362753	Aluviões Mondego	2006?	4242010	14-04-2010	41	22	6.8	0.000672	0.000629	0.935192
239/39	JK30	Carritos	140010	354117	Figueira da Foz - Gesteira	1982	3682010	07-04-2010	29	60	5.9	0.000475	0.001714	3.605911
249/27	PS2	Vinha Rainha	150385	343492	Figueira da Foz - Gesteira	-	3512010	06-04-2010	190	54	7.0	0.003115	0.001543	0.495338
250/30	JK8	Casa Velha	155814	344899	Figueira da Foz - Gesteira	1992	3522010	06-04-2010	200	32	7.4	0.003279	0.000914	0.278857
250/34	PS1	Brunhós	154307	349523	Figueira da Foz - Gesteira	2001	3502010	06-04-2010	430	41	7.2	0.007049	0.001171	0.166179
273/16	AC15	Monte Redondo	140073	327040	Leirosa - Monte Real	1965	4152010	13-04-2010	30	24	6.3	0.000492	0.000686	1.394286
-	SL1	Costa de Lavos	138150	346337	Leirosa - Monte Real	1972	3672010	07-04-2010	360	93	7.5	0.005902	0.002657	0.450238
196/234	--	Vale das Maias	156855	399556	Quaternário de Aveiro	1945	4712010	20-04-2010	20*	36	5.6	0.000328	0.001029	3.137143
143/3	JK6	Cortegaça	156891	440868	Quaternário de Aveiro	-	5302010	28-04-2010	20*	44	5.9	0.000328	0.001257	3.834286
153/7	JK5	Carregal do Norte	156084	433068	Quaternário de Aveiro	1999	5292010	28-04-2010	20*	54	5.8	0.000328	0.001543	4.705714
186/17	--	Assequins	174108	400420	Quaternário de Aveiro	1964	4022010	13-04-2010	44	22	6.1	0.000721	0.000629	0.871429
-	AC9	Lagoa das Braças	142594	363675	Quaternário de Aveiro	1953	3692010	07-04-2010	100	28	6.6	0.001639	0.000800	0.488000
-	--	Sanjal (N) - Moita	176798	385561	Quaternário de Aveiro	-	4312010	14-04-2010	120	20	7.3	0.001967	0.000571	0.290476
195/41	PS5	Vagueira/Floresta	149270	398268	Quaternário de Aveiro	1976	5342010	28-04-2010	140	47	8.0	0.002295	0.001343	0.585102
197/1	JK1	Quinta da Morte (Olhos d'água)	168321	393517	Quaternário de Aveiro	1973	4672010	20-04-2010	210	22	7.4	0.003443	0.000629	0.182585
218/45	Nº.6	Fervença	152227	375647	Quaternário de Aveiro	1994	3712010	07-04-2010	240	24	7.7	0.003934	0.000686	0.174286
296/41	AC28	Picassinos	133487	306558	Vieira Leiria - Marinha Grande	-	4102010	13-04-2010	26	25	6.0	0.000426	0.000714	1.675824
-	RA2	Vieira	129719	322961	Vieira Leiria - Marinha Grande	1985	3812010	07-04-2010	85	220	6.7	0.001393	0.006286	4.510924
296/56	HO6	Embra-Mar. Grande	133624	308707	Vieira Leiria - Marinha Grande	1977	3792010	07-04-2010	87	41	6.4	0.001426	0.001171	0.821346
297/96	SL7	Barosa	137823	309606	Vieira Leiria - Marinha Grande	-	4112010	13-04-2010	120	43	6.8	0.001967	0.001229	0.624524
272/6	AC1	Carvide	134407	322158	Vieira Leiria - Marinha Grande	1990	4182010	13-04-2010	130	31	8.3	0.002131	0.000886	0.415604
285/104	SL10	Amor - Casal dos Claros	136111	315635	Vieira Leiria - Marinha Grande	-	4192010	13-04-2010	150	8.9	8.0	0.002459	0.000254	0.103410

*Nos pontos assinalados foi considerado que as concentrações abaixo do limite de detecção (<24 mg/L) representam 20 mg/L.

