

JÚLIO DE JESUS – CONSULTORES, LDA

**PROJETO "UNIDADE DE EXECUÇÃO 1 DO PLANO DE PORMENOR DA PRAIA GRANDE"**

**AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS**

(relatório\_1703040\_v1\_05jul2017)

## ÍNDICE GERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>RISCO SÍSMICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b><i>CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E SISMO-TECTÓNICAS DA ÁREA EM ESTUDO .....</i></b>	<b>15</b>
3.1.1	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO .....	15
3.1.2	ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO .....	17
3.1.3	ENQUADRAMENTO TECTÓNICO E NEOTECTÓNICO .....	18
3.1.4	SISMICIDADE .....	20
3.1.4.1	Potencial Sismogénico das Principais Falhas Ativas na Região do Algarve .....	21
3.1.4.2	Sismicidade Histórica .....	21
3.1.4.3	Sismicidade Instrumental .....	24
3.1.5	ESTRUTURAS TECTÓNICAS E NEOTECTÓNICAS ATIVAS .....	25
3.1.6	RELAÇÃO ENTRE SISMICIDADE E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS ATIVAS .....	28
3.1.7	ANÁLISE DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE TSUNAMIS .....	29
<b>3.2</b>	<b><i>ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA .....</i></b>	<b>31</b>
3.2.1	ANÁLISE PROBABILÍSTICA .....	31
3.2.2	ANÁLISE DETERMINÍSTICA .....	31
<b>3.3</b>	<b><i>ESTIMATIVA DO SISMO MÁXIMO EXPECTÁVEL / CÁLCULO DA ACELERAÇÃO HORIZONTAL MÁXIMA .....</i></b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b><i>QUANTIFICAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA COM BASE NA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA .....</i></b>	<b>34</b>
3.4.1	REGULAMENTO DE SEGURANÇA E AÇÕES PARA ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS E PONTES ..	34
3.4.2	EUROCÓDIGO 8 .....	36
<b>3.5</b>	<b><i>ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA .....</i></b>	<b>40</b>
3.5.1	CÁLCULO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA PARA A ÁREA EM ESTUDO .....	45
<b>4</b>	<b>RISCO DE LIQUEFAÇÃO DE SOLOS .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b><i>LIQUEFAÇÃO .....</i></b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b><i>POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO .....</i></b>	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b><i>FATORES CONDICIONANTES DE LIQUEFAÇÃO .....</i></b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b><i>ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE DE UM SOLO À LIQUEFAÇÃO .....</i></b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b><i>EFEITOS DA LIQUEFAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS SEUS RISCOS .....</i></b>	<b>52</b>
4.5.1	EFEITOS DA LIQUEFAÇÃO .....	52
4.5.2	MITIGAÇÃO DOS RISCOS DE LIQUEFAÇÃO DE SOLOS .....	55

<b>4.6</b>	<b>O FENÓMENO DE LIQUEFAÇÃO EM PORTUGAL</b> .....	<b>57</b>
4.6.1	ZONAMENTO DO POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO EM PORTUGAL .....	61
<b>4.7</b>	<b>ZONAMENTO DO POTENCIAL RISCO DE LIQUEFAÇÃO NA PRAIA GRANDE</b> .....	<b>65</b>
4.7.1	CONDIÇÕES GEOLÓGICAS / GEOMORFOLÓGICAS LOCAIS.....	66
4.7.2	AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À LIQUEFAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO .....	68
4.7.2.1	ANÁLISE DA LIQUEFAÇÃO DOS SOLOS NA ÁREA AFETA AO PROJETO .....	69
<b>5</b>	<b>RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO</b> .....	<b>73</b>
5.1	ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL .....	74
5.2	DADOS DE CAMPO CONSTANTES NO EIA - 2013 .....	74
5.3	INVENTÁRIO DE FOCOS POLUENTES.....	78
5.4	VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO .....	81
5.5	PERIGOSIDADE .....	84
5.6	RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO .....	87
<b>6</b>	<b>RISCO DE INUNDAÇÃO</b> .....	<b>90</b>
6.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA REDE HIDROGRÁFICA .....	91
6.2	ESTUDO DOS CAUDAIS DE CHEIA.....	92
6.3	ESTUDO DAS ÁREAS INUNDADAS NA ÁREA DA UE1.....	98
6.4	ÁREAS INUNDADAS OU INUNDÁVEIS NA ÁREA EM ESTUDO .....	103
6.5	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO FUNCIONAMENTO HIDROLÓGICO DA ÁREA E POTENCIAL PRODUTIVO.....	105
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>109</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>113</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I – Meios humanos afetos ao estudo de avaliação de riscos geológicos. ....	9
Tabela II – Características das falhas ativas existentes na proximidade da área em estudo. ....	32
Tabela III – Valores sísmicos característicos para a área de intervenção. ....	35
Tabela IV – Tipos de terrenos definidos pelo EC8. ....	38
Tabela V – Zonamento sísmico estabelecido pelo EC8 para o local em estudo. ....	39
Tabela VI – Parametização dos sedimentos Plio-Quaternários (P1). ....	41
Tabela VII – Parametização das formações do Miocénico (P3). ....	42
Tabela VIII – Parametização das formações do Cretácico (P4). ....	42
Tabela IX – Parametização das formações do Jurássico e do Paleozoico (P5). ....	42
Tabela X – Parametização das formações do Triásico (P6). ....	42
Tabela XI – Espessuras e valores de vulnerabilidade (P2). ....	43
Tabela XII – Tipo de carso e valores de vulnerabilidade (P7). ....	43
Tabela XIII – Cruzamento de dados de classes de declives com litologias predominantes (P8). ....	44
Tabela XIV – Valores de vulnerabilidade aferidos para a área em estudo. ....	46
Tabela XV – Melhoria de solos e soluções estruturais disponíveis para reduzir os riscos da liquefação (Seed <i>et al.</i> , 2001). ....	57
Tabela XVI – Sismos com referência à liquefação (Jorge, 1993). ....	58
Tabela XVII – Distância máxima de liquefação (Jorge, 1993). ....	60
Tabela XVIII – Suscetibilidade à liquefação dos depósitos/unidades geomorfológicas em Portugal. ....	62
Tabela XIX – Ponderação das características das unidades geológicas no desenvolvimento da liquefação. ....	68
Tabela XX – Parâmetros adotados no cálculo da tensão tangencial sísmica ( $\tau_e$ ) ....	71
Tabela XXI - Inventário Hidrogeológico (dados integrantes do Parecer Hidrogeologia). ....	75
Tabela XXII - Fontes de poluição identificadas na área em estudo. ....	80
Tabela XXIII – Cálculo do Índice DRASTIC. ....	83
Tabela XXIV - Cálculo da Perigosidade do projeto. ....	87
Tabela XXV - Matriz de Risco de Contaminação. ....	88
Tabela XXVI – Características gerais das bacias hidrográficas e das ribeiras de Alcantarilha e Espiche. ....	91
Tabela XXVII – Escoamento mensal afluente à secção terminal das ribeiras de Alcantarilha e Espiche. ....	92
Tabela XXVIII – Cálculo do tempo de concentração para a Ribeira de Alcantarilha. ....	95
Tabela XXIX – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Alcantarilha. Método Racional. ....	96
Tabela XXX – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Alcantarilha. Fórmula de Loureiro. ....	96
Tabela XXXI – Cálculo do tempo de concentração da Ribeira de Espiche. ....	97
Tabela XXXII – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Método Racional. ....	97
Tabela XXXIII – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Fórmula de Loureiro. ....	98
Tabela XXXIV – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Fórmula de Mockus. ....	98
Tabela XXXV – Tabela de marés para a praia-mar. ....	100
Tabela XXXVI – Tabela de marés. ....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de intervenção sobre extrato da Carta Topográfica Militar nº 604-Lagoa, na escala original de 1/25000.....	8
Figura 2 – Localização da área de intervenção sobre extrato da Carta Geológica de Portugal, Folha nº 52-B (Albufeira), na escala original de 1/50 000.....	16
Figura 3 – Enquadramento neotectónico de Portugal Continental com algumas das principais falhas ativas (Cabral, 1993).....	19
Figura 4 – Mapa sintético das principais falhas ativas atualmente identificadas na zona emersa e imersa do Algarve.....	20
Figura 5 – Mapa com marcação dos principais hipocentros com base em documentos.....	22
Figura 6 – Sismicidade histórica de Portugal (epicentros de alguns sismos históricos).....	24
Figura 7 – Distribuição de epicentros de sismos instrumentados.....	25
Figura 8 – Mapa de lineamentos classificados geologicamente (Moniz et al., 2003).....	26
Figura 9 – Mapa sintético das principais falhas ativas identificadas na região do Algarve.....	27
Figura 10 – Mapa de falhas ativas assinalando os afloramentos Plio-quadernários, os paleossismitos na região do Algarve.....	28
Figura 11 – Inundação associada à atividade sísmica em Armação de Pêra (adaptado de Baptista et al. 2012). ....	30
Figura 12 – Localização das falhas ativas com maior influência na zona em estudo.....	33
Figura 13 – Carta das zonas sísmicas propostas pelo RSAEEP.....	35
Figura 14 – Cartas de atividade e previsão sísmicas para um período de retorno de 1000 anos (Oliveira et al 1977).....	36
Figura 15 – Zonamento sísmico do Anexo Nacional da EN 1998-1 (EC8).....	39
Figura 16 – Índice de Vulnerabilidade sísmica da região do Algarve (ANPC, 2012).....	45
Figura 17 – Índice de Vulnerabilidade sísmica do local em estudo (adaptado de ANPC, 2012).....	46
Figura 18 – Força interpartículas (Johansson, 2000).....	47
Figura 19 – Vulcões de areia no Imperial Valley, na Califórnia, gerados durante o sismo de 15 de Outubro de 1979 (Johansson, 2000).....	54
Figura 20 – Rotura de fluxo desenvolvida no bordo de uma estrada junto ao lago Merced em São Francisco, durante o sismo de 1957 (Fotografia de M. G. Bonilla dos USGS in www.usgs.gov).....	54
Figura 21 – Localização dos fenómenos de liquefação associados a sismos históricos (Jorge, 1993).....	59
Figura 22 - Relação entre a magnitude e o logaritmo da distância epicentral ao local mais afastado onde ocorreu liquefação (Jorge, 1993).....	60
Figura 23 – Mapa de período de retorno mínimo da oportunidade de liquefação para Portugal (Jorge, 1993).....	61
Figura 24 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para Portugal Continental - zona norte; (Jorge, 1993).....	63
Figura 25 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para Portugal Continental - zona sul; (Jorge, 1993).....	64
Figura 26 – Classificação de solos de acordo com a classificação de Penelis (1997) feita a partir da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:200 000.....	66
Figura 27 – Localização da área de intervenção sobre extrato na Carta Geológica de Portugal, Folha nº 52-B (Albufeira), na escala original de 1/50 000.....	67

Figura 28 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para a UE 1 - Praia Grande.....	69
Figura 29 – Coluna estratigráfica local com base em dados de Estêvão (2007, in Rodrigues, 2015).....	70
Figura 30 – Relação entre tensões normalizadas e valores de $N_1(60)$ (NP EN 1998-5 2010). ....	72
Figura 31 - Localização dos pontos de água inventariados no âmbito do EIA. ....	76
Figura 32 - Classificação dos graus de Perigosidade. ....	86
Figura 33 - Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, Folha B1 - Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos, à escala original 1/100000, com área de implantação do projeto. ....	89
Figura 34 - Vista 2D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS. Ribeira de Alcantarilha e Ribeira de Espiche..	99
Figura 35 - Vista 3D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS, para a Ribeira de Alcantarilha. ....	101
Figura 36 - 3D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS para a ribeira de Espiche.....	101
Figura 37 - Perfil longitudinal do escoamento para a Ribeira de Alcantarilha.....	102
Figura 38 - Perfil longitudinal do escoamento para a Ribeira de Espiche. ....	102
Figura 39 - Áreas inundadas ou inundáveis na área em estudo, em sobreposição com a Carta da REN. ....	104
Figura 40 - Áreas inundadas ou inundáveis na área em estudo em sobreposição com o levantamento topográfico. ..	105

## ANEXOS

### ANEXO I – Inventário de Focos Poluentes

# 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório corresponde a uma solicitação da empresa JÚLIO DE JESUS – Consultores, Lda., para a colaboração na elaboração dos elementos indicados no nº2 em sede de RECAPE, segundo a Declaração de Impacte Ambiental (DIA) no âmbito do projeto designado por “Unidade de Execução 1 do Plano de Pormenor da Praia Grande”, em Pêra, concelho de Silves.

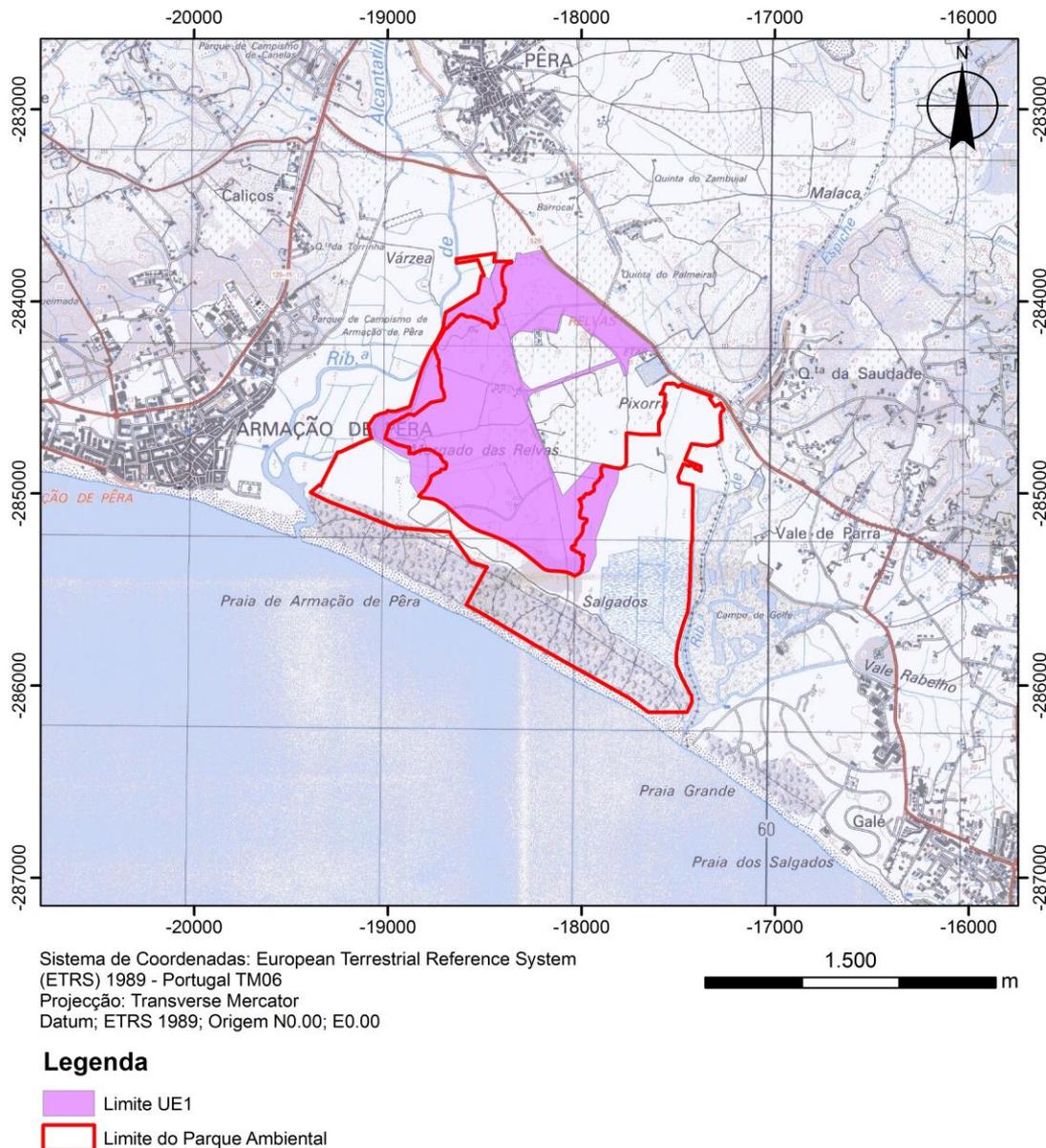
A área em estudo localiza-se no concelho de Silves e na União de Freguesias de Alcantarilha e Pêra. Relativamente à Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), o projeto localiza-se na NUTS III – Algarve e na NUTS II – Algarve.

O projeto designado por “Unidade de Execução 1 do Plano de Pormenor da Praia Grande” prevê a seguinte ocupação:

- Dois estabelecimentos hoteleiros (Hotel B e Hotel C);
- Um aldeamento turístico (Aldeamento B);
- Um conjunto turístico (composto pelo Hotel A e Aldeamento A);
- Um lote comercial;
- Quatro parcelas destinadas a um campo de golfe de dezoito buracos.

Estão ainda previstos dois parques de estacionamento públicos de apoio à Praia Grande.

A área de intervenção do PP da Praia Grande, com 359ha, é limitada a sul pela linha de costa da Praia Grande, a nascente e a poente pelas ribeiras de Espiche e Alcantarilha, respetivamente, e a norte pela Estrada Municipal (EM) 526 (ver Figura 1). Na envolvente próxima, a norte da área de estudo, localiza-se a Estrada Nacional (EN) 125 e a Autoestrada A22 (Via Infante de Sagres, usualmente conhecida como Via do Infante).



**Figura 1 – Localização da área de intervenção sobre extrato da Carta Topográfica Militar nº 604-Lagoa, na escala original de 1/25000.**

Em termos de ocupação atual do solo o local, onde este estudo incidiu, desenvolve-se numa área onde estão presentes diferentes utilizações do solo. Contudo, verifica-se que a maior parte da área corresponde a antigos campos agrícolas atualmente abandonados. Predominam os terrenos incultos, com árvores e arbustos dispersas. Em menor porção, identificam-se terrenos ocupados com aroeiras e/ou figueiras.

Segue-se, em importância, a ocupação agrícola, representada maioritariamente por categorias de ocupação extensivas: amendoeiras dispersas e oliveiras.

A ocupação florestal está presente apenas numa área de pinheiros mansos, correspondendo a um pequeno bosque no extremo poente da área em estudo.

O edificado e outras áreas impermeabilizadas constitui outra utilização de ocupação do solo. Neste âmbito, há que considerar uma área com um conjunto de edifícios em ruínas, de apoio à atividade agrícola, um conjunto de antigos moinhos e a atual estrada de acesso com pavimento betuminoso.

O presente Relatório de Avaliação de Riscos Geológicos incidirá sobre as infraestruturas gerais da Unidade de Execução 1 do Plano de Pormenor da Praia Grande, onde se incluem as redes primárias exteriores a cada um dos lotes (hotéis, campo de golfe e aldeamentos) bem como a área do Parque Ambiental.

A Avaliação dos Riscos Geológicos, que culmina com a realização do presente relatório, decorreu durante os meses de Abril e Maio de 2017, tendo envolvido uma equipa multidisciplinar de técnicos, que se apresenta na Tabela I.

**Tabela I – Meios humanos afetos ao estudo de avaliação de riscos geológicos.**

<b>NOME</b>	<b>FORMAÇÃO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Benedito Calejo Rodrigues	Geólogo (UP) Mestre em Geologia	Coordenação
Normando Ramos	Hidrogeólogo (UP)	Hidrogeologia
Sónia Silva	Geóloga (UP) <i>Mestre em Tecnologias de Remediação Ambiental</i>	Hidrogeologia
Irene Palma	Técnica Superior de Ambiente (UP) Mestre em Tecnologias de Remediação Ambiental	Hidrogeologia SIG
Ivo Ferreira	Geólogo (UP)	Geologia
Nuno Rei	<i>Geólogo (UP)</i>	Geologia
Joana Campos	<i>Técnica Superior de Ambiente</i> <i>Mestre em Tecnologias de Remediação Ambiental</i>	Hidrogeologia
António Matos Pereira	<i>Engenheiro Civil</i>	Hidráulica
Luís Diogo	<i>Engenheiro Civil</i>	Hidráulica

## 2 AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS

Uma definição de risco, que é aceite de modo generalizado, pode ser equacionada do seguinte modo:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Consequência}$$

Nesta equação em que se determina um nível de Risco, o primeiro fator é a Probabilidade de ocorrência de um determinado fenómeno (movimento de massas, colapso de estrutura, contaminação de uma massa de água, etc.), que afete pessoas, bens ou o meio ambiente na área em estudo. Assim, se a probabilidade de ocorrência deste fenómeno for nula não há risco, bem como, não havendo pessoas e bens, também não há risco.

O valor da Vulnerabilidade pretende avaliar, ainda que normalmente de modo qualitativo, o valor da afetação direta, enquanto o valor da Consequência representa o valor da restituição da situação ou correção.

A Probabilidade do acidente depende da permanência no tempo das pessoas ou bens, nos locais afetados pelos fenómenos. O risco é maior onde exista maior permanência de pessoas. No presente caso admite-se que essa permanência, pelo menos durante a fase de exploração, é constante, ou seja, qualquer fenómeno pode provocar um acidente, nomeadamente sobre o meio ambiente como, por exemplo, sobre a massa de água subterrânea. Durante a fase de construção, embora a ocupação territorial seja semelhante, a permanência de pessoas e bens será variável e intermitente.

Podemos classificar os fatores do risco em duas categorias: os fatores condicionantes e os fatores desencadeantes. Os primeiros são de natureza geológica ou geomorfológica e são condições mais ou menos permanentes, que podem favorecer ou não a ocorrência de episódios de risco. Os segundos são de origem geofísica, climática ou antrópica e constituem a causa próxima da ocorrência de episódios de risco.

Relativamente ao acontecimento do fenómeno potenciador de risco em si, a sua causa e origem condicionam a probabilidade de acidente, a conjugar com a probabilidade de permanência, enquanto a sua magnitude, que condiciona a Vulnerabilidade e a Consequência, está ligada ao fenómeno (parâmetros físicos e dimensionais).

Sobre a causa e origem dos fenómenos potenciadores de risco, poderiam ser selecionados os naturais, como chuva, gelo, vento, temperatura, incêndios, sismos, etc., e os artificiais, tais como construção humana, trabalhos agrícolas, vibrações induzidas, etc.

Quando, dentro do grupo dos Riscos Naturais, se consideram apenas os Riscos Geológicos (ou riscos geológico e geomorfológico), estes podem-se considerar associados a processos geológicos relacionados com a dinâmica externa e com a dinâmica interna do planeta Terra.

No caso da implementação do projeto turístico em análise, assumem particular relevância os riscos geológicos associados a fenómenos de:

- Atividade sísmica, no domínio da geodinâmica interna;
- Movimentos de massa, no domínio da geodinâmica externa;
- Afetação da qualidade da água subterrânea, no domínio da atividade antrópica;
- Inundabilidade de áreas do projeto, no domínio da geodinâmica externa conjugada com a atividade antrópica.

Desse modo este relatório analisará os seguintes riscos:

- Risco Sísmico;
- Risco de Liquefação de Solos;
- Risco de Contaminação do Aquífero;
- Risco de Inundação.

### 3 RISCO SÍSMICO

O risco sísmico classifica-se como uma medida de perdas, humanas e económicas, resultantes de elementos expostos ao risco, como resultado de sismos futuros, bem como a probabilidade das mesmas ocorrerem para um certo período de tempo de exposição.

Os elementos em risco podem ser:

- Património construído;
- Atividades económicas;
- População.

A definição do elemento em risco condiciona a forma de quantificação das perdas ou do risco sísmico, o que poderá ser efetuado em termos de custos diretos dos danos, número de mortos, feridos, desalojados ou dos custos resultantes da interrupção de dada atividade económica.

A dimensão e gravidade dos efeitos de um sismo dependem da extensão e grau de danos provocados pelo sismo que, por sua vez, resulta da magnitude da ação sísmica e da vulnerabilidade (entendida como uma medida do dano nos elementos em risco em resultado da ocorrência de um sismo com uma dada magnitude) dos elementos expostos.

Assim sendo, depreende-se que uma região, mesmo que esteja sujeita a sismos intensos, possa ter um risco sísmico reduzido, se for escassamente habitada, uma vez que nesse caso os elementos expostos serão poucos e os impactes facilmente minimizados. Pelo contrário, outra região sujeita a sismos da mesma severidade, possuirá um risco sísmico tanto mais elevado quanto mais vulneráveis forem os elementos expostos ao risco nela existentes e, obviamente, quanto maior for o potencial de impacte na sociedade aos vários níveis.

Ainda que a perigosidade sísmica do território nacional seja moderada, tendo em conta todos os aspetos que condicionam o risco, pode-se concluir que parte da população portuguesa vive em situações de risco sísmico não desprezável.

O risco poderá ser elevado em algumas regiões, contribuindo para tal fatores como a existência no parque construído de muitos edifícios com insuficiente resistência sísmica de raiz, a que se somam estados avançados de degradação, o aumento da densidade populacional, a concentração das populações em centros urbanos potencialmente ameaçados por eventos sísmicos severos e a expansão de infraestruturas, equipamentos, sistemas tecnológicos e atividades económicas de complexidade crescente (retirado de [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/risco\\_sismico.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/risco_sismico.html)).

Relativamente à vulnerabilidade sísmica das construções, salientam-se os seguintes pontos, em termos de construções recentes e antigas:

1. **Construções recentes:** uma vez que a disposição para dimensionamento sísmico da Regulamentação Nacional contém disposições que impõem a consideração explícita do efeito da ação dos sismos no projeto das estruturas, a sua vulnerabilidade estaria, em princípio, apenas condicionada a eventuais deficiências nos mecanismos de fiscalização de todo o processo construtivo. No entanto, há a considerar alguns aspetos que contribuem para uma maior vulnerabilidade destas construções:
  - O desordenamento de ocupação do território, verificado com deslocação de populações para as zonas litorais urbanas e o aparecimento de um parque clandestino de dimensão considerável nas zonas periféricas dos grandes centros urbanos, em particular na área metropolitana de Lisboa e na região do Algarve. Nestas construções, a vulnerabilidade sísmica inerente ao não cumprimento das disposições regulamentares é bastante elevada, embora de difícil quantificação;
  - Empreendimentos para os quais, ainda que satisfazendo à partida as disposições regulamentares no projeto, não é possível garantir que este foi efetivamente respeitado durante a construção, em virtude da natural dificuldade dos municípios em assegurar uma fiscalização efetiva;
  - Novos sistemas estruturais, não tradicionais no nosso País e fundamentalmente baseados em soluções adotadas no norte da Europa, cujo comportamento sob a ação dos sismos pode apresentar deficiências importantes e que não são considerados de forma completa e explícita na atual regulamentação.
  
2. **Construções antigas** (anteriores à regulamentação sísmica), a ausência de dimensionamento sísmico específico poderá não implicar necessariamente elevada vulnerabilidade sísmica, como é o caso das estruturas pombalinas originais, cuja construção obedeceu a regras específicas de resistência antissísmica, que se poderão considerar os antepassados da regulamentação atual. Ressalvam-se os seguintes aspetos:
  - Risco significativo, associado a algumas tipologias posteriores à época pombalina e anteriores ao aparecimento de betão armado, cuja conceção reflete o abandono da gaiola pombalina e a ausência da consideração do efeito da ação dos sismos, em virtude de um esquecimento do problema sísmico em períodos de pouca atividade sísmica;
  - Estado de degradação de algumas destas construções, aliado por vezes a sucessivas alterações estruturais sem adequada fundamentação, conduzem por vezes a situações de risco potencial grave e dificilmente controlável.

Face à inevitabilidade da ocorrência dos sismos em Portugal, a abordagem da questão sísmica num contexto nacional deve assentar na análise dos seus aspetos fundamentais, que refletem necessariamente os fatores que contribuem para a existência de um risco "real" de desastre para a sociedade. Este risco de desastre está associado, em primeira análise, ao risco sísmico do País ou das suas regiões, mas também ao contexto exterior relativamente à região potencialmente afetada e, ainda, ao grau de preparação da comunidade, à eficiência da resposta de emergência e à capacidade efetiva de recuperação (retirado de [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/risco\\_sismico.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/risco_sismico.html)).

Os riscos sísmicos podem ser classificados nas seguintes categorias:

- Rutura de falhas geológicas

Estas ruturas podem ser a causa de inúmeros danos nas estruturas. Neste tipo de rutura as estruturas são seccionadas, existindo movimento, podendo uma parte da estrutura mover-se numa direção e a outra na direção contrária. Em casos mais complexos pode ocorrer a deformação dos materiais.

A fratura, onde existe um deslocamento de grandeza significativa ao longo da superfície de separação das partes, é designada por superfície ou plano de falha. As superfícies dos blocos que delimitam a falha designam-se por paredes de falha e o espaço compreendido entre estas designa-se por caixa de falha. Uma parede de falha polida por atrito entre blocos designa-se por espelho de falha (*slickenside*), enquanto que a brecha de esmagamento das paredes de uma falha é designada por milonito. As falhas raramente são unidades planas singulares já que ocorrem normalmente como conjuntos de descontinuidades paralelas ou sub-paralelas, constituindo famílias, ao longo das quais se registou movimento numa maior ou menor extensão.

- Tsunamis, seiches e inundações

As inundações podem resultar de tsunamis, seiches, destruição de barragens ou da proximidade de áreas inundáveis. A faixa costeira portuguesa é considerada como zona de alto risco pois localiza-se próxima e livre de obstáculos em relação à zona de falha Açores-Gibraltar, na planície abissal da Ferradura e do Banco Submarino do Goringe, local onde se geram grande parte dos sismos que afetam o território português.

- Avalanches, deslizamentos de terras e lama, liquefação de solos, incêndios (riscos secundários)

Os deslizamentos e quedas de blocos, localizados em encostas podem causar enormes danos em estruturas, estando ainda condicionados com a estação do ano. De modo a avaliar o risco de deslizamento torna-se fundamental caracterizar a suscetibilidade de deslizamento e das condições geológicas de uma dada região. Assim, em conjunto com a ação sísmica, estas zonas podem sofrer deslizamentos de variadas extensões.

A liquefação de solos consiste na passagem de um solo granular para um estado liquefeito, geralmente causado por um grande sísmico. Ocorre uma redução da rigidez e da resistência devido à geração de pressões intersticiais. Pode dar origem a deformações permanentes e conduzir a situações em que a

tensão efetiva é praticamente nula. Associada à liquefação podem muitas vezes ocorrer fenómenos como jatos de água (*sand boils*), afundamentos localizados, escorregamentos laterais e assentamentos diferenciais.

Os incêndios ocorrem geralmente após o sismo, tendo por origem a interrupção do normal funcionamento dos sistemas de eletricidade e de gás. Parâmetros como as fontes de ignição, comunicação do incêndio e tempo de resposta, expansão do fogo e supressão do fogo são avaliados na conflagração dos incêndios.

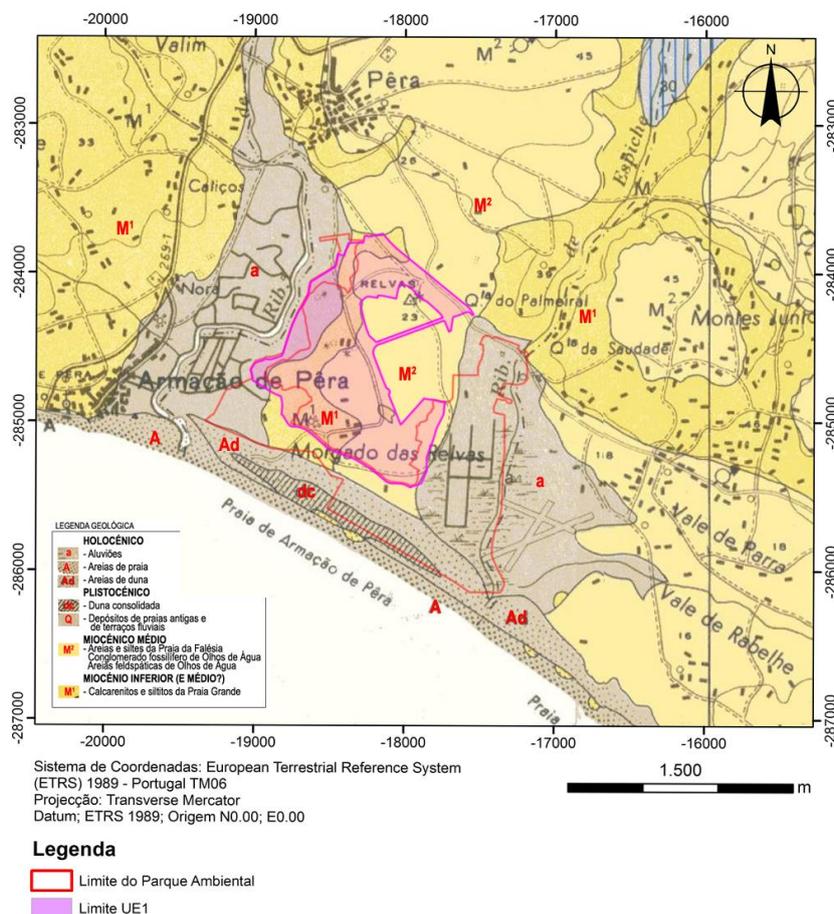
Dependendo das condições sismogénicas, em que uma determinada região se insere, poderão ocorrer os acontecimentos descritos anteriormente.

A redução da vulnerabilidade sísmica depende da modelagem das futuras fontes de sismos nas áreas urbanas, com a reposta das estruturas de engenharia, das infraestruturas e das obras de arte de acordo com a regulamentação existente (Eurocódigo 8) e da análise geológica e sísmica.

## **3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E SISMO-TECTÓNICAS DA ÁREA EM ESTUDO**

### **3.1.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO**

Do ponto de vista da geologia, a área em estudo está coberta pela Carta Geológica de Portugal, Folha nº 52-B (Albufeira), na escala 1/50 000, cujo extrato é apresentado na Figura 2.



**Figura 2 – Localização da área de intervenção sobre extrato da Carta Geológica de Portugal, Folha nº 52-B (Albufeira), na escala original de 1/50 000.**

A área em estudo localiza-se na Orla Mesozóica Meridional Algarvia, inserida numa zona essencialmente de areias de idade Plio-Plistocénica e Holocénica, sobrejacentes a um estrato rochoso de idade Miocénica.

Estas areias podem ser subdividas nas seguintes unidades: Aluviões Modernos (a), Areias de Dunas (ad) e Dunas Consolidadas (dc).

Em relação ao substrato rochoso, são atribuídos ao Miocénico dois conjuntos de depósitos: um mais antigo (M<sup>1</sup> – Formação carbonatada de Lagos-Portimão; Arenitos calcários e Calcários com seixos) essencialmente carbonatado e outro mais recente (M<sup>2</sup> – Areias de Faro/Quarteira e Areias dos Olhos de Água) mais arenoso.

Do muro para o teto, as formações geológicas ocorrentes na área em estudo apresentam as seguintes características:

- A **Formação Carbonatada Lagos-Portimão (M<sup>1</sup>)** é constituída por rochas carbonatadas. A base do Miocénico tem na sua constituição depósitos conglomerático com fósseis de ostras, pectinídeos, lamelibrânquios, coraliários e briozoários, calhaus rolados de quartzo, calcários e calcários dolomíticos. Inicia-se uma nova sequência positiva por nível grosseiro, predominantemente carbonatado, com fragmentos de fósseis, passando superiormente a silte fino com bioturbação. Esta formação pode apresentar carsificação preenchida por siltitos margosos;
- As **Areias de Olhos de Água (M<sup>2</sup>)**, apresentando variados termos, constituem um conjunto com cerca de 30-35m de areias incoerentes, sobrejacentes sobre a Formação Carbonatada de Lagos-Portimão. Na sua base surgem areias de cor castanha seguidas de areias também acastanhadas com estratificação oblíqua, profundamente erodidas. Sobrepoem-se, a estas areias, conglomerados grosseiros, marinhos, litorais, ricos em restos de vertebrados marinhos. Estes conglomerados passam a areias finas esbranquiçadas e a biocalcarenitos com fósseis de ostras, pectinídeos e gastrópodes. Este conjunto marinho, apresenta sensivelmente 2m de espessura, passando a siltes e areias amarelo-avermelhadas, erodidas e sobrepostas pelas areias argilosas avermelhadas e arcósicas de Faro-Quarteira (Rocha et al., 1989);
- As **Dunas Consolidadas (dc)**, acumuladas acerca de 2500-4000 anos, apresentam na sua constituição areias de grão grosseiro e fino, agregado por cimento carbonatado, que afloram de forma dispersa no interior do campo dunar atual (CCDR, 2008);
- As **Areias de Dunas (ad)** ocorrem de forma pouco evoluída, sendo quartzíticas, cobrindo parcialmente as dunas consolidadas;
- Os **Aluviões Modernos (a)** apresentam-se maioritariamente argilosos, associados à zona final da Ribeira de Alcantarilha, com espessuras estimadas na ordem de 1-2m.

### 3.1.2 ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO

O litoral algarvio apresenta geralmente uma plataforma de abrasão bastante diversificada, em termos litológicos e morfológicos, podendo ser dividido em três sectores:

- Ocidental, onde as arribas altas são talhadas em rochas do Paleozóico;
- Meridional Oeste ou Barlavento Algarvio, que se desenvolve em formações do Cenozóico;
- Meridional Este ou Sotavento Algarvio, com arribas arenosas, atribuídas ao Pliocénico e Plistocénico, com extensas praias de areias holocénicas.

A zona em estudo insere-se num terreno arenoso de morfologia plana com cotas compreendidas entre 1.0m na margem da Ribeira de Alcantarilha e 23.0m no vértice geodésico de Relvas.

Verifica-se uma boa regularização da linha de costa, onde desaguam as Ribeiras de Alcantarilha e de Espiche, com vales largos, assoreados e reclusos por uma barra de natureza arenosa.

### 3.1.3 ENQUADRAMENTO TECTÓNICO E NEOTECTÓNICO

O território de Portugal Continental encontra-se inserido num ambiente tectónico responsável por uma significativa atividade neotectónica e sísmica (Cabral, 1993).

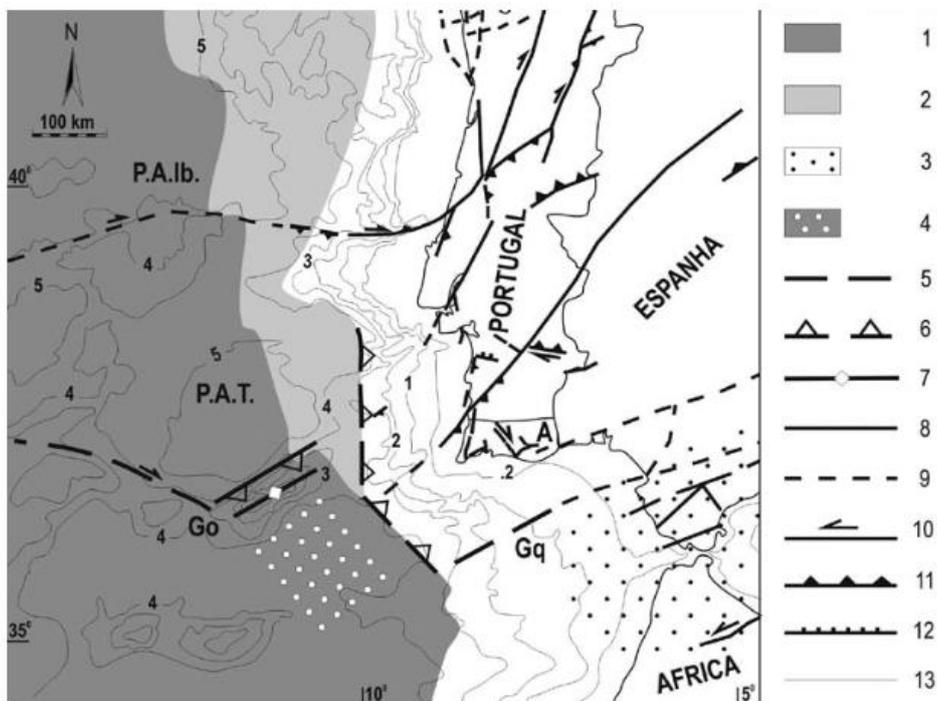
A evolução geodinâmica regional encontra-se subjugada por uma convergência lenta (2mm/ano), da placa asiática e da placa africana, na direção NNW-SSE para NW-SE, que se estende ao longo do segmento leste da fronteira de placas Açores-Gibraltar (ver Figura 3).

De acordo com diversos autores, a falha Açores-Gibraltar apresenta comportamentos tectónicos distintos: nas zonas do Banco de Goringe e do Golfo de Cádiz, o regime dominante é de compressão, passando a um regime de desligamento lateral direito puro na zona do segmento central da falha Açores-Gibraltar, adquirindo uma componente de extensão na extremidade Oeste (Argus et al., 1989), perto do arquipélago dos Açores. Para Este, o limite de placas torna-se difuso com colisão continental na região do arco de Gibraltar (Cabral, 1993).

O contacto entre a placa euro-asiática e a placa africana constitui o principal foco de tensão, influenciando assim a sismicidade de Portugal Continental e, em particular, o local objeto deste estudo.

A região do Algarve constitui a zona mais meridional de Portugal Continental, localizada no extremo sudoeste da parte continental da placa litosférica Eurásia. Assim, o Algarve e o sudoeste de Espanha formam o limite norte do Golfo de Cádiz, região onde se encontra localizada a fronteira entre as placas litosféricas da Eurásia e África, entre a montanha submarinha de Goringe e o arco orogénico de Gibraltar. Este limite, tradicionalmente, designa-se como a parte oriental do limite de placas da Zona de Fratura Açores-Gibraltar.

Assim sendo, este enquadramento geodinâmico é o principal responsável pelas ocorrências da tectónica regional, que se registaram no período entre o Pliocénico e o Quaternário e por uma significativa sismicidade, que fornece um importante potencial sismogénico.



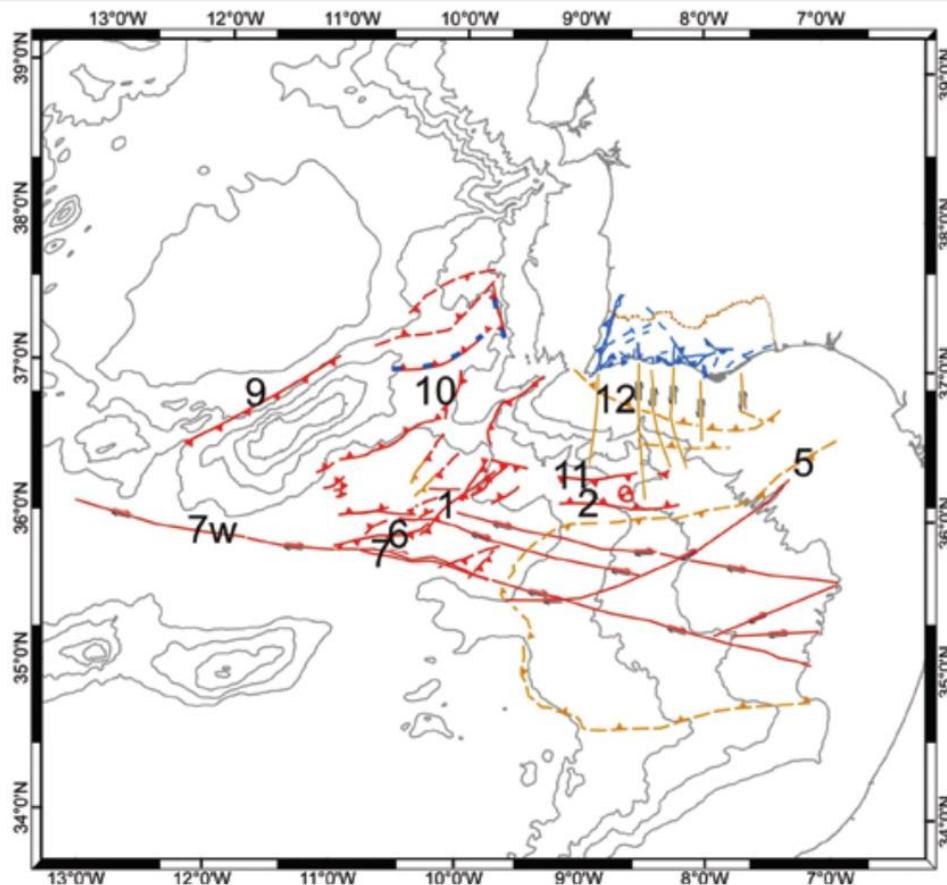
**Legenda:**

Enquadramento geodinâmico regional da região do Algarve (modificado de Ribeiro et al.,1996): 1, crusta oceânica; 2, crusta continental adelgada; 3, colisão continental; 4, fronteira de placas difusa; 5, limite de placa (localização aproximada); 6, zona de subdução incipiente ao longo da margem continental SW Ibérica; 7, dobra antiforma ativa; 8, falha ativa; 9, falha ativa provável; 10, falha de desligamento; 11, falha inversa; 12, falha normal; 13, batimetria em km; Go, Banco de Goringe; Gq, Banco de Guadalquivir; P.A.Ib., Planície Abissal Ibérica; P.A.T., Planície Abissal do Tejo; A, Algarve (adaptado de Terrinha et al., 2006).

**Figura 3 – Enquadramento neotectónico de Portugal Continental com algumas das principais falhas ativas (Cabral, 1993).**

Na Figura 4 representa-se um mapa estrutural elaborado com recurso à interpretação da topografia submarinha e perfis sísmicos de reflexão multicanal, para a área imersa (ANPC, 2012).

As falhas representadas foram classificadas: i) com base nos deslocamentos dos horizontes sismo-stratigráficos determinados para o intervalo de tempo entre o Plistocénico e a atualidade e/ou ii) apresentem correspondência geométrica ou cinemática com nuvens de sismicidade.

**Legenda:**

Área imersa: vermelho, falhas ativas no Holocénico; castanho, falhas ativas cegas; azul, componente extensional mesozoica; castanho tracejado, falhas ativas no Pliocénico ou inferidas. Área emersa: cheio, falhas reconhecidas no campo; tracejado, inferidas (ANPC, 2012).

**Figura 4 – Mapa sintético das principais falhas ativas atualmente identificadas na zona emersa e imersa do Algarve.**

### 3.1.4 SISMICIDADE

O Algarve, de acordo com os dados do IPMA, tem sido afetado por uma forte sismicidade instrumental, localizada principalmente numa faixa que se estende desde o Banco de Goringe, a Oeste, até ao estreito de Gibraltar, a Este. Salienta-se ainda a sismicidade histórica, com registo de sismos do tipo interplaca.

As fontes sismológicas têm sido alvo de vários estudos, sendo as principais os cavalgamentos dos Bancos submarinos de Goringe e Guadalquivir, a Falha do Marquês de Pombal, a Falha da Ferradura e a zona de subdução a oeste do Golfo de Cadiz (Terrinha et al., 2003; ver Figura 3).

A atividade sísmica não é propagável para o interior do território algarvio, limitando a Sul o Baixo Alentejo com registos de sismicidade muito baixos, o que apoia a ideia que as estruturas geológicas submarinas absorvem grande parte da deformação interplaca e reduzem a atividade intraplaca (Dias & Cabral, 2002).

#### **3.1.4.1 POTENCIAL SISMOGÉNICO DAS PRINCIPAIS FALHAS ATIVAS NA REGIÃO DO ALGARVE**

A avaliação do potencial sismogénico das falhas ativas é subordinada por inúmeros condicionalismos que impossibilitam ou regulam o seu grau de certeza. Dentro destes, referem-se, entre muitos outros fatores, o comprimento total da falha e os seus diferentes segmentos, a sua geometria e a sua cinemática.

De acordo com o estudo da ANPC (2012), verifica-se que a magnitude sísmica máxima expectável para as falhas ativas no Algarve situa-se entre valores de 5.8 e 7.1 para a zona emersa, estando de acordo com estruturas como:

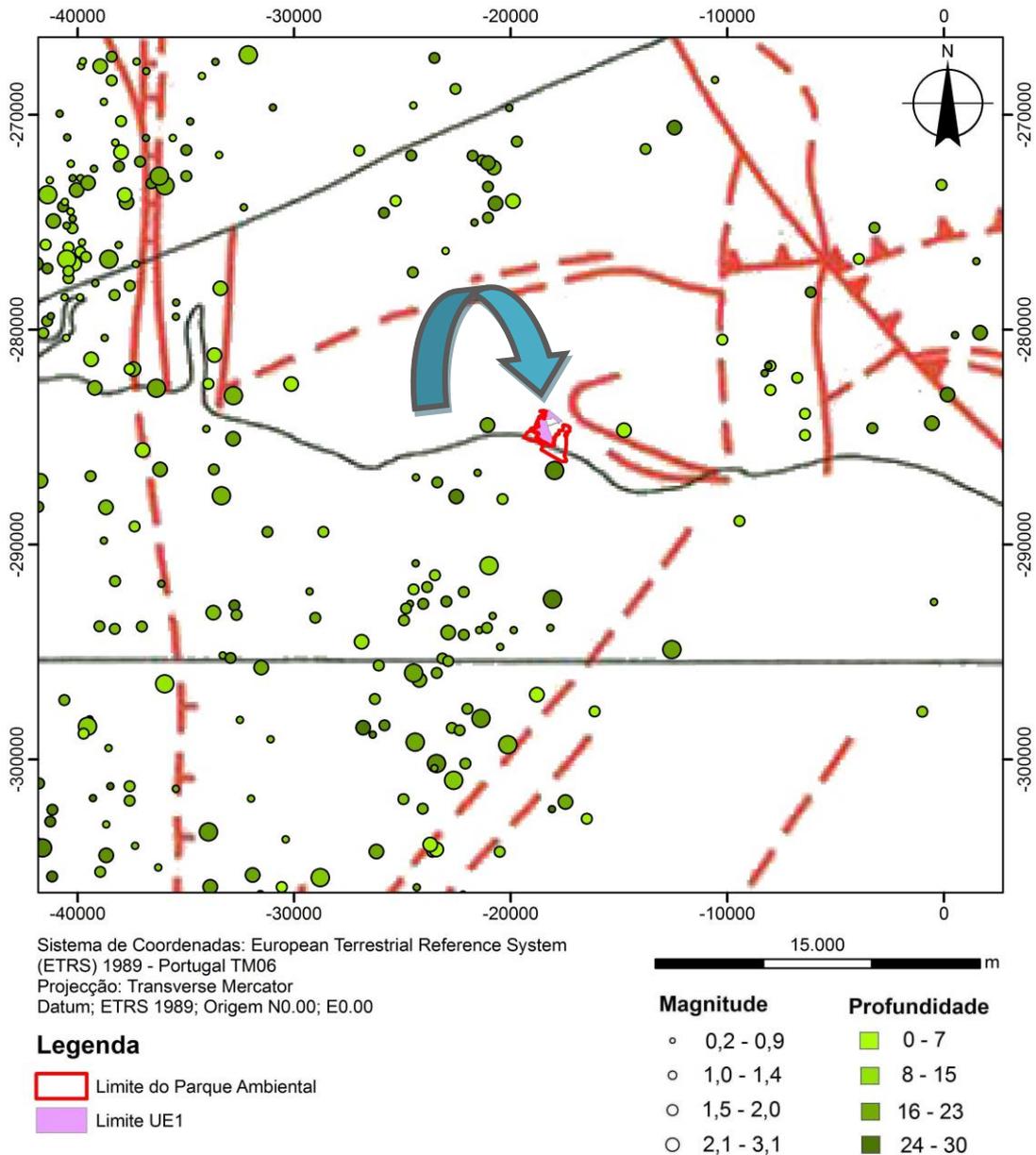
- Falhas com rotura superficial (ocorrência de sismos com magnitude superior a 6.0);
- Dobramentos convolutos em níveis conglomeráticos (ocorrência de sismos com magnitude superior a 7.5);
- Filões detríticos (ocorrência de sismos com magnitude superior a 5.5);
- Preenchimentos de fraturas por colapsos súbitos (ocorrência de sismos com magnitude superior a 5.5).

De acordo com o mesmo estudo, estima-se que as taxas médias de deslocamento sejam baixas, a que correspondem falhas com baixa a muito baixa atividade, com escassas evidências geomorfológicas.

Na zona imersa, de acordo com a sismicidade histórica da região, a magnitude máxima expectável para as falhas identificadas encontra-se no intervalo entre 7.2 e 8.5.

#### **3.1.4.2 SISMICIDADE HISTÓRICA**

A sismicidade histórica é definida como a sismicidade sobre a qual não existe informação instrumental (ver Figura 5). Assim sendo, as estimativas de epicentro/hipocentro e magnitude são determinadas na avaliação macrossísmica de documentos.



FALHA ATIVA	—	Certa	Falha com tipo de movimentação desconhecido
	—		Falha com componente de movimentação vertical de tipo inverso (marcas no bloco superior)
	—		Falha de inclinação desconhecida, com componente de movimentação vertical (marcas no bloco inferior)
	—	Provável	Falha com tipo de movimentação desconhecido
	—		Falha com componente de movimentação vertical de tipo inverso (marcas no bloco superior)
	—		Falha de inclinação desconhecida, com componente de movimentação vertical (marcas no bloco inferior)
LINEAMENTO	—		Lineamento geológico podendo corresponder a falha ativa

Figura 5 – Mapa com marcação dos principais hipocentros com base em documentos.

Portugal Continental tem sido alvo de inúmeros sismos de grande impacte (ver Figura 6), havendo várias ocorrências datadas. No entanto, só em meados do séc. XIV as referências podem ser tomadas como fidedignas (Moreira, 1991).

De seguida irá fazer-se uma breve referência a alguns sismos ocorridos na região do Algarve:

- 06 de Março de 1719, ocorreu junto a Portimão um sismo de magnitude estimada de 7, associado possivelmente à Falha de Portimão;
- 27 de Dezembro de 1722, ocorreu um sismo com efeitos devastadores, que quase destruiu a vila de Loulé, tendo causado ainda danos noutras localidades algarvias. A sua localização epicentral não se encontra bem definida existindo autores que defendem a sua localização epicentral em terra e outros autores que defendem que este sismo teve origem epicentral ao largo de Tavira tendo dado origem a um tsunami;
- 01 de Novembro de 1755, sismo de Lisboa, considerado um dos maiores sismos que afetou a Península Ibérica. Estima-se que atingiu uma magnitude de 8.7 (Batista et alia, 2003). Este sismo atingiu algumas localidades da costa algarvia, tendo sido o tsunami associado um dos maiores a atingir Portugal Continental;
- 14 de fevereiro de 1982, sismo com magnitude 4.3, que foi sentido na costa alentejana e zona oeste do algarve. Teve o seu epicentro no oceano Atlântico a SW do Cabo de S. Vicente;
- 25 de Setembro de 1986, epicentro localizado no oceano Atlântico a SE do Cabo de S. Vicente, tendo a magnitude máxima registada de 4.3. A área macrossísmica localizou-se na metade ocidental dos distritos de Beja e Faro;
- 20 de Outubro de 1986, área macrossísmica localizada nos distritos de Beja, Faro, Grande Lisboa e áreas limítrofes. O epicentro localizou-se no oceano Atlântico a SE do Cabo de S. Vicente com magnitude máxima de 4.8;
- 23 de Fevereiro de 1991, magnitude 3.8, a área macrossísmica localiza-se no Algarve, sendo o epicentro no oceano Atlântico a SE de Albufeira;
- 16 de Fevereiro de 1993, área macrossísmica no Algarve, com um sismo de magnitude máxima de 4.3 e epicentro no oceano Atlântico a SE do Cabo de S. Vicente;
- 22 de Junho de 1993, sentido nos Distritos de Faro e Beja. Magnitude máxima registada de 4.6 e epicentro localizado a Sul de Faro;
- 24 de Setembro de 1994, sismo com epicentro do Golfo de Cadiz e magnitude máxima de 4.3;
- 29 de Julho de 2003, epicentro no oceano Atlântico a SW do Cabo de S. Vicente com magnitude máxima de 5.4;

- 13 de Dezembro de 2004, epicentro no oceano Atlântico a SW do Cabo de S. Vicente com magnitude máxima de 5.4;
- 12 de Fevereiro de 2007, epicentro no oceano Atlântico a SW do Cabo de S. Vicente, com magnitude máxima de 6.0. A área macrossísmica localizou-se em Portugal Continental, regiões espanholas da Andaluzia e da Estremadura, litoral de Marrocos e Madeira;
- 17 de Fevereiro de 2009, epicentro no oceano Atlântico a SW do Cabo de S. Vicente com magnitude máxima de 6.0. A área macrossísmica localizou-se em Portugal Continental, regiões espanholas da Andaluzia e da Estremadura, litoral de Marrocos e Madeira.



Figura 6 – Sismicidade histórica de Portugal (epícentros de alguns sismos históricos).

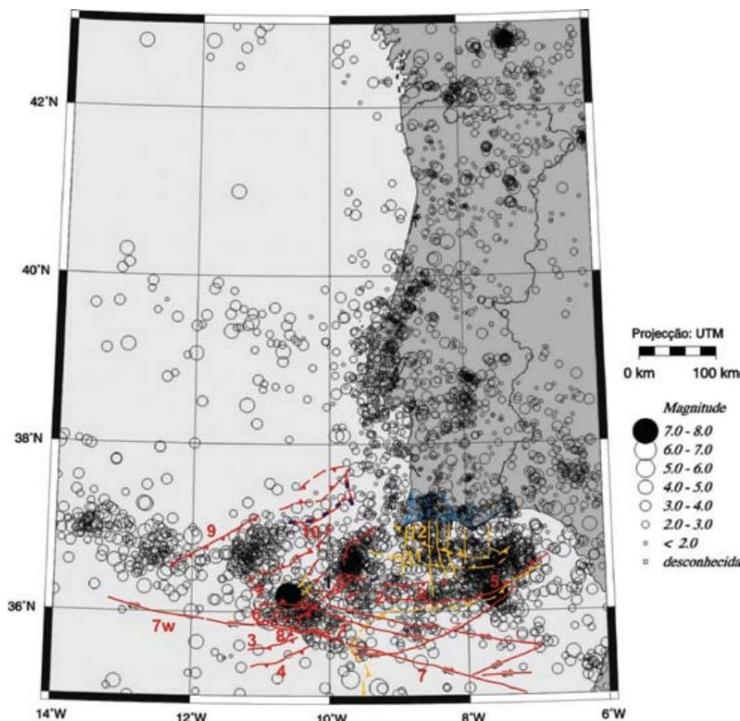
### 3.1.4.3 SISMICIDADE INSTRUMENTAL

Na sismicidade instrumental, as determinações epicentrais são mais realistas e fiáveis (ver Figura 7).

Os sismos instrumentais podem ser localizados através de registos obtidos em estações sismográficas, sendo a localização do hipocentro mais difícil e imprecisa do que a localização epicentral.

Com o conhecimento da sismicidade de uma dada região, tanto histórica como instrumental, é possível elaborar mapas de epicentros, refletindo assim a distribuição regional da sismicidade num período de tempo a que se refere a base de dados utilizada.

Na Figura 7 apresenta-se a distribuição de epicentros de sismos instrumentais na região do Algarve.



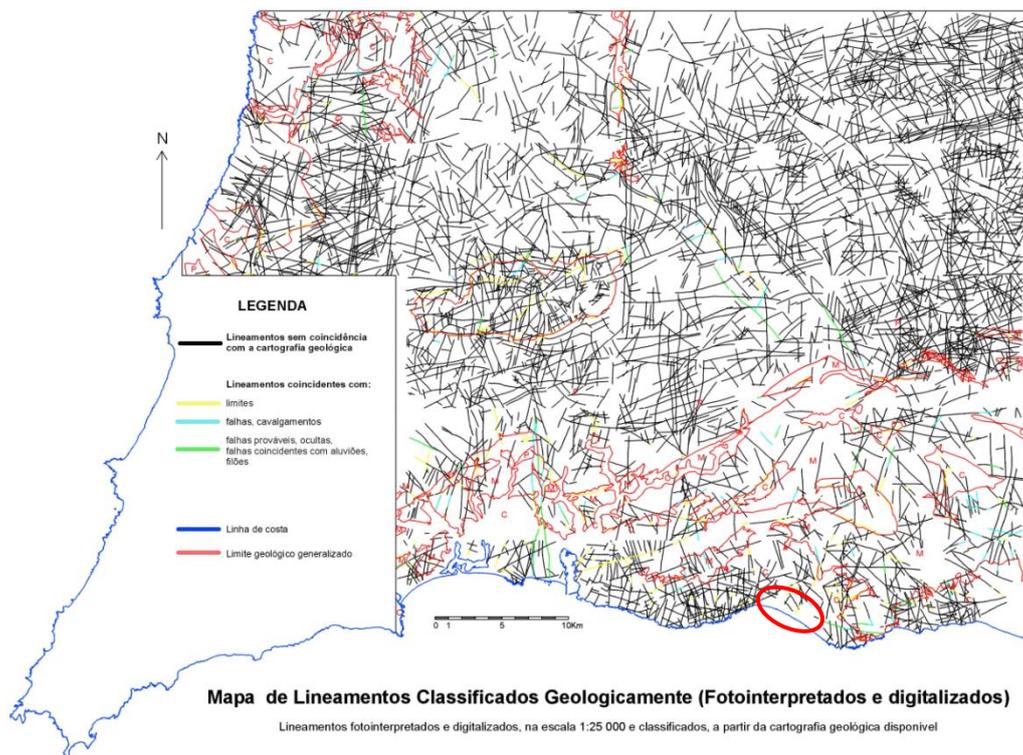
**Legenda:**

Distribuição de epicentros de sismos instrumentais no período de 1961-2003 (Carrilho, 2005) e das principais falhas ativas do Algarve e das principais falhas ativas identificadas no Algarve (zona emersa e imersa). Área imersa: vermelho, falhas ativas no Holocénico; castanho, falhas ativas cegas; azul, componente extensional mesozóica; castanho tracejado, falhas ativas no Pliocénico ou inferidas. Área emersa: cheio, falhas reconhecidas no campo; tracejado, inferidas. (retirado de Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve, ANPC)

**Figura 7 – Distribuição de epicentros de sismos instrumentados.**

### 3.1.5 ESTRUTURAS TECTÓNICAS E NEOTECTÓNICAS ATIVAS

O reconhecimento de estruturas com atividade neotectónica no Algarve, na área emersa, resulta essencialmente de critérios geológicos e geomorfológicos, tendo ainda por base os registos da significativa sismicidade instrumental. A atividade neotectónica regional caracteriza-se por deslocamentos verticais da crosta e por estruturas de deformação frágil (falhas e fraturas). Na Figura 8 apresenta-se de um modo sintético os principais alinhamentos geo-interpretados (Moniz et al., 2003).



**Legenda:**

Elipse vermelha: zona de estudo.

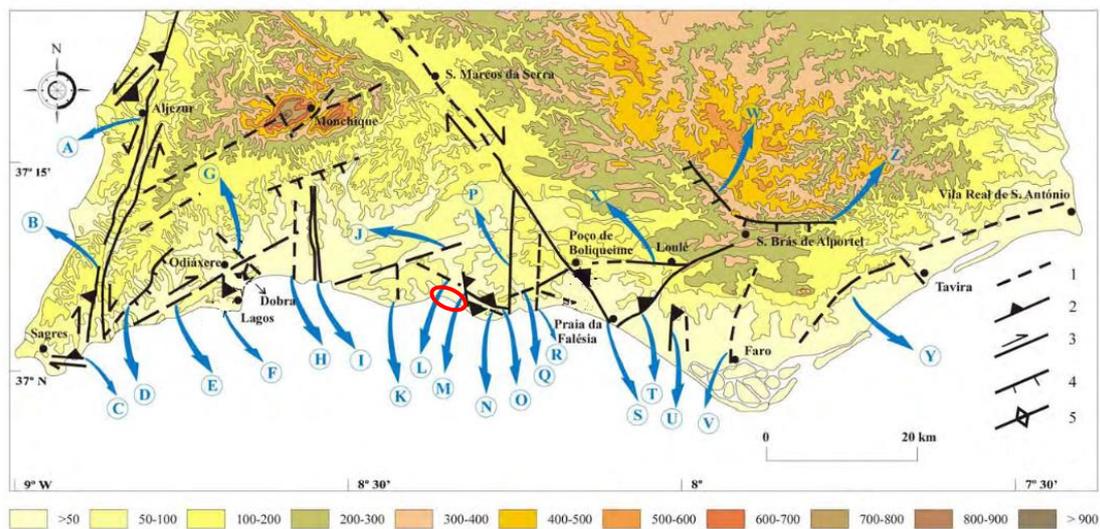
**Figura 8 – Mapa de lineamentos classificados geologicamente (Moniz et al., 2003).**

A interpretação estrutural e geodinâmica, das estruturas tectónicas ativas, torna-se difícil devido à imprecisão da idade dos sedimentos e à presença de areias maciças sem horizontes de referência que impossibilitam a diferenciação de eventos tectónicos distintos (Dias, 2001). A datação dos sedimentos como sendo de idade Plio-Plistocénica a Quaternária reflete esta imprecisão, resultante da falta de elementos de datação e da recorrência de fácies.

De acordo com Dias & Cabral (2000) e Dias (2001), foi possível identificar a cinemática de algumas estruturas em afloramentos, nomeadamente falhas, na zona do Algarve, que se encontram representadas na Figura 9:

- Falhas com componente de movimentação inversa dominante, com várias direções, em especial na zona oeste de Faro;
- Falhas com componente de movimentação horizontal, esquerda (sistemas de fraturas de S.Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingrina, falha de Loulé) e falhas direitas (falha de Espiche-Odiáxere e falha de S.Marcos-Quarteira);

- Falhas com componente de movimentação normal de direções preferenciais ENE-WSW e NNW-SSE;
- Falhas de atitude sub-vertical e movimentação segundo a inclinação;
- Falhas com movimentação indeterminada.



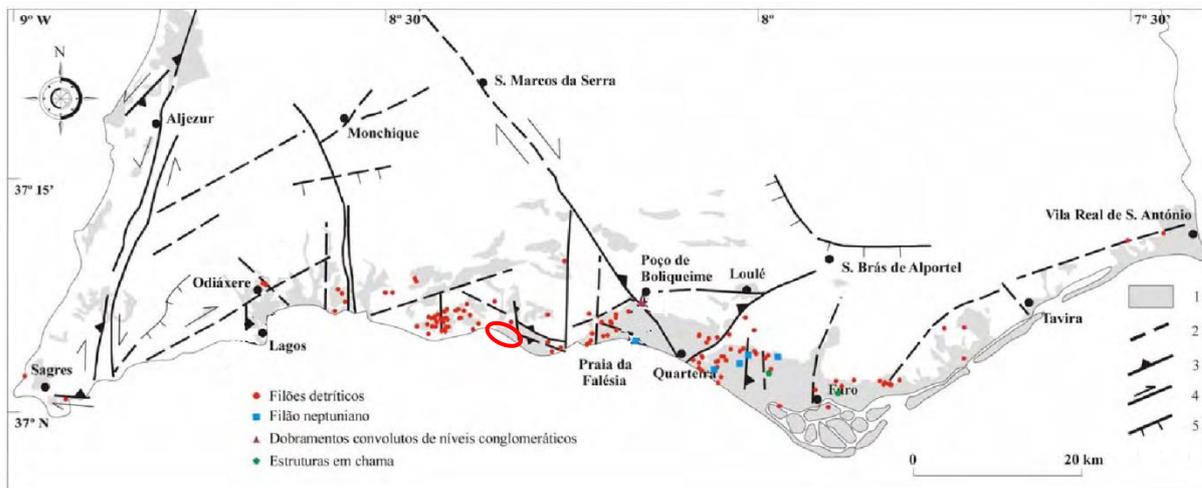
**Legenda:**

Elipse vermelha: zona de estudo; 1, falha provável; 2, falha inversa (marcas no bloco superior); 3, desligamento; 4, falhas de componente de movimentação vertical de estilo desconhecido (traços no bloco abatido); 5, dobra; A, Baiona; B, Sinceira (A e B correspondem ao sistema de falhas de S. Teotónio – Aljezur – Sinceira – Ingrina); C, Martinhal; D, Barão de S. João; E, Espiche-Odiáxere; F, Lagos; G – Rib<sup>a</sup>. de Ociáxere; H, Alvor; I, Portimão, J, Ferragudo; K, Sr<sup>a</sup>. do Carmo; L, Relvas; M, Rib<sup>a</sup> de Espiche; N, Vale Rabelho; O, Baleeira; P, Albufeira; Q, Mopsqueira; R, Oura; S, S. Marcos – Quarteira; T, Carcavai; U, Areias de Almansil; V, Faro; Y, S. Estevão; X, Loulé; W, Eira de Agosto; Z, S. Brás de Alportel. Linhas de contorno a cada 100m, com exceção da primeira que é inferior a 50m (Adaptado de Dias, 2001; Dias e Cabral, 2002b).

**Figura 9 – Mapa sintético das principais falhas ativas identificadas na região do Algarve.**

Na região do Algarve são ainda identificadas estruturas de deformação dúctil que afetam os sedimentos de idade Plio-Quaternária. Estas estruturas traduzem-se em dobramentos do tipo sinforma e antiforma. Estes dobramentos poderão ter uma génese tectónica ou uma génese resultante de subsidência por evolução do endocarso subjacente (Dias & Cabral, 2000, 2002; Dias, 2001).

Na Figura 10 apresenta-se um mapa de falhas ativas com áreas de afloramentos de sedimentos Plio-Quaternários e localização dos paleossmitos identificados na região do algarve (Adaptado de Dias & Cabral, 2000; Dias, 2001).



**Legenda:**

Elipse vermelha: zona de estudo; 1, sedimentos Plio-Quaternários; 2, falha provável; 3, falha inversa (marcas no topo superior); 4, desligamentos; 5, falha com componente de movimentação vertical de estilo desconhecido (traços no bloco abatido) (adaptado de Dias & Cabral, 2000; Dias, 2001).

**Figura 10 – Mapa de falhas ativas assinalando os afloramentos Plio-quaternários, os paleossismitos na região do Algarve.**

### 3.1.6 RELAÇÃO ENTRE SISMICIDADE E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS ATIVAS

Na região do Algarve, parte das falhas ativas são responsáveis pela atividade sísmica registada. Esta sísmicidade de acordo com os registos existentes é gerada em profundidade, na crosta sísmogénica.

De acordo com os boletins sísmológicos preliminares do Continente e Madeira do Instituto de Meteorologia, verifica-se que uma grande parte dos sismos na região do Algarve tem o seu hipocentro a profundidades superiores a 5km, podendo atingir profundidades de cerca de 50km. Na zona emersa algarvia os hipocentros localizam-se a profundidades entre 2.4km e 25km. Estes valores indicam que estes eventos sísmicos têm origem em acidentes tectónicos.

Devido à profundidade a que os sismos são gerados e à sua dispersão geográfica, é difícil estabelecer uma correlação entre os sismos e as estruturas ativas que se encontram na superfície.

Na área entre Albufeira – Loulé - Faro é possível identificar algumas falhas ativas que provavelmente são responsáveis pela sísmicidade atual que se encontra registada.

Na área de estudo verifica-se a existência de quatro falhas ativas importantes: Falha da Ribeira de Espiche, Falha de Vale Rabelho, a Falha de Relvas e a sua continuação pela Falha de Baleeira (ver Figura 9).

Na zona imersa, a sul do Algarve, verifica-se que os sismos são gerados a profundidades entre 5km e os 50km, com epicentros alinhados num padrão de direção ENE-WSW a NE-SW, NW-SE, E-W e N-S. Estas direções apresentam-se alinhadas com as principais estruturas tectónicas ativas da bacia algarvia.

Na zona imersa, onde se regista sismicidade, verifica-se que os epicentros se encontram agrupados em *clusters* localizados:

- Sobre a montanha submarinha de Goringe, associado ao cavalgamento para NW;
- Na planície abissal da Ferradura, estando ligados à Falha de Ferradura e à Falha do Marquês de Pombal, onde se localiza o cruzamento de cavalgamentos com falhas de desligamento dextrogiro SWIM de direção WNW-ESSE;
- No cavalgamento do Banco de Guadalquivir.

### 3.1.7 ANÁLISE DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE TSUNAMIS

A ocorrência de um fenómeno do tipo tsunami está relacionada com a propagação de uma onda gigante, que desloca uma enorme massa de água potencialmente geradora de grande destruição nas zonas emersas. Durante a ocorrência de um tsunami há a considerar três fases: a geração, a propagação e a inundação.

A génese de um tsunami pode ser provocada por vários fatores sendo os mais comuns os sismos, as erupções vulcânicas e os movimentos de massa em grande escala.

A ocorrência de um tsunami na costa sul de Portugal está dependente da atividade sísmica das estruturas com maior potencial de gerador de tsunamis – as regiões tsunamigénicas – e mesmo de uma hipotética evolução catastrofista de alguns aparelhos vulcânicos do Atlântico.

Foram identificadas cinco regiões tsunamigénicas: AI – Falha da Gória; GO – Goringe; HM – Ferradura / Marquês do Pombal; AL – Algarve; GA – Gibraltar – Alboran. Os modelos numéricos desenvolvidos para calcular a propagação de um tsunami gerado nas falhas tipo, identificadas em cada uma destas regiões, indicam tempos de chegada para a costa sul do Algarve entre 24 minutos e 1 hora, independentemente da fonte considerada.

A modelação da inundação na região de Armação de Pêra (Figura 11) indica que a inundação poderia atingir uma espessura da lâmina de água de mais de 10 metros.

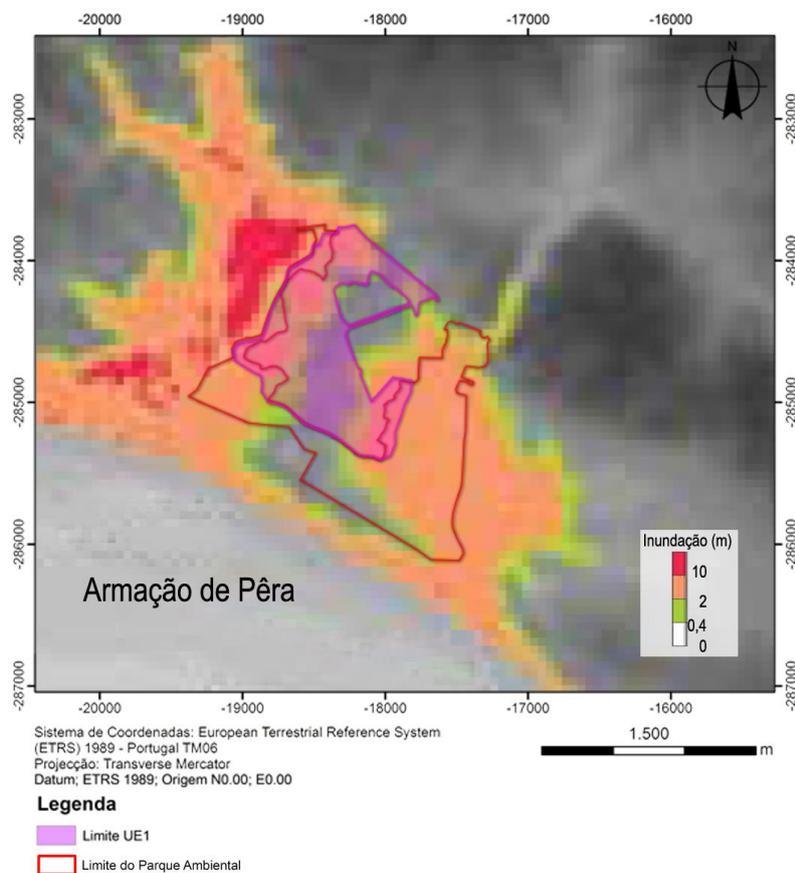


Figura 11 – Inundação associada à atividade sísmica em Armação de Pêra (adaptado de Baptista et al. 2012).

Uma avaliação da área potencialmente inundada pelo sismo de 1755 corrobora os dados dos modelos numéricos. A altura máxima das ondas poderá ter sido da ordem dos 10 a 15 metros. A extensão da inundação provocada pelo tsunami foi muito variável em função da morfologia da costa. A maior parte dos dados históricos aponta para valores entre 400 e 800m, sendo que nos cursos de água os efeitos do tsunami poderão ter atingido valores maiores, como são os 2500 m que se admitem para o concelho de Silves.

Estudos realizados sobre o potencial gerador de tsunami, associados a evoluções catastróficas de aparelhos vulcânicos, apontam para cenários devastadores. Um caso recentemente estudado (Ward & Day, 2001) indica que no caso de um colapso do flanco Oeste do vulcão de Cumbre Vieja, na Ilha de La Palma no Arquipélago das Canárias, a onda formada atingiria a costa Algarvia em menos de 3 horas com ondas que poderiam atingir 10 metros. O colapso do flanco Este do Pico do Fogo na Ilha do Fogo, Arquipélago de Cabo Verde, constitui um exemplo de um megatsunami gerado pelo colapso de um aparelho vulcânico há cerca de 73,000 anos (Ramalho et al., 2015).

O risco de ocorrência de um tsunami está presente na área do projeto em análise, uma vez que a sua geração é uma consequência inevitável da atividade tectónica regional. Em áreas de baixa altitude, situadas perto da linha da costa, o potencial de inundação pode ser, à partida, muito significativo.

## 3.2 ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA SISMICIDADE

No estudo de ocorrência de sismos e, posterior definição de zonas sísmicas, pode-se recorrer a inúmeras metodologias de cálculo, classificadas como métodos deterministas ou probabilistas (Oliveira e Cabañero, 1999).

### 3.2.1 ANÁLISE PROBABILÍSTICA

Neste tipo de análise o objetivo é estimar, para um sismo futuro, a magnitude e o seu período de retorno através de extrapolações para magnitudes mais elevadas da curva obtida em gráficos empíricos elaborados com dados de sismos de magnitudes de menor valor (Ribeiro, 1995). Este tipo de análise apresenta os seguintes condicionalismos:

- Verifica-se que com o aumento de magnitude ocorrem desvios à lei de Gutenberg-Richter, o que se traduz numa subestimação do risco;
- Com a estatística fractal é impossível prever a localização, quer em tempo quer em espaço de um sismo, pois há tendência para a agregação e/ou concentração de eventos (Ribeiro, 1995).

### 3.2.2 ANÁLISE DETERMINÍSTICA

Para cada falha, a análise determinística tenta determinar qual o sismo máximo credível e o seu respetivo tempo de retorno, usando para este efeito as características da falha.

Estima-se que quanto maior for o comprimento da falha e maior a sua percentagem de atividade, maior será a magnitude do sismo máximo credível (Ribeiro, 1995, 1997; Oliveira e Cabañero, 1999). Assim sendo, com o conhecimento da magnitude, do período de retorno e da curva de atenuação para uma dada região, é possível calcular o sismo máximo credível previsto para essa região e, com estes dados, dimensionar adequadamente infra-estruturas, tais como barragens, edifícios, obras de arte, etc.

Este tipo de análise é condicionado pelo conhecimento da falha em estudo. Esta tem de se apresentar bem exposta, com uma sismicidade instrumental acompanhada por uma rede sísmica, paleosismicidade bem documentada e uma boa monitorização e investigação dos sistemas de falhas ativas. Sem estas condições é impossível aplicar a abordagem determinística na previsão sísmica (Ribeiro, 1995).

### 3.3 ESTIMATIVA DO SISMO MÁXIMO EXPECTÁVEL / CÁLCULO DA ACELERAÇÃO HORIZONTAL MÁXIMA

Um dos processos para determinar a ação sísmica de um sismo máximo espectável para uma região consiste em calcular, numa abordagem determinística, a magnitude máxima que pode ser gerada por um sismo associado a falhas ativas e cartografadas na região e, posteriormente, determinar os seus efeitos através de leis de atenuação.

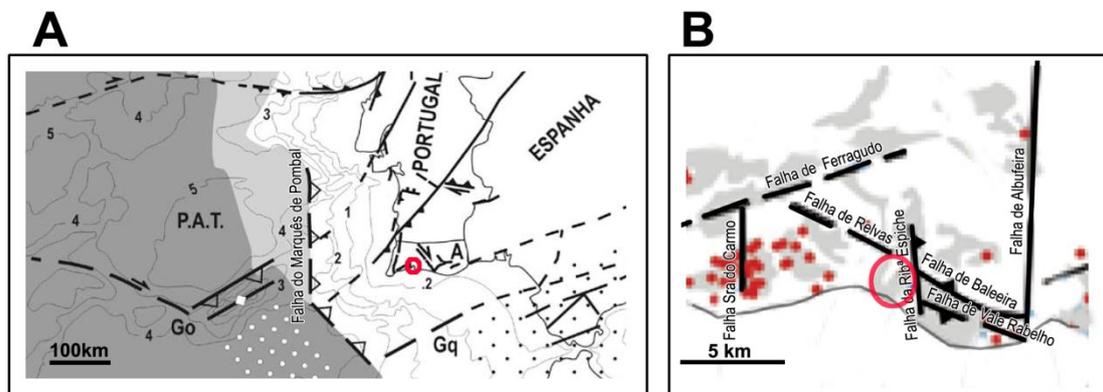
Na região onde se insere o projeto em estudo, os principais acidentes tectónicos regionais são as Falhas de Relvas / Baleeira, a Falha da Ribeira de Espiche e a Falha de Vale Rabelho (ver Figura 12-B). As características destas falhas encontram-se organizadas na

Tabela II.

Dada a falta de informação disponível sobre estas falhas – as características das formações de cobertura impossibilitam a sua observação no terreno – foi considerada a Falha do Marquês de Pombal (Figura 12-A) para o cálculo da aceleração horizontal máxima por ser aquela que se admite estar associada ao sismo gerado em 1 de Novembro de 1975, o “Sismo de Lisboa”, que é considerado o sismo de maior magnitude ocorrido em Portugal.

**Tabela II – Características das falhas ativas existentes na proximidade da área em estudo.**

FALHA	EXTENSÃO	LARGURA	TIPO DE FALHA	ORIENTAÇÃO	INCLINAÇÃO
Falha de Relvas / Baleeira	13.5 km	-	Inversa/provável	WNW-SSE	-
Falha da Rib <sup>a</sup> . de Espiche	4.7 km	-	Inversa	N-S	-
Falha de Vale Rabelho	4.7 km	-	Inversa	N-S	-
Falha do Marquês de Pombal	105 km	55km	Desligamento	21.7° E	24°



**Legenda:**

Círculo vermelho: zona de estudo; A. Extrato da Figura 3; B. Extrato da Figura 10.

**Figura 12 – Localização das falhas ativas com maior influência na zona em estudo.**

De acordo com o Mapa de Intensidades Sísmicas Máximas (ver Figura 14), o local de implantação do empreendimento em estudo caracteriza-se por uma sismicidade alta, sendo VIII o máximo valor de intensidade registada e 125 cm/s<sup>2</sup> a aceleração máxima conforme se abordará no capítulo 3.4.1.

A aceleração máxima esperada para uma região em consequência de um evento sísmico também pode ser calculada recorrendo a leis de atenuação sísmica que entrem em consideração com os parâmetros sísmicos das falhas sismogénicas mais relevantes para essa área.

Com base na magnitude e na distância epicentral, da globalidade dos sismos que constam do relatório “Compilação de Catálogos Sísmicos da Região Ibérica”, determinaram-se os correspondentes valores da aceleração horizontal máxima esperada no local em estudo, tendo-se, para tal, adotado a seguinte lei de atenuação:

$$a_{max} = 14e^{0,8M} \times (D^2 + H^2 + 20^2)^{-\frac{1}{2}}$$

Em que:

- D - distância entre o epicentro e o local do estudo (km);
- H - profundidade de nucleação do sismo (km);
- M - magnitude do sismo.

Para o cálculo da aceleração horizontal máxima foi assumido para D um valor de 250km, para H um valor de 15km e para M um valor de 8,7 que é a magnitude assumida para o “Sismo de Lisboa”.

Aplicando a fórmula anterior e de um modo sucinto, pode concluir-se que a máxima aceleração de uma ação sísmica que possa ocorrer no local será da ordem dos 59 cm/s<sup>2</sup>, no cenário de ocorrência de um sismo semelhante ao de 1755.

### 3.4 QUANTIFICAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA COM BASE NA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

De acordo com o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP, Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio) e com o Eurocódigo 8 (EC8) são definidos dois tipos fundamentais de ações sísmicas passíveis de afetar o território continental português:

- i. Ações sísmicas do Tipo 1 (sismos intraplaca), relativas a sismos de epicentro próximo, de magnitude moderada e a pequena distância focal;
- ii. Ações sísmicas do Tipo 2 (sismos interplacas), relativas a sismos de epicentro longínquo, de maior magnitude e a uma maior distância focal.

Estes dois tipos de sismos condicionam toda a atividade sísmica passível de afetar a integridade estrutural do edificado em território nacional.

#### 3.4.1 REGULAMENTO DE SEGURANÇA E AÇÕES PARA ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS E PONTES

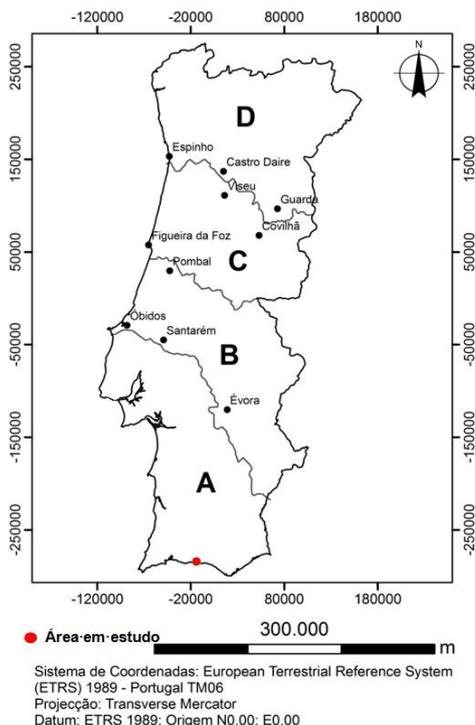
De acordo com o RSAEEP, para a atividade sísmica, o território continental português encontra-se dividido em quatro zonas: A, B, C e D, ordenadas de acordo com ordem decrescente de importância da sismicidade, conforme se apresenta na Figura 13. A zona onde se insere a obra situa-se na zona de atividade sísmica A, considerada como a de maior "probabilidade" sísmica.

A influência da sismicidade para a zona A é traduzida por um valor de coeficiente de sismicidade  $\alpha = 1,0$ .

Para determinação do coeficiente sísmico de referência,  $\beta_0$ , que depende das características do terreno, considerou-se que os terrenos de fundação interessados pela obra são do tipo II – Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos, com velocidades de propagação de ondas sísmicas  $V_s = 200$  a 350 m/s, a que correspondem as classificações de II – RSAEEP e Solo B – EC8.

As cartas da atividade e previsão sísmica para o território continental nacional (Oliveira, 1977) elaboradas com base em estudos experimentais e usando extrapolação parabólica, indicam para a área de intervenção, e para um período de retorno de 1000 anos, a previsão de valores máximos de acelerações,

velocidades e deslocamentos induzidos pela atividade sísmica que se apresentam na Tabela III. e na Figura 14.



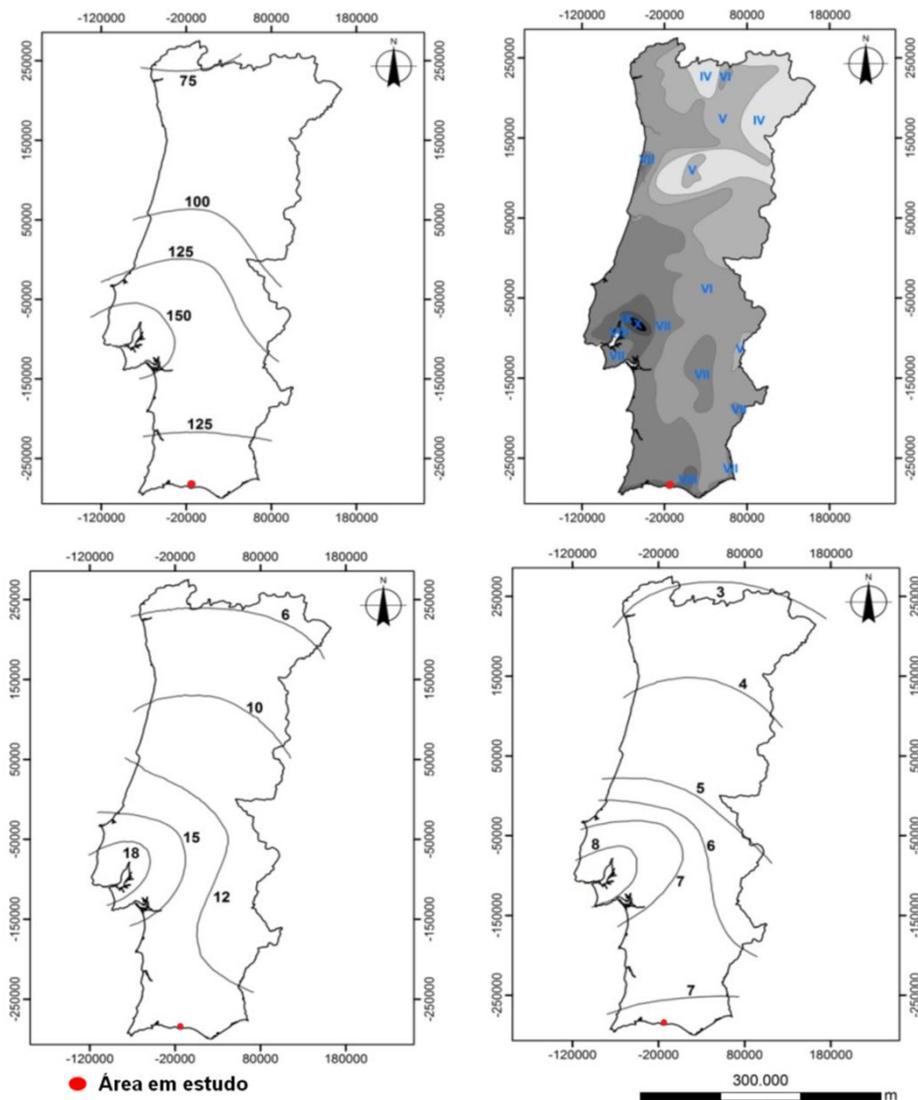
**Legenda:**

A, B, C, D – Zonas sísmicas propostas pelo “RSAEEP - Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes”.

**Figura 13 – Carta das zonas sísmicas propostas pelo RSAEEP.**

**Tabela III – Valores sísmicos característicos para a área de intervenção.**

PARÂMETRO	VALOR
Zona sísmica do RSAEEP	A
Intensidade sísmica máxima	VIII
Aceleração máxima	Entre 125 cm/s <sup>2</sup> e 150cm/s <sup>2</sup>
Velocidade máxima	Entre 12cm/s e 15cm/s
Deslocamento máximo	Entre 7cm e 8cm



**Legenda:**

- A – Carta de isossistas de intensidade sísmica máxima no período de 1901 a 1971 (Escala de Intensidade de Mercalli modificada);
- B, C e D – Cartas de isolinhas para um período de retorno de 1000 anos: B - Carta de Aceleração Máxima (cm/s<sup>2</sup>) C – Carta de Velocidade Máxima (cm/s); D – Carta de Deslocamento Máximo, (cm).

**Figura 14 – Cartas de atividade e previsão sísmicas para um período de retorno de 1000 anos (Oliveira et al 1977).**

**3.4.2 EUROCÓDIGO 8**

O Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1 2010 e NP EN 1998-5 2010) integra um conjunto de Normas Europeias que vem substituir a regulamentação nacional – o RSAEEP – relativamente ao dimensionamento estrutural para ações sísmicas.

O Eurocódigo 8 é utilizado em projeto de obras de engenharia civil, em regiões sísmicas, tendo como objetivo último, no caso de ocorrer um sismo, os seguintes desideratos:

- Proteção de vidas humanas;
- Limitação de danos;
- Manter as estruturas operacionais para a proteção civil.

Estes objetivos traduzem-se no estabelecimento de duas exigências fundamentais para o dimensionamento estrutural das edificações, que devem ser garantidas para dois níveis diferentes de ação sísmica:

- Requisito de não ocorrência de colapso. A estrutura deve ser dimensionada e construída de forma a suportar a ação sísmica de projeto sem ocorrência de colapso local ou global, mantendo a sua integridade estrutural com uma capacidade residual de suporte das cargas gravíticas. A ação sísmica de cálculo expressa-se a partir de:
  - Ação sísmica de referência associada a uma probabilidade de excedência de referência,  $P_{NCR}$ , em 50 anos ou a um período de retorno de referência  $T_{NCR}$ ;
  - Coeficiente de importância,  $\gamma_i$ , de modo a ter em conta a diferenciação da fiabilidade.
- Requisito de limitação de danos. A estrutura deve ser dimensionada e construída de forma a suportar uma ação sísmica com maior probabilidade de ocorrência que a ação sísmica de projeto sem ocorrência de danos e a consequente limitação de uso, cujo custo de reparação seja desproporcionalmente elevado em relação ao custo da estrutura. A ação sísmica que se considera neste requisito apresenta uma probabilidade de excedência,  $P_{DLR}$ , em 10 anos, e um período de retorno,  $T_{DLR}$ .

O Eurocódigo 8 considera 7 tipos de terrenos, definidos por perfis estratigráficos e parâmetros que se descrevem na Tabela IV.

**Tabela IV – Tipos de terrenos definidos pelo EC8.**

TIPO DE TERRENO	DESCRIÇÃO DO PERFIL ESTRATIGRÁFICO	PARÂMETROS		
		V <sub>s,30</sub> (m/s)	N <sub>SPT</sub> (panc/30cm)	C <sub>u</sub> (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5m de material mais fraco à superfície.	<800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixos (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade.	360-800	>50	>250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.	180-360	15-50	70-250
D	Depósitos de solos não coesivos de compacidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura.	<180	<15	<70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de V <sub>s</sub> do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5m e 20m, situados sobre um estrato mais rígido com V <sub>s</sub> >800m/s.	-	-	-
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade (PI>40) e um elevado teor de água.	<100 (indicativo)	-	10-20
S2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A-E ou S1.	-	-	-

### Zonas sísmicas

O EC8, tal como o RSAEEP, define dois tipos de ação sísmica de acordo com diferentes sismo-géneses:

- Evento sísmico condicionante apresenta magnitude superior a 5,5 (sismo de maior Magnitude a uma maior distância focal) associado ao cenário de sismo afastado;
- Evento sísmico condicionante apresenta magnitude inferior a 5,5 (sismo de Magnitude moderada a pequena distância focal) associado ao cenário de sismo próximo.

De acordo com o EC8 o zonamento sísmico de cada país é definido pelo respetivo anexo nacional, sendo função da aceleração máxima de projeto de referência para um terreno do tipo A.

Na Figura 15 encontram-se representados os zonamentos definidos pelo EC8 de acordo com os dois tipos de ações sísmicas.

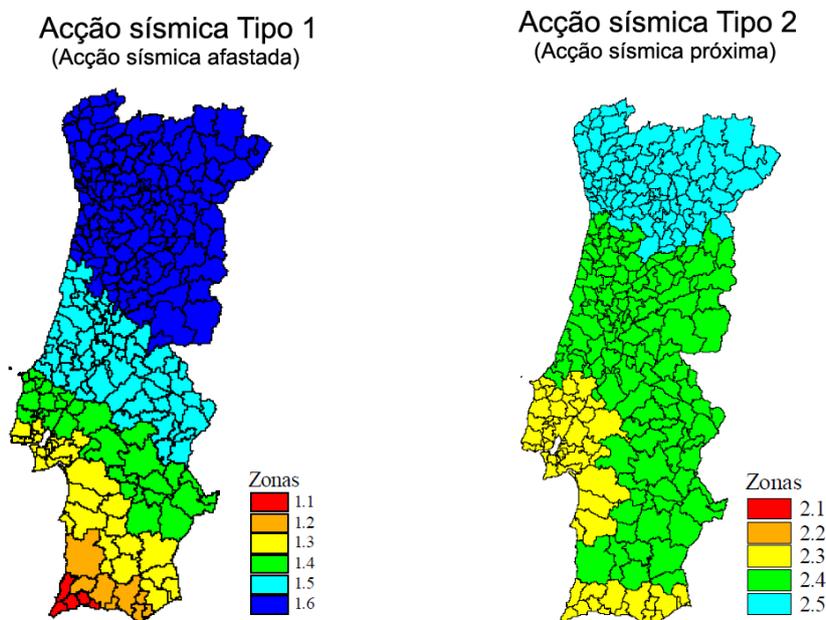


Figura 15 – Zonamento sísmico do Anexo Nacional da EN 1998-1 (EC8).

Para o concelho de Silves o zonamento sísmico estabelecido pelo Anexo Nacional do EC8 indica os valores de referência da aceleração máxima à superfície que se apresentam na Tabela V.

Tabela V – Zonamento sísmico estabelecido pelo EC8 para o local em estudo.

PORTUGAL CONTINENTAL MUNICÍPIO	AÇÃO SÍSMICA			
	TIPO 1		TIPO 2	
	ZONA SÍSMICA	ACELERAÇÃO $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	ZONA SÍSMICA	ACELERAÇÃO $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
0813 – Silves	1.2	2.0	2.3	1.7

De acordo com o EC8, para o local em estudo, o zonamento sísmico prevê para uma ação sísmica do Tipo 1 (sismo afastado, interplaca) um valor de referência para a aceleração máxima de  $a_{gR} = 2.0$  m/s<sup>2</sup> e para uma ação sísmica do Tipo 2 (sismo próximo, intraplaca) de  $a_{gR} = 1.7$  m/s<sup>2</sup>.

### 3.5 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA

A propagação de uma onda sísmica e os efeitos que esta pode ter à superfície estão fortemente condicionados pelas características desse local. O substrato geológico, conjugado com uma série de outros fatores físicos vão condicionar a resposta local à ação sísmica naquilo que se designa por efeito de sítio.

O efeito de sítio poderá ampliar o movimento do substrato, o tempo do movimento e gerar movimentos diferenciais. Este fenómeno é referido como agravamento. Fatores como a geometria das estruturas geológicas, variações litológicas e descontinuidades estão na base deste agravamento do efeito de sítio. A competência do substrato e a espessura das unidades geológicas são importantes no efeito amplificador, pois a propagação das ondas sísmicas é mais elevada em rochas de maior competência / dureza. Assim sendo, quando as ondas sísmicas passam de um substrato mais competente para sedimentos poucos coerentes, a sua amplitude é aumentada de modo a manter a quantidade de energia. A geometria das bacias sedimentares é, de igual modo, importante pois condiciona a forma como as ondas sísmicas são veiculadas, sendo as ondas sísmicas diferentemente amplificadas de acordo com o local da bacia e frequência da onda.

O efeito de sítio, bem como o agravamento que este possa ter sobre as ações sísmicas, estão na base da vulnerabilidade sísmica do local em estudo que se pretende abordar neste capítulo.

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade (IV) sísmica foram adotados os parâmetros utilizados pelo Autoridade Nacional de Proteção Civil, no seu Estudo de Risco Sísmico e de Tsunami do Algarve (ANPC, 2012), cujo modelo de cálculo será brevemente descrito. Será, depois, efetuado o cálculo do Índice de Vulnerabilidade (IV) sísmica para a zona em estudo.

Para a região do Algarve foi elaborado um mapa com o Índice de Vulnerabilidade sísmica (ver Figura 16) de acordo com o efeito de sítio decorrente das particularidades litológicas, estruturais e morfológicas (ANPC, 2012). Foram utilizadas características do substrato rochoso que influenciam o estado de agravamento, designadamente:

- Litologia;
- Espessura das camadas;
- Grau de carsificação;
- Declive da superfície topográfica.

Como a região se encontra inserida numa zona com um conjunto diversificado de litologias – já descritas anteriormente –, para o parâmetro Litologia foi necessário considerar sub-parâmetros relacionados com o grau de consolidação e tipos de litologia.

Parametrizando estes fatores, o Índice de Vulnerabilidade (IV) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

**IV = Litologia [3 x P1 + 2 x P3+1 x (P4+P5+P6)] + Espessura (P2) + Carsificação (P7) + Declive (P8)**

Em que:

- P1 – Grau de consolidação dos sedimentos Plio-Quaternários
  - P2 – Espessura dos sedimentos Plio-Quaternários
  - P3 – Grau de consolidação das rochas do Miocénico
  - P4 – Grau de consolidação das rochas do Cretácico
  - P5 – Grau de consolidação das rochas do Jurássico e do Paleozoico
  - P6 – Grau de consolidação das rochas do Triásico
  - P7 – Grau de carsificação das unidades carbonatadas (Mesozoico e Miocénico)
  - P8 – Declive do terreno (em função da litologia – o mesmo valor de declive tem diferentes efeitos para litologias diferentes)
- 3, 2, 1 – Índices de ponderação

De seguida, encontram-se os diferentes pesos (valores) atribuídos pelo ANPC (2012) na definição de zonas de vulnerabilidade (ver Figura 16) e usados para o posterior cálculo do Índice de Vulnerabilidade para a zona em estudo.

**Litologia**

Da Tabela VI à

Tabela X encontram-se os valores de vulnerabilidade atribuídos às diferentes litologias que compõem o substrato rochoso do Algarve, distribuídos por cinco grupos de acordo com a respetiva idade e grau de consolidação:

**Tabela VI – Parametização dos sedimentos Plio-Quaternários (P1).**

LITOLOGIA	VALOR
Aluviões 1 – Aluviões ativos, zonas inundáveis pela maré	4
Aluviões 2 – Outros aluviões	3
Sedimentos não consolidados: <ul style="list-style-type: none"><li>• Areias de praia e de duna</li><li>• Depósitos de terraços marinhos</li><li>• Depósitos de terraços fluviais</li><li>• Depósitos areno-siltíticos do Pliocénico e Quaternário</li></ul>	2
Sedimentos, total ou parcialmente, consolidados	1

**Tabela VII – Parametrização das formações do Miocénico (P3).**

LITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas pouco consolidadas	2
Rochas detríticas consolidadas	2
Rochas consolidadas não detríticas	1
Formações mistas (detrítico-carbonatadas)	1

**Tabela VIII – Parametrização das formações do Cretácico (P4).**

LITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas	2
Formações mistas (detríticas e carbonatadas) consolidadas	1
Rochas filonianas e intrusivas	0

**Tabela IX – Parametrização das formações do Jurássico e do Paleozoico (P5).**

LITOLOGIA	VALOR
Calcários, dolomias, calcários dolomíticos, calcários margosos do Jurássico	0
Xistos e grauvaques do Paleozóico	0

**Tabela X – Parametrização das formações do Triásico (P6).**

LITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas consolidadas	1

### **Espessura das formações**

A Tabela XI resume os diferentes valores de vulnerabilidade que foram atribuídos para as formações do Pliocénico e Quaternário com base nas espessuras determinadas por observações e medições nos terrenos, ou estimadas a partir de sondagens efetuadas por toda a região do Algarve.

**Tabela XI – Espessuras e valores de vulnerabilidade (P2).**

ESPESSURA DAS FORMAÇÕES DO PLIO-QUATERNÁRIO	VALOR
Depósitos < 10 metros	1
Depósitos 10 – 20 metros	2
Depósitos 20 – 40 metros	3
Depósitos > 40 metros	4

### **Carsificação**

Nesta análise foram usados diversas fontes, desde a observação direta no campo, descrições de sondagens, zonas de grandes graus de alteração e levantamento de formas cársticas, entre outros elementos. Na Tabela XII estão resumidos os valores de vulnerabilidade para distintas tipologias de carso.

**Tabela XII – Tipo de carso e valores de vulnerabilidade (P7).**

CARSIFICAÇÃO	VALOR
Carso sub-superficial geralmente com preenchimento sedimentar	4
Carso maioritariamente superficial (Poljes, dolinas, úvalas, lapiás) Carsificação forte mista (sub-superficial/subterrâneo)	3
Carso maioritariamente subterrâneo (Algares, grutas) Carsificação média mista (sub-superficial/subterrâneo)	2
Carso incipiente/provável/desconhecido	1
Sem carsificação	0

### **Declive**

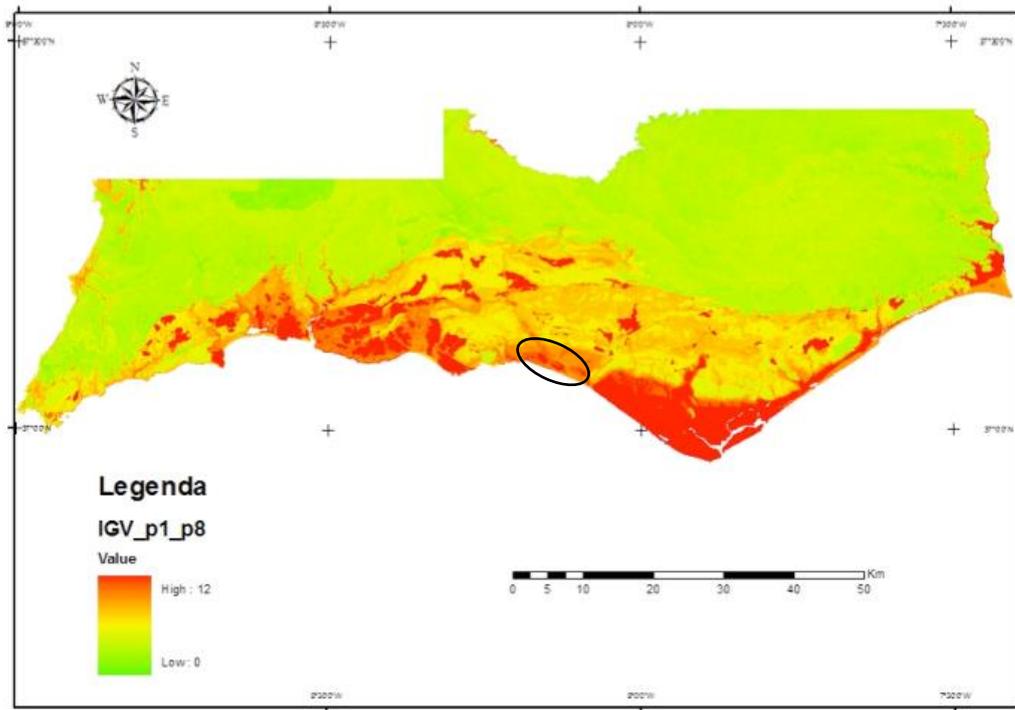
O declive foi calculado usando o programa *slope*. Os dados assim obtidos foram agrupados em cinco categorias, de acordo com a

Tabela XIII.

**Tabela XIII – Cruzamento de dados de classes de declives com litologias predominantes (P8).**

LITOLOGIA	CLASSES DE DECLIVE (°)				
	0-5	5-20	20-45	45 - 65	65-90
Aluviões	2	3	4	4	4
Calcários	1	2	3	4	4
Calcários margosos	1	3	4	4	4
Detríticas consolidadas	1	2	3	4	4
Detríticas não consolidadas	2	3	4	4	4
Intrusivas	0	1	2	3	4
Pelitos e calcários	1	2	3	4	4
Pelitos e margas	1	2	3	4	4
Pelitos e margas com evaporitos	1	2	3	4	4
Rochas filonianas	1	2	3	4	4
Dolomitos	1	2	3	4	4
Xistos e grauvaques	1	2	3	4	4

Com base nestes parâmetros, utilizando a fórmula de cálculo do Índice de Vulnerabilidade apresentada anteriormente, foi elaborado o mapa dos índices de vulnerabilidade para a região do Algarve (ver Figura 16) que vem publicado no estudo desenvolvido pela Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC, 2012).



**Legenda:**  
Elipse preta: zona de estudo

**Figura 16 – Índice de Vulnerabilidade sísmica da região do Algarve (ANPC, 2012).**

### 3.5.1 CÁLCULO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA PARA A ÁREA EM ESTUDO

Após o reconhecimento do local onde este estudo se insere, foi possível utilizar os parâmetros descritos anteriormente de forma a estimar um valor do Índice de Vulnerabilidade, para esta área.

Na Tabela XIV apresentam-se os parâmetros considerados no cálculo do Índice de Vulnerabilidade, aferidos em trabalho de campo e tendo como referência os parâmetros e valores de vulnerabilidade atribuídos pela ANPC (2012).

**Tabela XIV – Valores de vulnerabilidade aferidos para a área em estudo.**

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE		VALORES DE VULNERABILIDADE AFERIDOS (área de estudo)
P1	Grau de consolidação dos sedimentos Plio-Quaternários	2
P2	Espessura dos sedimentos Plio-Quaternários	2
P3	Grau de consolidação das rochas do Miocénico	1
P4	Grau de consolidação das rochas do Cretácico	1
P5	Grau de consolidação das rochas do Jurássico e do Paleozoico	0
P6	Grau de consolidação das rochas do Triásico	1
P7	Grau de carsificação das unidades carbonatadas (Mesozoico e Miocénico)	0
P8	Declive do terreno (em função da litologia – o mesmo valor de declive tem diferentes efeitos para litologias diferentes)	1

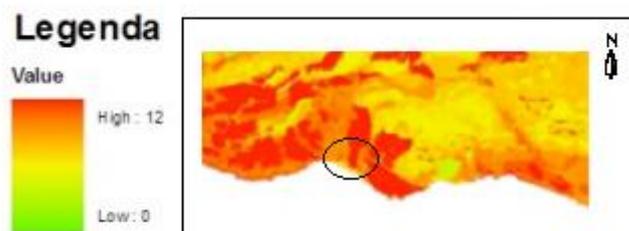
Aplicando a fórmula descrita anteriormente:

$$IV = \text{Litologia } [3 \times P1 + 2 \times P3 + 1 \times (P4 + P5 + P6)] + \text{Espessura (P2)} + \text{Carsificação (P7)} + \text{Declive (P8)}$$

Obtêm-se:

$$\text{Índice de Vulnerabilidade} = 13$$

Analisando a Figura 17, verifica-se que este valor de IV = 13 se encontra de acordo com o estimado pela ANPC para o Algarve, estando o local de estudo inserido numa zona de elevada vulnerabilidade sísmica (ANPC, 2012).



**Figura 17 – Índice de Vulnerabilidade sísmica do local em estudo (adaptado de ANPC, 2012).**

## 4 RISCO DE LIQUEFAÇÃO DE SOLOS

### 4.1 LIQUEFAÇÃO

A liquefação é um fenómeno que pode ocorrer em solos granulares finos, incoerentes e saturados, quando sob a ação de um sismo, independentemente da sua magnitude ou distância ao epicentro. Importa avaliar a liquefação, em particular, em zonas de magnitude sísmica superior a 5, onde ocorram terrenos vulneráveis e urbanizados.

Quando um solo saturado é vibrado, tende a diminuir o seu índice de vazios adquirindo uma estrutura mais densa, mas a presença da água, praticamente incompressível, impede-o, gerando um aumento das pressões intersticiais.

Considera-se que ocorre liquefação inicial quando, sob a ação de cargas dinâmicas (das quais as ações sísmicas constituem o caso particular mais relevante), a pressão intersticial iguala a pressão de confinamento. Este efeito também pode estar ligado a ações estáticas, como, por exemplo, ações devidas a fluxos ascendentes de água.

Se durante o carregamento a poropressão aumenta gradualmente até um valor igual ao da tensão de confinamento, a tensão efetiva ou inter-granular atuante na estrutura do material é reduzida a zero e, em consequência, o material perde completamente sua resistência ao cisalhamento, comportando-se como líquido viscoso. Uma característica importante deste fenómeno é que este tipo de rutura ocorre em certas regiões da massa de solo e não apenas ao longo de uma determinada superfície de rutura. Como é possível observar na Figura 18, o solo em condições saturadas é constituído por uma estrutura sólida e por um fluido intersticial.

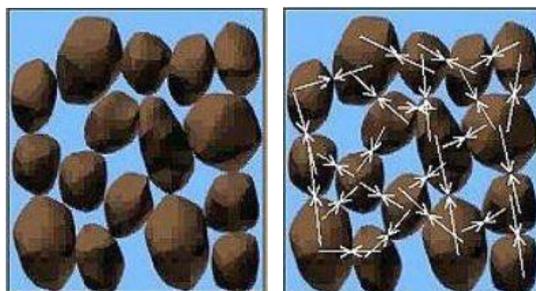


Figura 18 – Força interpartículas (Johansson, 2000).

A liquefação não é um fenómeno com uma definição estanque e, por isso, é necessário distinguir as suas diversas denominações de acordo com as características observadas. De um modo geral e de acordo com Robertson e Fear (1995) e Rauch (1997), podem ser verificados três tipos de fenómenos:

- **Liquefação cíclica**, que ocorre para grandes deformações do solo, motivadas pela anulação da tensão efetiva;
- **Liquefação por fluxo**, quando a tensão de corte, provocada por cargas estáticas ou cíclicas, excede a força residual do solo;
- **Mobilidade cíclica**, verificada também para grandes deformações mas para a qual a tensão efetiva não atinge o valor zero. As deformações vão-se acumulando em cada ciclo de aplicação da tensão de corte.

A liquefação constitui uma das consequências mais destrutivas dos sismos, causando danos em edifícios, vias de comunicação, redes de saneamento, redes de abastecimento de água, etc.

## 4.2 POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO

A potencial ocorrência de liquefação depende de vários fatores, dos quais se destacam a intensidade e a duração da ação sísmica, a compactidade relativa do solo, a distribuição granulométrica das suas partículas, o grau de saturação e o grau de cimentação dos seus elementos.

Em geral, os solos potenciais ao processo de liquefação são os constituídos por areias finas ou médias e por siltes, no estado solto ou pouco compacto, limpos ou com uma pequena percentagem de partículas mais finas, saturados e sem qualquer elemento ligante.

As areias compactas exibem acréscimos de volume (dilatância) quando solicitadas por corte, acontecendo o oposto às areias soltas. O índice de vazios para o qual não há variação de volume numa areia designa-se por índice de vazios crítico e quando as areias exibem no seu estado natural este estado crítico, ocorre liquefação.

Os solos muito finos são de um modo geral impeditivos da manifestação do fenómeno de liquefação, no entanto, também devem ser estudados deste ponto de vista.

A ocorrência de depósitos naturais com baixa compactidade está diretamente relacionada com a idade geológica e com o processo de formação, sendo por isso justificável, em primeira aproximação, a adoção de critérios de suscetibilidade à liquefação baseados em classificações geomorfológicas (Caldeira et al., 1999). A classificação de Youd e Perkins (1978) para a avaliação da suscetibilidade à liquefação considera todas as formações pré-Pleistocénicas de suscetibilidade muito baixa.

Os processos sedimentares em ambientes fluviais, deltaicos ou eólicos, favorecem o estado

relativamente solto dos solos granulares. Por isso são as formações Modernas e Quaternárias, desses ambientes, as que motivam as preocupações fundamentais. Nestas formações, o potencial à liquefação depende ainda da conjugação de fatores de natureza geotécnica e sísmica, os quais são somente apreciáveis após a análise mais pormenorizada das condições locais.

No sentido de aclarar as condições geotécnicas, os métodos de ensaio in situ constituem uma abordagem eficiente, uma vez que foram estabelecidas correlações empíricas entre a ocorrência de liquefação, a severidade sísmica e os resultados de alguns ensaios. Destacam-se, pela sua relevância os ensaios SPT, CPT e geofísicos (sísmica de refração).

### 4.3 FATORES CONDICIONANTES DE LIQUEFAÇÃO

São vários os fatores que afetam a suscetibilidade de liquefação e os efeitos da fluidização (Obermeier, 1994), sendo eles:

- Granulometria:

Segundo Obermeier (1994), estudos de campo e laboratório mostram que materiais como as areias e as areias siltíticas são muito suscetíveis à liquefação, dando origem a estruturas do tipo dos filões detriticos, soleiras e vulcões de areia. Depósitos de areia e cascalho, contendo mais de 30% a 50% de cascalho, podem também registar liquefação.

Contudo, nestes materiais as estruturas formadas são escassas relativamente às que são formadas em areias e a magnitude mínima de um sismo, necessária à ocorrência de liquefação, é maior sendo cerca de 7 (Valera et al., 1994).

Obermeier (1994) refere que a presença de uma pequena quantidade de argila diminui consideravelmente a suscetibilidade de um sedimento para se liquefazer, sendo a liquefação um fenómeno pouco comum em sedimentos contendo mais de 15% de argilas (Seed et al., 1983).

Segundo Castro (1987), mesmo que ocorra liquefação inicial, a baixa permeabilidade pode impedir o escape rápido da água e a formação de estruturas de fluidização suficientemente grandes para serem identificáveis no campo.

- Densidade relativa:

A densidade do sedimento, ou grau de compactação, mostra-se também um fator importante na suscetibilidade à liquefação, sendo que materiais com densidade baixa a média, pouco compactados, são os mais suscetíveis (Obermeier, 1994).

- Profundidade do nível freático:

Um dos fatores condicionantes, para um sedimento liquefazer-se varia com a profundidade do nível freático. Enquanto com o nível freático à superfície o sedimento pode apresentar uma suscetibilidade elevada, baixando o nível para 5m essa suscetibilidade pode variar para moderada. Para o nível freático abaixo dos 10m de profundidade a possível ocorrência de liquefação é nula.

- Profundidade e espessura dos sedimentos:

A liquefação ocorre geralmente em camadas situadas desde poucos metros até cerca de 10m de profundidade. No entanto, há relatos de profundidades inferiores a 1m (Sims, 1973; Audemard e de Santis, 1991) e referência a profundidades superiores a 20m (Seed, 1979). Para as situações mais superficiais a liquefação parece ocorrer apenas onde uma fina camada de areia se encontra entre duas constituídas por material argiloso (Obermeier, 1994).

Relativamente à espessura das camadas, os leitos mais suscetíveis apresentam normalmente uma espessura de 0,3 a 1m. A espessura da cobertura é também um fator importante na formação de filões; estes geralmente não se estendem até à superfície quando a camada liquefeita está coberta por um depósito superior a 10m (Obermeier, 1994).

- Efeitos de sítio:

Uma característica importante e que já foi atrás referida é a morfologia do terreno. Uma pequena inclinação é propícia a promover a migração do material de cobertura sobre a camada liquefeita, e causar a sua fraturação, promovendo a fluidização.

- Características da cobertura:

Como já foi referido anteriormente, a espessura da cobertura é um dos condicionantes da formação de diques. São também importantes outras características, como a existência ou inexistência de zonas de fraqueza, como fraturas pré-existentes ou espaços formados pela decomposição de raízes.

- Historial sísmico:

A ocorrência de antigos eventos sísmicos e conseqüente liquefação dos sedimentos suscetíveis pode causar uma densificação significativa do sedimento (Castro, 1987) e assim diminuir consideravelmente a sua suscetibilidade a futura liquefação. Contudo, esta densificação nem sempre ocorre de modo significativo.

De facto, observações históricas e evidências de campo sugerem que o processo de liquefação tende a ocorrer nos mesmos locais, e que a ascensão do material até à superfície se pode dar repetidamente pelas mesmas condutas (Obermeier, 1994).

## 4.4 ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE DE UM SOLO À LIQUEFAÇÃO

Na análise de um solo é necessário avaliar a suscetibilidade do mesmo à liquefação dado que nem todos possuem a mesma aptidão para o fenómeno. Como tal, o estudo deve ser realizado com maior detalhe em zonas com elevada perigosidade sísmica ou sujeitas a carregamentos monotónicos e cíclicos, sendo fundamental determinar no local onde vai ser implementada uma obra de Engenharia Civil, o respetivo potencial de ocorrência de liquefação, isto é, se esse solo é suscetível à liquefação.

Esta análise pode ser efetuada utilizando os seguintes critérios (Kramer,1996):

- Histórico:

A ocorrência de antigos eventos sísmicos e consequente liquefação dos sedimentos suscetíveis pode causar uma densificação significativa do sedimento (Castro,1987) e, assim, diminuir consideravelmente a sua suscetibilidade a futura liquefação. Contudo, esta densificação nem sempre ocorre de modo significativo.

De facto, observações históricas e evidências de campo sugerem que o processo de liquefação tende a ocorrer nos mesmos locais e que a ascensão do material, até à superfície, se pode dar repetidamente pelas mesmas condutas (Obermeier,1994).

- Geológico:

Este critério pode funcionar como ponto de partida na análise da suscetibilidade à liquefação de um solo. De acordo com Youd (1991), citado por Kramer (1996), os depósitos de solos suscetíveis à liquefação são formados em condições geológicas muito particulares. Segundo o critério geológico, todos os depósitos naturais de solos, formados por processos geológicos que depositam o solo no seu estado solto e que estão saturados previamente, devem ser classificados como suscetíveis ao fenómeno da liquefação.

- Composição:

Como a iniciação da liquefação resulta da geração de pressão intersticial, segundo Kramer (1996), a suscetibilidade a liquefação é influenciada pelas características da composição do solo (ex: tamanho e forma das partículas) que, por sua vez, influenciam o comportamento de variação volumétrica.

- Estado Inicial:

Tal como foi referido, mesmo que sejam satisfeitos os dois critérios anteriores, tal não significa que um determinado solo possa ser, ou não, suscetível à liquefação. A suscetibilidade de um solo à liquefação depende também do seu estado inicial, porque é fortemente influenciada pela sua compacidade relativa e tensões iniciais. Ao contrário dos critérios anteriores, a análise da

suscetibilidade de acordo com este critério vai depender do tipo de liquefação que se irá desenvolver.

Segundo Todo-Bom (2008), um solo pode ser considerando suscetível à liquefação se satisfazer simultaneamente os critérios geológico, de composição e do estado inicial do solo.

## 4.5 EFEITOS DA LIQUEFAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS SEUS RISCOS

A liquefação conduz a uma perda de resistência do solo, logo a grandes deformações com solicitações cíclicas que vão diminuindo a tensão de cisalhamento. Após ter atingido o estágio de liquefação inicial o comportamento do solo, sob a ação das cargas cíclicas subsequentes, pode evoluir de dois modos diferenciados (Johansson, 2000):

- Um caracterizado pela ocorrência de grandes deformações, devido à perda de rigidez, comportando-se o solo como um líquido viscoso, designado por liquefação total;
- Outro, caracterizado pelo desenvolvimento de deformações limitadas e pela estabilização dos seus estados de tensão e de deformação, devido a fenómenos de dilatância, associados sobretudo a areias densas, ou a resistências remanescentes nos solos.

O comportamento do solo liquefeito produz efeitos nefastos, dos quais se destacam a perda de capacidade resistente das fundações, a impulsão, a flutuação e a instabilização de vertentes. A perda de capacidade resistente das fundações é acompanhada de assentamentos diferenciais capazes de induzir o derrubamento ou o afundamento das estruturas.

### 4.5.1 EFEITOS DA LIQUEFAÇÃO

Um dos efeitos da liquefação, gerador de grandes danos em construções, é o da perda de resistência do solo e da sua capacidade de suportar estruturas podendo levar à rotura e cedência dos terrenos, que pode ter um impacte desastroso sobre as construções.

A liquefação dos solos durante um sismo produz efeitos muito severos, quer em campo aberto, quer em estruturas construídas pelo Homem e, conseqüentemente, muito graves em termos de socorro das vítimas do próprio sismo e, posteriormente, em termos económicos. Pode-se afirmar que qualquer país sujeito a casos graves de liquefação dos solos nas suas cidades poderá sofrer uma devastação económica e social por vezes severa.

Assim os principais efeitos da liquefação dos solos são os seguintes:

- Vulcões de areia;

- Rotura ao escorregamento;
- Fluência lateral provocando rotura de estacas;
- Oscilação da camada superficial do maciço;
- Perda da capacidade de carga provocando rotura das fundações superficiais;
- Levantamento de estruturas leves enterradas;
- Rotura de muros de suporte;
- Alterações das características dos sismos.

A rotura de fundações, quer superficiais quer profundas, é um dos efeitos mais nefastos. A rotura em fundações superficiais está associada à perda da capacidade de suporte devido à baixa resistência residual dos solos soltos e saturados (Kramer e Elgamal, 2001).

A rotura de fundações profundas pode ocorrer, por exemplo, por espalhamento lateral. O espalhamento lateral consiste num deslizar do terreno, sujeito a liquefação, ao longo de superfícies de declive muito suave. É caracterizado por deformações laterais durante o sismo. A dimensão dos deslocamentos depende da inclinação do terreno, da densidade do solo e das características do movimento. Historicamente tem causado muitos danos sobre pontes e cais em particular em áreas baixas próximas da orla costeira (Kramer e Elgamal, 2001).

O aumento de pressão, aquando da liquefação, pode levar ao derrube de estruturas de contenção ou à sua inclinação ou deslocamento.

Podem ocorrer durante a liquefação: "vulcões" de areia onde esta é expelida até à superfície (ver Figura 19); roturas de fluxo onde o solo se move ao longo de declives íngremes, podendo os deslocamentos ser de grande dimensão e ocorrer rotura interna do material (ver Figura 20); oscilação do solo em que a camada superficial, sobre a camada liquefeita, é sujeita a agitação horizontal podendo sofrer deformações severas; flutuação das estruturas leves que estão enterradas no solo (ex. oleodutos e condutas), ocorrendo quando a camada superficial não consegue acompanhar as deformações excessivas da camada subjacente liquefeita.



**Figura 19 – Vulcões de areia no Imperial Valley, na Califórnia, gerados durante o sismo de 15 de Outubro de 1979 (Johansson, 2000).**

Quando as camadas superficiais não conseguem acompanhar os movimentos das camadas subjacentes em liquefação, pode ocorrer fissuração e fragmentação da camada superficial, com formação de blocos que se deslocam lateralmente ao longo de declives que podem ser suaves.



**Figura 20 – Rotura de fluxo desenvolvida no bordo de uma estrada junto ao lago Merced em São Francisco, durante o sismo de 1957 (Fotografia de M. G. Bonilla dos USGS in [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)).**

O solo liquefeito consolida após o sismo podendo gerar assentamentos à superfície. Estes assentamentos podem ser diferenciais, por vezes significativos, em estruturas construídas à superfície e não preparadas para a liquefação.

A perda de resistência ao corte do solo dos taludes e o acréscimo da componente sísmica às ações ocorrentes pode gerar superfícies de deslizamento, levando à instabilização de vertentes.

#### **4.5.2 MITIGAÇÃO DOS RISCOS DE LIQUEFAÇÃO DE SOLOS**

A redução dos riscos da liquefação passa essencialmente por três possibilidades:

- A primeira é evitar a construção em terrenos suscetíveis de sofrer liquefação, que devem ser considerados como não aptos à implantação de qualquer estrutura;
- Reforçar as fundações tornando-as menos vulneráveis às ações sísmicas;
- Reduzir os riscos de liquefação por melhoria das características dos solos.

Caso haja necessidade de construir em solos suscetíveis de liquefação deve recorrer-se a estruturas resistentes, projetando os elementos de fundação para resistir aos efeitos da liquefação. As estruturas que apresentam capacidade para se deformarem podem apresentar melhor capacidade de acomodar grandes deformações e ajustar-se, corrigindo, assim, os assentamentos diferenciais.

O projeto de fundações deve contemplar pontos "moles" (ou deformáveis) de modo a diminuir a quantidade de danos que a estrutura possa sofrer em caso de liquefação (NRC, 1985, *in* Johansson, 2000).

Tanto as fundações superficiais como as profundas podem estar sujeitas a danos por ocorrência de liquefação, logo é importante, tanto numas como nas outras, ter em atenção alguns aspetos:

- Nas fundações superficiais é importante que todos os elementos da fundação estejam devidamente unidos para que a fundação se mova ou assente uniformemente. Se devidamente unidos todos os elementos da fundação, esta pode funcionar como ponte sobre áreas afetadas por assentamento local e proporcionar uma melhor resistência do conjunto contra os movimentos do solo (Johansson, 2000);  
Fundações superficiais do tipo sapatas agrupadas ou ensoleiramento geral permitem a transferência de cargas das zonas liquefeitas para zonas adjacentes mais resistentes;
- Em fundações profundas, com estacas ou pilares, a liquefação pode gerar grandes cargas laterais nas bases das estacas. A cravação das estacas, atravessando solos fracos e potencialmente liquidificáveis, deve ser fundada em camadas mais resistentes, não só para suportar as cargas verticais da estrutura mas também para ser capaz de resistir a cargas

horizontais e a momentos de flexão induzidos por movimentos laterais, em caso de liquefação da camada pouco resistente. A resistência pode ser conseguida pelo reforço das estacas, por reforço da armadura, por aumento da secção transversal ou aumento do comprimento;  
A ligação ou amarração da estacaria à base do edifício deve ser feita a partir de estruturas dúcteis que permitam deformação sem rotura. Se a amarração falhar, a estrutura pode ser derrubada a partir do desenvolvimento de cargas verticais nas estacas.

Estruturas enterradas, como redes de água ou esgoto, devem possuir ligações dúcteis de modo a permitir acomodar grandes movimentos e assentamentos que venham a ocorrer em caso de liquefação.

A última opção é relativa à redução dos riscos de liquefação, por melhoria das características dos solos, que se prendem essencialmente com a redução do excesso de tensão neutra gerado durante um sismo. Isto pode ser conseguido melhorando as condições de drenagem natural e/ou aumentando a compactação dos terrenos.

A elaboração de mapas de zonamento da liquefação (microzonamento) e a integração dos resultados nos planos de ordenamento, identificando zonas de suscetibilidade à liquefação, pode constituir uma ferramenta útil na mitigação do risco.

Os resultados devem ser utilizados na definição da densidade de ocupação de determinadas áreas e das características das construções a adotar. Em zonas construídas e suscetíveis de liquefação, deve proceder-se ao estudo da vulnerabilidade dos edifícios existentes, implementando ações de eventual reforço estrutural.

Seed *et al.* (2001) elaboraram uma lista de técnicas para melhorar os solos, apresentando soluções estruturais disponíveis para mitigar os riscos da liquefação (ver Tabela XV)

A combinação de duas ou mais técnicas de tratamento é recomendada para obter melhores resultados (Seed *et al.*, 2001).

**Tabela XV – Melhoria de solos e soluções estruturais disponíveis para reduzir os riscos da liquefação (Seed et al., 2001).**

<b>Categoria geral</b>	<b>Método de mitigação</b>	<b>Notas</b>
I. Escavação e/ou compactação	Escavação e eliminação dos solos liquificáveis Escavação e recompactação Compactação (para novo preenchimento)	Compactação de superfície.
II. Aumentar a compacidade do solo <i>in situ</i>	Compactação com equipamentos ou sondas vibratórias Consolidação dinâmica Estacas de compactação Densificação profunda por detonação ( <i>blasting</i> ) Injeções de compactação	Pode ser acompanhada por instalação de colunas de brita Pode atuar como reforço.
III. Outros tipos de tratamento de solos	Injeções de impermeabilização <i>Jet grouting</i> Mistura profunda Drenos Pré-cargas Preenchimentos estruturais	A utilização em simultâneo de vários processos de drenagem favorece a compacidade.
IV. Estruturas/sistemas de contenção	Construção de estruturas ou colocação de terra para proporcionar contenção das margens, e evitar grandes espalhamentos laterais.	
V. Fundações profundas	Estacas (instalação por cravação ou vibração) Molhes (instalados por perfuração ou escavação)	Também podem melhorar a compacidade do solo
VI. Reforço de fundações superficiais	Grade de lintéis Ensoleiramento reforçado Ensoleiramento bem reforçado ou pós-tensionado Ensoleiramento rígido	

## 4.6 O FENÓMENO DE LIQUEFAÇÃO EM PORTUGAL

A referência mais antiga ao fenómeno de liquefação no território português data de 1531 e refere-se ao sismo ocorrido no dia 26 de Janeiro desse mesmo ano, cujo epicentro se localizou provavelmente no vale inferior do Tejo. O fenómeno desenvolveu-se especialmente nos solos das bacias do Tejo e Sado.

Entre o ano 1531 e o ano 1755 não se encontraram referências históricas de fenómenos de liquefação, apesar da ocorrência de sismos com magnitude suficiente para tal (Jorge, 1993).

De uma forma geral a liquefação é inferida de relatos históricos sob a forma das seguintes manifestações (Berardi et al., 1991, in Jorge, 1993):

- Fluxos de água e areia a partir de fissuras ou aberturas no solo, com a formação de pequenos vulcões de areia, ou ainda injeção de areia em poços;
- Subsidência ou colapso do solo em extensões limitadas, em materiais arenosos;
- Afundamento de edifícios fundados em material arenoso.

O registo existente faz alusão a seis sismos históricos, que afetaram o território português, onde se identificaram fenómenos de liquefação, estando as características destes resumidas na Tabela XVI.

**Tabela XVI – Sismos com referência à liquefação (Jorge, 1993).**

SISMO	MAGNITUDE	INTENSIDADE
26-Jan -1531	7,1	IX
01-Nov-1755	8,5	X
31-Mar-1761	7,5	IX
12-Jan-1856	6,0	VII
11-Nov-1858	7,2	IX
23-Abr-1909	7,6	IX

A Figura 21 mostra a distribuição espacial da liquefação em Portugal, para os maiores sismos históricos com epicentro em terra ou no mar.

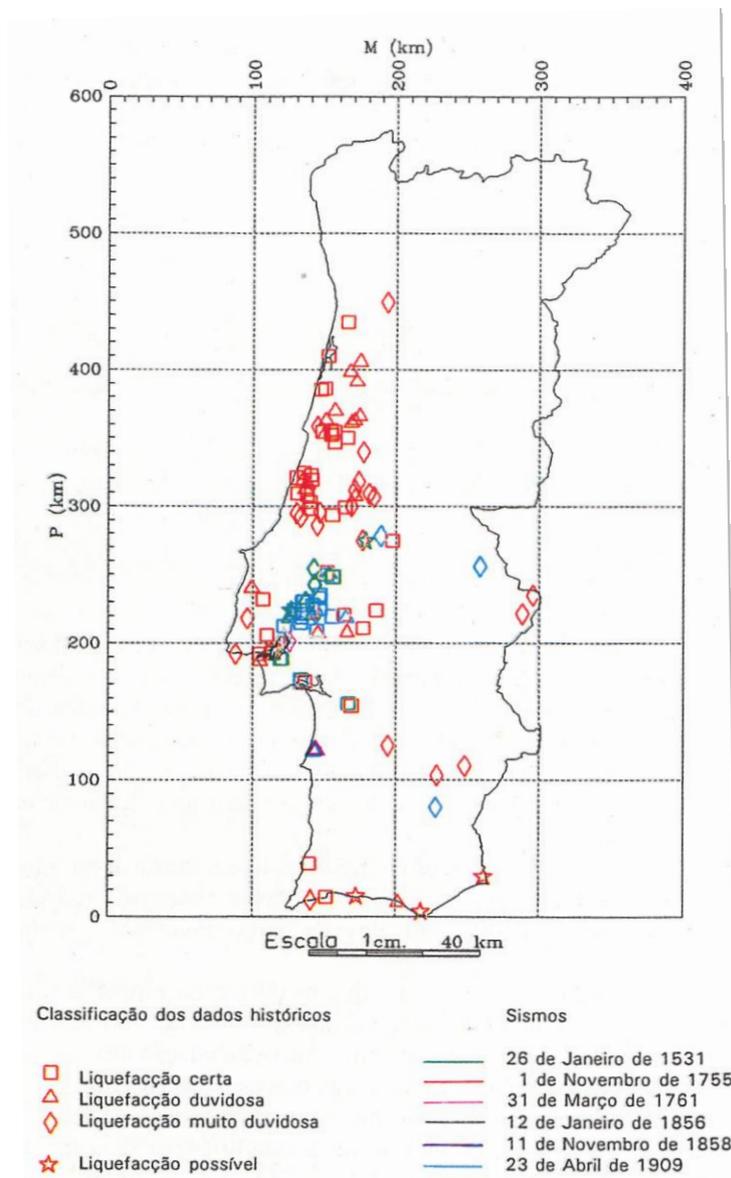


Figura 21 – Localização dos fenômenos de liquefação associados a sismos históricos (Jorge, 1993).

Conhecendo as localizações mais afastadas das manifestações de liquefação e dos respetivos epicentros dos sismos que lhe deram origem, torna-se possível definir a distância máxima de liquefação para uma dada magnitude.

A Tabela XVII mostra as distâncias para quatro sismos mais importantes que estão relacionados com manifestações de liquefação.

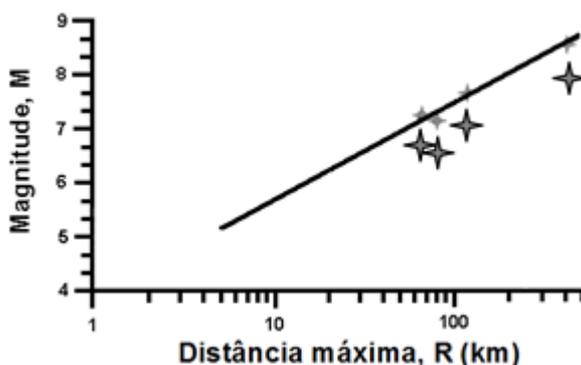
**Tabela XVII – Distância máxima de liquefação (Jorge, 1993).**

SISMO	MAGNITUDE	DISTÂNCIA MÁXIMA
26-Jan -1531	7,1	80
01-Nov-1755	8,5	420
11-Nov-1858	7,2	66
23-Abr-1909	7,6	120

Com os valores das distâncias máximas da Tabela XVII, torna-se viável estabelecer a relação entre logaritmo da distância máxima de liquefação e magnitude para uma região específica, conforme o ilustrado na Figura 22. Definindo-se assim a seguinte relação:

$$\log R = 0.61M - 2.52$$

em que R é distância máxima onde ocorre liquefação e M é a magnitude de Richter (Ms).



**Figura 22 - Relação entre a magnitude e o logaritmo da distância epicentral ao local mais afastado onde ocorreu liquefação (Jorge, 1993).**

Através destes dados, Jorge (1993), na sequência do seu trabalho, considerando que a zona de geração sísmica com maior concentração de sismos está associada ao limite de placas a Sul da Península Ibérica e que no continente a sismicidade concentra-se na faixa Centro-Litoral, definiu um mapa com o período de retorno da oportunidade de liquefação para Portugal Continental (Figura 23).

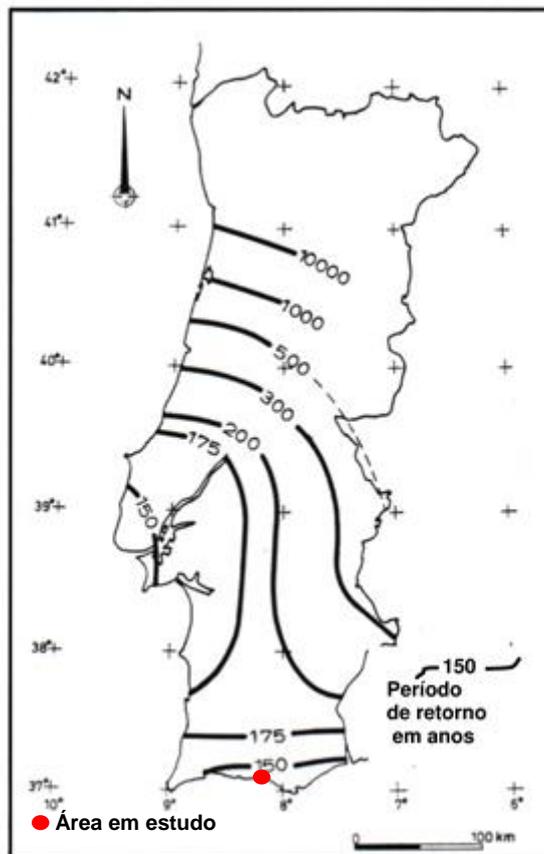


Figura 23 – Mapa de período de retorno mínimo da oportunidade de liquefação para Portugal (Jorge, 1993).

#### 4.6.1 ZONAMENTO DO POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO EM PORTUGAL

O zonamento da suscetibilidade à liquefação do território continental baseia-se em critérios geológicos e geomorfológicos complementados com dados de liquefação histórica, conforme acima mencionado.

Para o efeito, foi utilizada informação de base obtida pelas cartas hipsométrica e geológica de Portugal, ambas à escala 1:500 000 e pelas restantes cartas geológicas à escala 1:50 000.

A fiabilidade da classificação geomorfológica/geológica foi aferida pelos dados históricos consultados e que fazem referência ao fenómeno de liquefação, de uma maneira mais ou menos direta, durante episódios de historial sísmico.

A Tabela XIX mostra a classificação da suscetibilidade à liquefação obtida, deste modo, para os terrenos Plistocénicos e mais recentes existentes em Portugal.

**Tabela XVIII – Suscetibilidade à liquefação dos depósitos/unidades geomorfológicas em Portugal.**

<i>Localização e classificação das unidades geomorfológicas e geológicas</i>	<i>Suscetibilidade</i>
<b>Algarve</b>	
Praia	alta
Sapal e zona lagunar de Faro-Olhão-Tavira e Alvor	alta a muito alta
Aluvião (a) (Rio Guadiana, etc.)	alta
Plioquaternário (PQ)	muito baixa
<b>Costa Alentejana</b>	
Praia	moderada a alta
Duna (d e ad)	moderada
Laguna (Melides e Sr. André)	alta
Aluvião (a)	alta
Terraço Quaternário (Q)	baixa
Plioquaternário (PQ)	muito baixa
<b>Vale do Sado</b>	
Estuário	alta a muito alta
Laguna	alta a muito alta
Aluvião (a)	alta
Duna (d e ad)	alta a moderada
Terraço fluvial (Q)	baixa
Plioquaternário (PQ)	muito baixa
<b>Vale do Tejo</b>	
Estuário	alta a muito alta
Aluvião (a)	alta
Planície aluvionar (A)	moderada
Terraço fluvial (Plistocénico - Q)	baixa
Plioquaternário e Pliocénico (PQ e P)	muito baixa
<b>Do Guincho à Nazaré</b>	
Praia	moderada a alta
Duna (d e ad)	moderada
Terraço de praia	baixa a muito baixa
Aluvião (a) (ex.: Rio Sizandro)	alta
<b>Da Nazaré a Espinho</b>	
Praia	moderada a alta
Lagunas (Óbidos, S. Martinho, etc.)	alta
Aluvião (a) (Rio Lis)	alta
Duna (d e ad)	moderada
Plioquaternário (PQ)	muito baixa
<b>Vale do Mondego</b>	
Estuário	alta
Aluvião (a)	alta
Terraço fluvial (Q)	baixa
<b>Ria de Aveiro</b>	
Laguna	alta a muito alta
Lagoa	alta
Praia	moderada a alta
Duna (d e ad)	baixa a alta
<b>De Espinho ao Rio Minho</b>	
Praia	moderada a alta
Duna (d e ad)	moderada a alta
Terraço de praia	baixa
<b>Vale do Rio Minho</b>	
Aluvião (a)	alta
Terraço fluvial (Q)	baixa

Com base neste procedimento, a Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000, foi transformada num mapa de suscetibilidade à liquefação.

Neste zonamento adotaram-se quatro unidades de suscetibilidade:

- suscetibilidade alta a muito alta;

- suscetibilidade moderada;
- suscetibilidade baixa a muito baixa;
- suscetibilidade nula.

As Figura 24 e Figura 25 representam o zonamento, dividido em zona norte e zona sul, do potencial de liquefação para o território continental português.

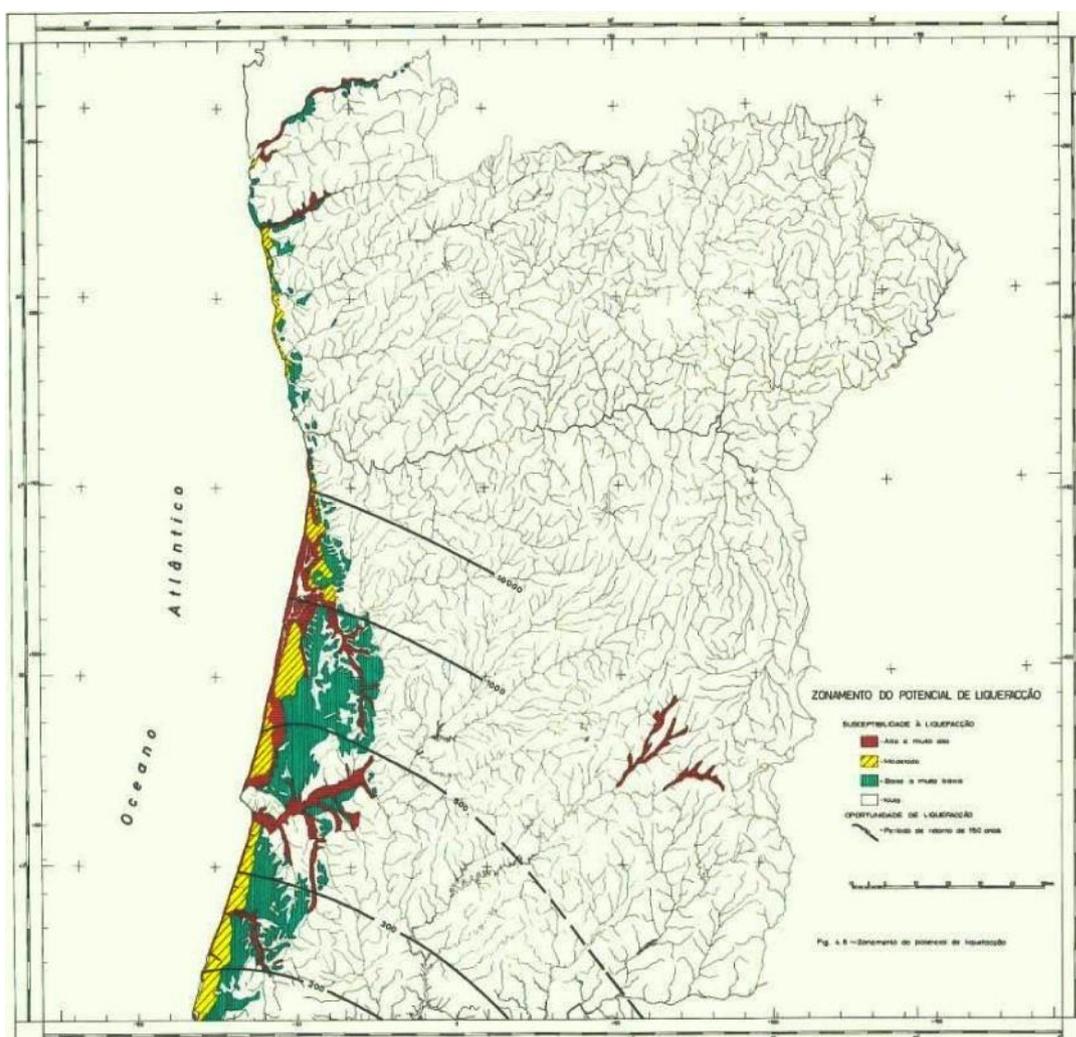


Figura 24 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para Portugal Continental - zona norte; (Jorge, 1993).

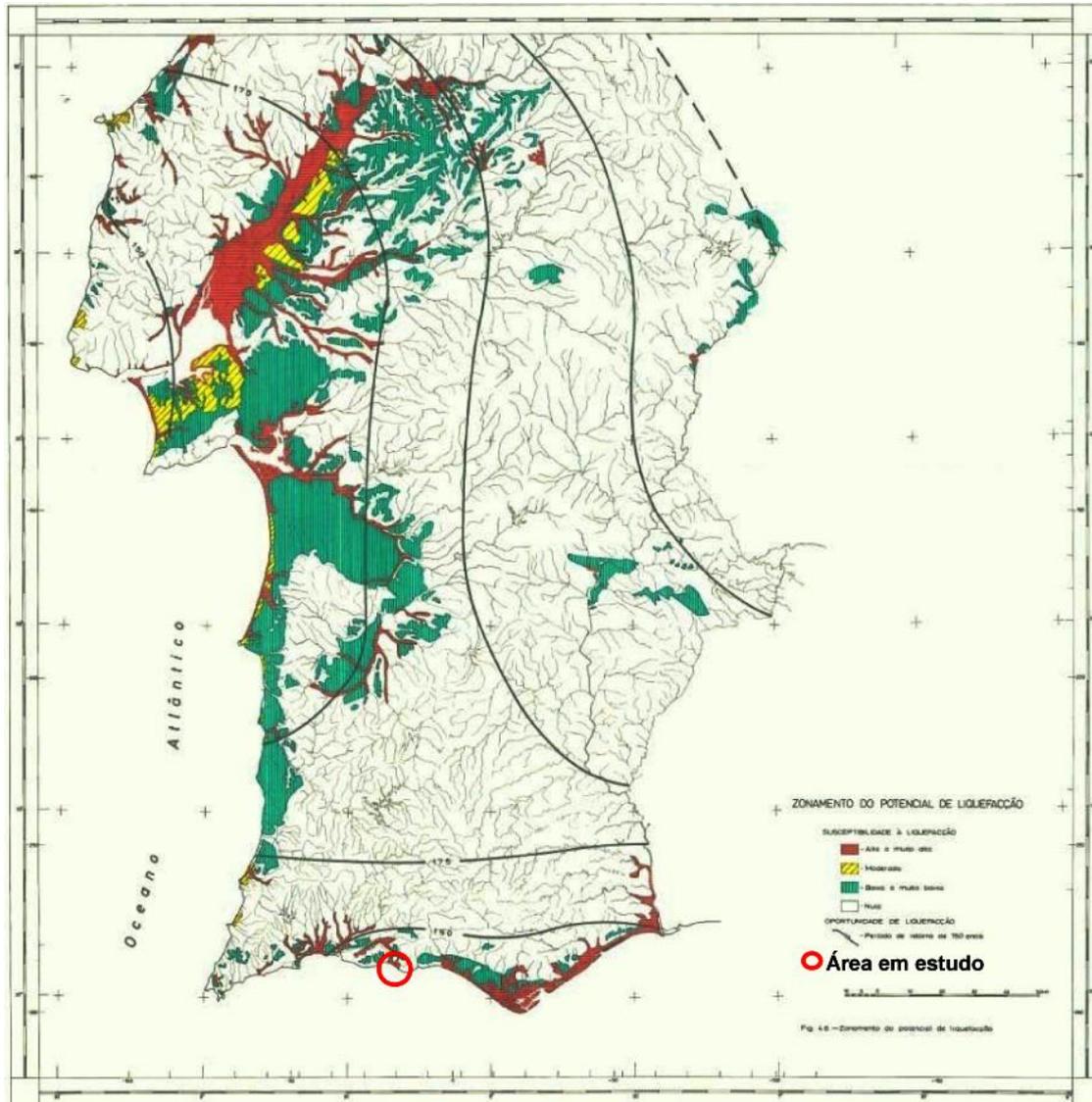


Figura 25 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para Portugal Continental - zona sul; (Jorge, 1993).

Conforme é visível nas figuras, as zonas com maior potencial de liquefação estão localizadas na costa sul do Algarve e na região de Lisboa, estuário do Sado e Vale Inferior do Tejo.

As zonas que mostram suscetibilidade à ocorrência de liquefação são essencialmente constituídas pelas formações que compreendem sedimentos Plistocénicos e Holocénicos litorais, bem como as zonas baixas associadas aos principais cursos de água, constituídas por aluviões e terraços fluviais. São ainda considerados suscetíveis os materiais sedimentares atribuídos ao Plio-Quaternário, apresentando no entanto uma suscetibilidade muito baixa.

Para Norte o potencial de liquefação diminui devido ao fato da oportunidade de liquefação diminuir de forma muito acentuada.

## 4.7 ZONAMENTO DO POTENCIAL RISCO DE LIQUEFAÇÃO NA PRAIA GRANDE

A zona da Praia Grande desenvolve-se na baixa aluvionar, numa linha de costa bem regularizada, onde desaguam as ribeiras de Alcantarilha e Espiche, em vales largos, muito assoreados e fechados por uma barra arenosa de morfologia muito plana.

Para o zonamento do potencial de liquefação adotou-se a base topográfica à escala 1:25000, considerando-se o mapa de oportunidade de liquefação mencionado atrás (ver Figura 23) e consequente mapa de zonamento do potencial de liquefação para Portugal Continental - zona sul (Figura 25) tendo como base a suscetibilidade à liquefação dos depósitos / unidades geomorfológicas de Portugal (ver Tabela XVIII), assim sendo a zona alvo de estudo situa-se numa área de suscetibilidade à liquefação muito alta a alta em que o período mínimo de retorno dos sismos capazes de provocar liquefação é igual ou inferior a 150 anos.

Apesar da existência de um mapa do zonamento de potencial de liquefação para a região, baseado em critérios de ordem geológica (Jorge 1993), estabeleceu-se uma primeira classificação de solos baseada em dados de natureza geotécnica e geológica, com vista a definir as zonas de maior potencial de amplificação dos movimentos sísmicos.

Esta classificação do solo, com base nas cartas geológicas 1:200.000 para o Algarve, está apresentada na Figura 26. As formações geológicas de idade Mesozoica e Paleozoica não foram diretamente incluídas, uma vez que, dada a sua rigidez, se aceita que representam um risco muito baixo de amplificação do efeito sísmico ou de liquefação dos solos (Jorge 1993).

Como a classificação indica, os solos com maior amplificação do efeito sísmico ou de liquefação encontram-se ordenados de B para D, sendo D o que maior amplificação regista, função do tipo de espetro sísmico que é aplicado na sua base.

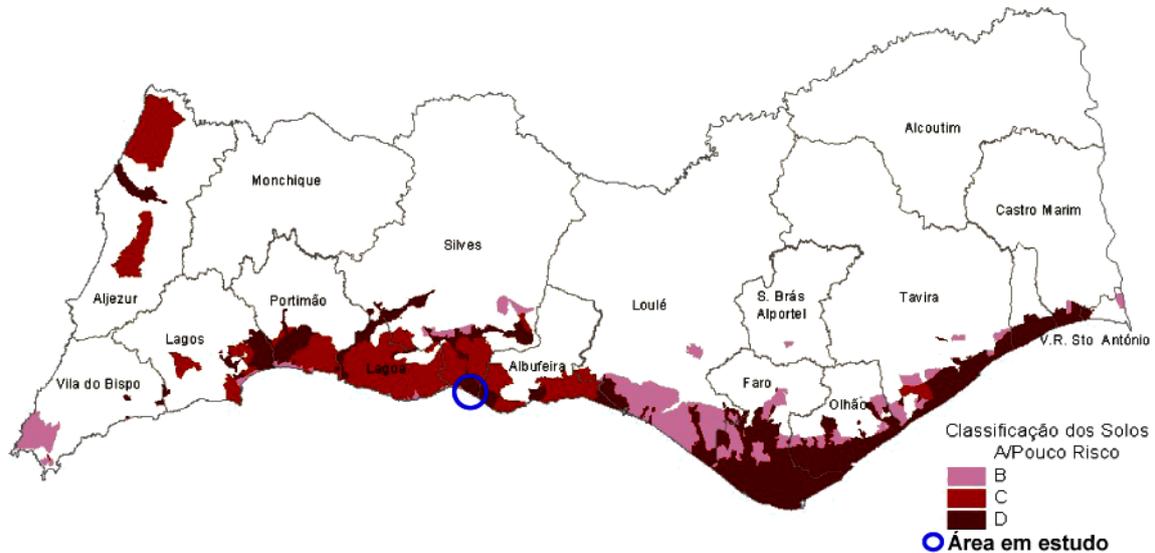
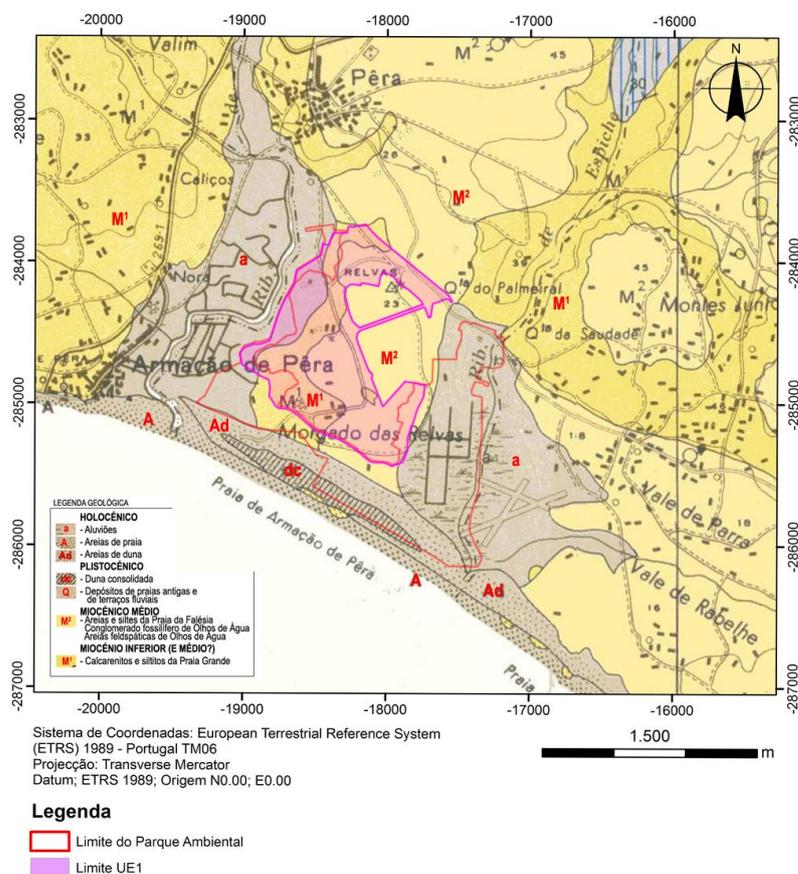


Figura 26 – Classificação de solos de acordo com a classificação de Penelis (1997) feita a partir da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:200 000.

#### 4.7.1 CONDIÇÕES GEOLÓGICAS / GEOMORFOLÓGICAS LOCAIS

Na área abrangida pelo estudo podem distinguir-se um conjunto de depósitos recentes, assentes em formações sedimentares mais antigas do Miocénico (ver Figura 27) que, da base para o topo, são:

- Formação Carbonatada Lagos - Portimão (**M<sup>1</sup>**), composta essencialmente por rochas carbonatadas (arenitos calcários e calcários com seixos) e pela unidade estratigráfica designada por Areias de Olhos de Água (**M<sup>2</sup>**), constituída por areias e siltes com uma espessura entre 30-50m;
- Os depósitos do ponto anterior estão parcialmente cobertos por um conjunto com cerca de 50m de espessura máxima de depósitos aluvionares (**a**) superficiais Plistocénicos e Holocénicos, associados à ribeira de Alcantarilha e à ribeira de Espiche, apresentando uma componente argilosa dominante;
- Na zona sul da UE1 erguem-se areias de dunas (**Ad**), pouco evoluídas e de natureza quártzica, que cobrem parcialmente as dunas consolidadas (**dc**) da Praia Grande (eolinitos aflorantes) que testemunham a presença de dunas muito antigas constituídas por areias de grão grosseiro e fino, agregado por cimento carbonatado, que afloram de forma dispersa no interior do campo dunar atual.



**Figura 27 – Localização da área de intervenção sobre extrato na Carta Geológica de Portugal, Folha nº 52-B (Albufeira), na escala original de 1/50 000.**

Geomorfologicamente, a área alvo de estudo desenvolve-se num terreno predominantemente arenoso de morfologia muito plana com cotas compreendidas entre 1m, na margem da ribeira de Alcantarilha, até 23m, no vértice geodésico de Relvas, no setor norte da área.

Com base na Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, juntamente com a carta de distribuição de declives, estas zonas aplanadas apresentam um declive suave pouco maior que 3%, com o nível freático a pequena profundidade (2-3m), mas variável com a época do ano, nomeadamente nos períodos de cheias das ribeiras de Alcantarilha e Espiche, com o efeito da lagoa dos Salgados, ou com o nível das marés.

Os rebordos dos vales formados pelas ribeiras são arribas correlativas da estabilização do nível do mar no Holocénico, anteriormente ao assoreamento dos estuários em consequência da autorregulação do sistema fluvial ao novo nível do mar. Estas zonas ribeirinhas são caracterizadas pela existência de um ambiente lagunar, ao qual correspondem áreas arenosas e lodosas que cobrem a litologia local.

As cotas mais altas (superiores a 10m) desenvolvem-se ao longo de uma faixa com orientação norte-sul que percorre toda a zona central da UE1 e correspondem a afloramentos de calcários e calcarenitos (Formação Carbonatada Lagos – Portimão, **M<sup>1</sup>**), por vezes cobertos por depósitos arenosos do Miocénico superior Areias de Olhos de Água (**M<sup>2</sup>**).

#### 4.7.2 AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À LIQUEFAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

Para definição da suscetibilidade à liquefação, analisaram-se os dados relativos à composição dos depósitos, à espessura das camadas arenosas e depósitos de calcarenitos, à sua compacidade, à amplificação do sinal sísmico e às condições hidrogeológicas existentes na zona.

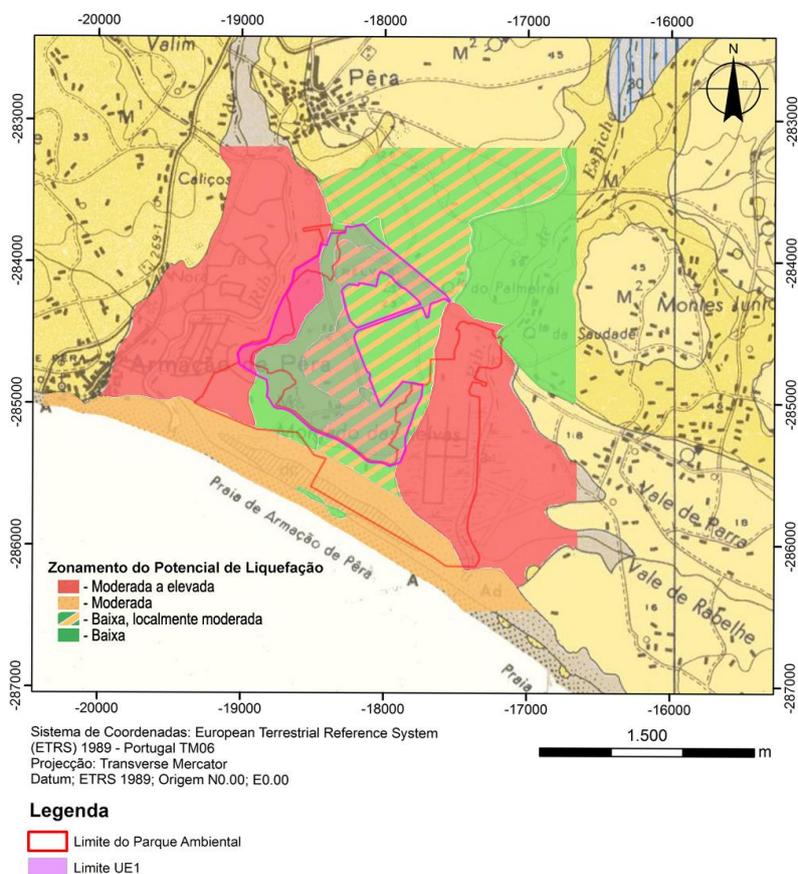
Com base na classificação definida na Tabela XIX, estabeleceu-se o mapa de suscetibilidade à liquefação na zona da Praia Grande que se apresenta na Figura 28.

Este mapa é, simultaneamente, um mapa do potencial de liquefação ao considerar a informação da Figura 23 e da Figura 25.

**Tabela XIX – Ponderação das características das unidades geológicas no desenvolvimento da liquefação.**

UNIDADES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS	MATERIAL ARENOSO	TEOR EM FINOS (ARGILA)	NÍVEL FREÁTICO ELEVADO	COMPACTIDADE BAIXA	DECLIVE <3% MÁ DRENAGEM	AMPLIFICAÇÃO DO SINAL SÍSMICO	ESTRUTURA GEOLÓGICA FAVORÁVEL	SUSCETIBILIDADE LIQUEFAÇÃO
Aluviões (a) Fluivo-marinhos	+	+	+	---	+	+	+/-	Moderada a elevada
Areias de dunas (Ad) Complexo arenoso	+	-	+	---	+	+	+/-	Moderada
Dunas Consolidadas (dc)	+	-	+	-	+	+	+	Moderada
Areias de Olhos de Água ( <b>M<sup>2</sup></b> )	-	+	+/-	+/-	-/+	+	+/-	Localmente moderada
Formação Carbonatada Lagos - Portimão ( <b>M<sup>1</sup></b> )	-	+	+/-	+/-	-/+	+/-	+	Baixa

Nota: + condições favoráveis à liquefação; - condições desfavoráveis à liquefação



**Figura 28 – Mapa do Zonamento do Potencial de Liquefação para a UE 1 - Praia Grande**

Da análise deste mapa, conclui-se que as formações de potencial à liquefação mais elevado são essencialmente constituídas pelas formações que compreendem sedimentos plistocénicos e holocénicos litorais, e as zonas baixas associadas aos principais cursos de água, constituídas por aluviões e terraços fluviais.

São ainda considerados suscetíveis os materiais sedimentares atribuídos ao Plio-Quaternário, apresentando no entanto uma suscetibilidade muito baixa.

#### 4.7.2.1 ANÁLISE DA LIQUEFAÇÃO DOS SOLOS NA ÁREA AFETA AO PROJETO

Para fazer uma avaliação da suscetibilidade dos solos à liquefação recorreu-se à metodologia proposta no EC 8 – 5, Anexo B para uma análise simplificada baseada nos dados fornecidos em ensaios SPT.

#### 4.7.2.1.1 COLUNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL

Nos elementos de base do projeto não foi definida uma coluna estratigráfica local, pelo que se recorreu a dados da bibliografia para construir a coluna estratigráfica que se apresenta na Figura 29.

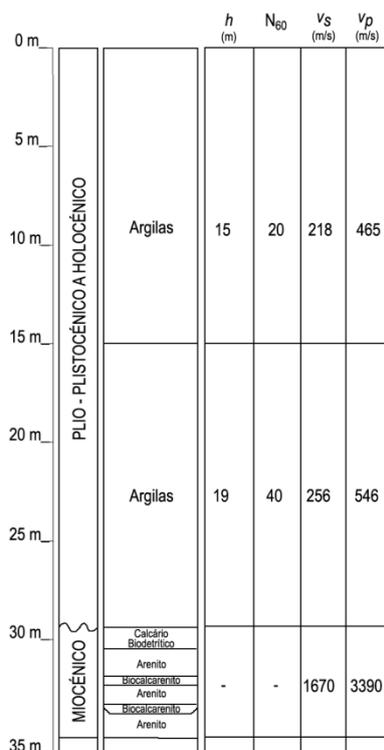


Figura 29 – Coluna estratigráfica local com base em dados de Estêvão (2007, in Rodrigues, 2015).

Esta coluna estratigráfica poderá corresponder à situação mais crítica em termos de potencial de liquefação de solos que é aquela que se verifica para a zona dos aluviões (a), caracterizada como zona de suscetibilidade à liquefação “Moderada a Elevada”.

#### 4.7.2.1.2 ANÁLISE SIMPLIFICADA DA LIQUEFAÇÃO DE ACORDO COM O EC-8

O EUROCÓDIGO 8 propõe o uso de diagramas empíricos para uma análise simplificada da liquefação. Considera-se que é adequado o uso deste tipo de diagramas uma vez que se pretende fazer apenas uma abordagem indicativa do potencial de liquefação em formações homogéneas com estruturas correntes.

O gráfico empírico proposto no EC 8 – 5, Anexo B, representa uma correlação experimental entre, em ordenadas, os valores das tensões tangenciais cíclicas associadas a sismos que provocaram liquefação dos solos e, em abcissas, medições *in situ*, neste caso o valor dos ensaios de penetração normalizados (SPT) – NSPT, normalizado para o efeito dos terrenos subjacentes e para a energia do impacto do

martelo.

Os dados de valores de N60 apresentados como característicos das formações argilosas do Plio-Plistocénico que se apresentam na coluna estratigráfica (Estêvão 2007, in Rodrigues, 2015) estão de acordo com os valores normalmente aceites para formações deste tipo (p.ex. Vallejo et al. 2004).

Nesta análise considerou-se uma rotura sísmica no horizonte superficial de argilas do Plio-Plistocénico a Holocénico até 3 metros de profundidade, associadas às aluviões (a), que teve uma avaliação à suscetibilidade de liquefação de "Moderada a elevada", constituindo a situação mais gravosa na área do projeto.

Na ausência de dados concretos sobre o modo de execução dos ensaios SPT no cálculo de  $(N_1)_{60}$  adotaram-se os parâmetros mais frequentes em Portugal.

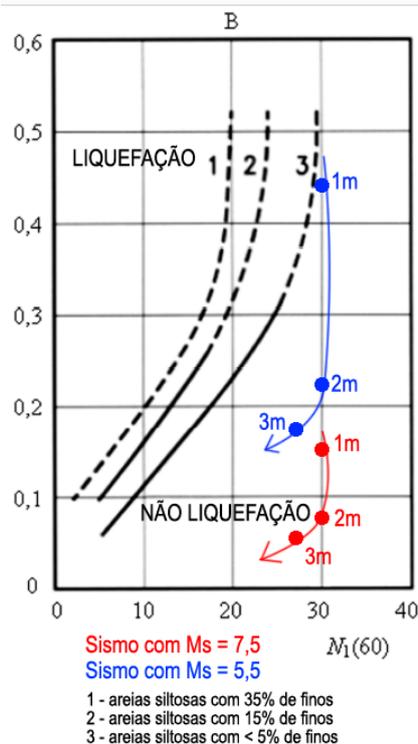
Na Tabela XX apresentam-se os parâmetros adotados no cálculo de  $\tau_e$  – tensão tangencial sísmica.

**Tabela XX – Parâmetros adotados no cálculo da tensão tangencial sísmica ( $\tau_e$ )**

PARÂMETRO	SIGLA	VALOR	DESCRIÇÃO	REF.
TIPO DE TERRENO		C	Argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.	NP EN 1998-1 2010, Quadro 3.1, pg 36
COEFICIENTE DO SOLO	S	1.15	Parâmetros para uma resposta elástica de Tipo 1, relativo a um sismo afastado intraplaca.	NP EN 1998-1 2010, Quadro 3.2, pg 40
ACELERAÇÃO MÁXIMA DE REFERÊNCIA	$a_{gR}$	2.0 (m/s <sup>2</sup> )	Valor da aceleração máxima de referência para a zona sísmica 1.2 para ações sísmica de Tipo 1.	NP EN 1998-1 2010, Quadro NA.1, pg 207
COEFICIENTE DE IMPORTÂNCIA	$\gamma_1$	1.00	Coefficiente de importância para edifícios de Classe II para um sismo com um período de retorno de referência.	NP EN 1998-1 2010, Quadro 4.3, pg 52

Foi adotado um coeficiente de importância ( $\gamma_1$ ) numa perspetiva conservadora pois o tipo de edifícios a construir no empreendimento admite que o cálculo se fizesse com valores menores.

Considerando níveis suscetíveis de sofrerem rutura por liquefação a 1, 2 e 3 metros e sismos de magnitudes, Ms de 5.5 a 7.5 construiu-se a Figura 30.



**Figura 30 – Relação entre tensões normalizadas e valores de  $N_1(60)$  (NP EN 1998-5 2010).**

Para as aluviões da Praia Grande, em que se assumiu uma coluna geológica formada essencialmente por argilas compactas com valores de  $N_{SPT}$  de 20 e um nível freático a 2m, não se verificam condições para a ocorrência de liquefação até 3 metros.

Contudo, caso se venham a verificar outras condições geológicas, designadamente a existência de níveis silto-arenosos com alguma expressão, dever-se-á realizar trabalhos de caracterização e prospeção geotécnica – nomeadamente, ensaios granulométricos, ensaios CPTu e ensaios de sísmica de refração – que permitam uma quantificação do potencial de liquefação.

## 5 RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO

A metodologia de trabalho no que respeita à análise do risco de contaminação do aquífero incluiu, numa fase inicial, a recolha da principal bibliografia e cartografia referente à hidrogeologia regional, nomeadamente:

- Carta Geológica à escala 1/50 000, Folha 52-B (Albufeira);
- Carta Geológica à escala 1/200 000, Folha 7;
- Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia à escala 1/100 000, Folhas A1 (Sistemas Aquíferos), B1 (Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos) e C1 (Hidroquímica Pontual);
- Relatório do Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) das Ribeiras do Algarve (RH8) editado pela Agência Portuguesa de Ambiente (APA).

No sentido de obter informações sobre a origem de águas subterrâneas na envolvente da área afeta ao projeto, foram também consultadas as bases de dados de organismos que dispõem de informação referente aos recursos hídricos do território nacional: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH); Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR); Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e Águas do Algarve, S.A..

Foi ainda tida em conta toda a informação fornecida pelo Cliente, sobretudo o Relatório Síntese do EIA (2013) e todos os dados que resultaram dos trabalhos realizados nesse âmbito, nomeadamente o Parecer de Hidrogeologia do mesmo ano.

A informação compilada foi validada e complementada com a realização de trabalho de campo, efetuado no mês de Abril de 2017.

O principal objetivo do trabalho de campo prendia-se com a necessidade de adquirir informação complementar à disponível no âmbito do EIA, nomeadamente no que se refere à existência de focos poluentes no sentido de aferir o risco de contaminação da massa de água subterrânea. Nesse sentido, foi realizado um inventário de focos poluentes em toda a área afeta ao projeto e na sua envolvente imediata e intermédia.

## 5.1 ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

Em termos de unidade hidrogeológica, a área em estudo situa-se na Orla Mesocenozoica Meridional, limitada a Oeste pela ribeira de Alcantarilha e a este pela ribeira de Espiche. A massa de água em análise corresponde ao sistema multiaquífero Ferragudo-Albufeira.

A área em estudo encontra-se instalada na Formação Carbonatada Lagos-Portimão, do Miocénico, constituída essencialmente por biocalcarenitos fossilíferos, calcários, arenitos e conglomerados, correspondendo a um aquífero poroso e cársico, livre a semi-confinado, com uma área de recarga limitada. Este substrato do Miocénico representa a principal formação aquífera na zona, na qual se encontram instalados vários furos de captação verticais.

A cobertura detrítica do Plistocénico é constituída por areias, argilas e cascalheiras, formações designadas por Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira. Em associação com as principais linhas de água ocorre uma expressiva mancha aluvionar. Estas formações de cobertura representam um aquífero poroso, permeável, livre, encontrando-se em ligação hidráulica com as linhas de água.

No que diz respeito à produtividade do sistema aquífero Ferragudo-Albufeira, este apresenta valores médios de produtividade da ordem dos 7,2  $\ell/s$ , no entanto, este valor pode apresentar variabilidade acentuada, dependendo do substrato geológico presente. De acordo com a carta Hidrogeológica da Orla Algarvia à escala original de 1/100 000, as formações carbonatadas do Miocénico apresentam permeabilidade elevada, com redes aquíferas extensas e muito produtivas. Pelo contrário, as formações porosas não consolidadas representam aquíferos locais ou descontínuos com permeabilidade medíocre ou variável. As formações aluvionares podem ser consideradas interessantes do ponto de vista da produtividade mas, no entanto, correspondem a aquíferos pouco extensos.

As formações do Miocénico apresentam transmissividades com grande variabilidade, desde 30 $m^2$ /dia a 750 $m^2$ /dia.

De acordo com dados bibliográficos, em termos de piezometria, nas litologias do Miocénico, o nível hidrostático (NHE) apresenta-se próximo da superfície, o que foi corroborado de certa forma aquando da realização do trabalho de campo no âmbito do EIA, apesar de, pontualmente, se terem obtido níveis da água mais profundos.

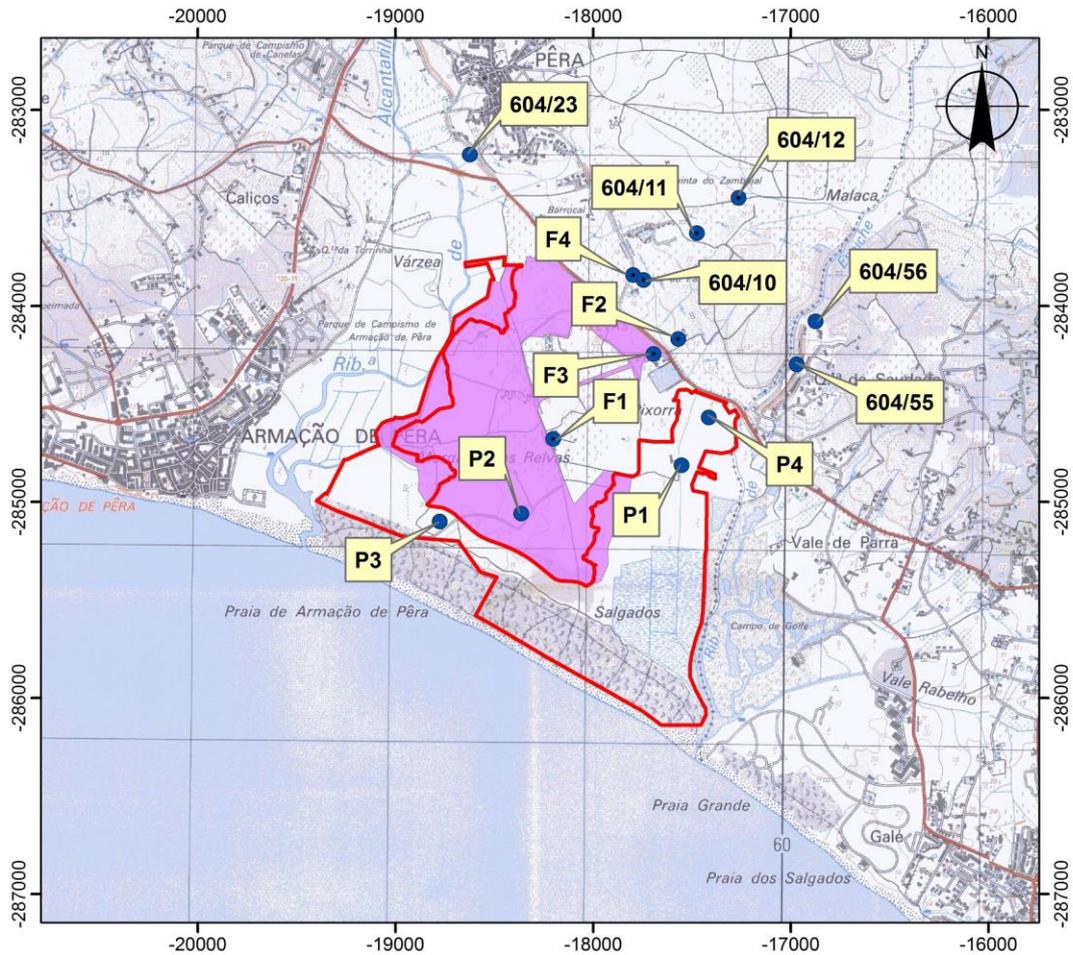
## 5.2 DADOS DE CAMPO CONSTANTES NO EIA - 2013

No âmbito do EIA, foi realizado trabalho de campo em Maio de 2013, do qual resultou um Inventário Hidrogeológico composto por catorze pontos de água (uns do efetivo trabalho de campo, outros com origem em bases de dados nacionais). Na Tabela XXI podem ser consultadas as principais características dos pontos integrantes do Inventário Hidrogeológico. Assim, com base nestes dados, complementados por outra informação de cariz geológico, é possível caracterizar o meio aquífero local.

Na Figura 31 apresentam-se as localizações dos pontos de água que compõem o Inventário Hidrogeológico sobre a carta topográfica nº 604 à escala 1/25000.

**Tabela XXI - Inventário Hidrogeológico (dados integrantes do Parecer Hidrogeologia).**

PA	TIPOLOGIA	COTA (m)	PROFUNDIDADE (m)	pH	CONDUTIVIDADE E ELÉTRICA ( $\mu\text{S/cm}$ )	NHE (m)	COTA DO NHE (m)	UTILIZAÇÃO	FONTE
F1	Furo	12,50	-	7,88	7060	-	-	Doméstica	Trabalho de campo
F2	Furo	10,0	30,00	10,0	-	-	-	Doméstica	Trabalho de campo
F3	Furo	10,0	30,00		-	-	-	Abandonado	Trabalho de campo
F4	Furo	18,0	-	7,80	3750	-	-	Doméstica	Trabalho de campo
P1	Poço	3,30	7,00	8,24	6800	1,55	+1,75	Abandonado	Trabalho de campo
P2	Poço	13,80	13,00		-	Seco	(<)+0,80	Abandonado	Trabalho de campo
P3	Poço	7,60	9,30	8,26	3740	8,55	-0,95	Abandonado	Trabalho de campo
P4	Poço	4,50	5,40	7,70	3400	1,79	+2,71	Abandonado	Trabalho de campo
604/10	Furo	18,00	50,00	-	-	-	-	-	SNIRH
604/11	Furo	29,09	34,00	-	-	-	-	-	SNIRH
604/12	Furo	43,90	49,50	-	-	-	-	-	SNIRH
604/23	Poço	7,07	9,35	-	-	-	-	Monitorização	SNIRH (quantidade)
604/55	Poço	6,65	6,00	-	-	-	-	-	SNIRH
604/56	Poço	9,75	9,15	-	-	-	-	-	SNIRH



Sistema de Coordenadas: European Terrestrial Reference System (ETRS) 1989 - Portugal TM06  
Projeção: Transverse Mercator  
Datum; ETRS 1989; Origem N0.00; E0.00

1.500  
m

### Legenda

- Limite do Parque Ambiental
- Limite UE1

### Inventário

- Furo
- Poço

**Figura 31 - Localização dos pontos de água inventariados no âmbito do EIA.**

Dos catorze pontos de água que fazem parte do Inventário, seis resultaram da consulta da base de dados do SNIRH e, as restantes captações, foram identificados localmente no decorrer do referido trabalho de campo. Da totalidade de pontos, sete correspondem a furos verticais e sete a poços, um dos quais é um ponto de monitorização quantitativa do SNIRH.

Não se encontram registadas captações de abastecimento público, nem no interior nem na envolvente da área de intervenção. Do mesmo modo, não há registo de perímetros de proteção a qualquer captação na envolvente da área em estudo.

No interior do limite do projeto, os poços apresentam profundidades variáveis entre 5,0m e 13,0m e captam água no aquífero livre instalado nos sedimentos do Plistocénico. Os furos apresentam-se mais profundos, por exemplo o F3 com profundidade de 30,0m, captando água nas formações do Miocénico.

No que diz respeito à piezometria, só existem medições do NHE nos poços, apontando para a existência de um aquífero livre, superficial e com pouca produtividade, sendo que um dos poços se encontrava seco aquando da realização do trabalho de campo, podendo concluir-se que poderia estar a captar numa variação lateral do aquífero Plistocénico. Por falta de dados "*in situ*" não é possível tecer conclusões relativamente ao NHE do aquífero instalado nos calcários do Miocénico, mas, sem dúvida, o mesmo será mais profundo.

A escorrência subterrânea, de acordo com a avaliação da piezometria, aponta para um fluxo subterrâneo direcionado de norte para sul, no sentido do mar, tal como seria expectável.

Os parâmetros físico-químicos medidos "*in situ*" apontam para águas de tendência alcalina e salobras, com valores de condutividade elétrica muito elevados, muito acima de 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os dados recolhidos no campo, encontram-se de acordo com outros parâmetros de caracterização hidroquímica pontual, constantes na Folha C1 da Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia:

- resíduo seco  $\geq 1000\text{mg}/\text{l}$ ;
- dureza  $\geq 45^\circ\text{franceses}$ ;
- águas essencialmente cloretadas/sódicas, pontualmente podem apresentar-se bicarbonatadas/cálcicas sem iões e catiões dominantes;
- águas classificadas como "más" para uso doméstico e uso agrícola.

Informações orais obtidas no terreno, aquando da realização de recente trabalho de campo, referem que as captações foram abandonadas principalmente devido à fraca qualidade da água que, segundo os locais, era "muito salgada", o que indica uma possível interseção interface água doce/água salgada com penetração na cunha salina. Esta informação é concordante com alguma da bibliografia e cartografia consultada.

### 5.3 INVENTÁRIO DE FOCOS POLUENTES

A metodologia implementada para identificação de focos poluentes, seguiu um procedimento clássico que se baseia no posicionamento do foco poluente (efetivo ou potencial) em relação ao nível freático ou em relação ao aquífero propriamente dito.

Assim, em relação ao seu posicionamento, devem ser considerados os seguintes tipos de poluentes:

- tipo A – aqueles que se localizam à superfície do terreno;
- tipo B – aqueles que se localizam entre a superfície do terreno e a superfície freática (determinada em período de águas altas);
- tipo C – aqueles que se localizam abaixo da superfície freática (determinada em período de águas altas).

As diversas fontes potenciais de poluição dependem largamente da ocupação antrópica da superfície. As fontes diretas incluem, por exemplo, fugas dos coletores de esgotos, fossas sépticas, escoamento urbano, aterros, tanques de armazenamento, resíduos depositados na superfície, infiltração por águas superficiais contaminadas, fertilizantes, pesticidas, entre outros.

A área afeta ao projeto corresponde a um extenso terreno que, em termos genéricos, não apresenta grandes alterações na sua morfologia, em relação ao que seria a sua situação original. Na zona a SO, encontram-se as ruínas do designado Morgado das Relvas, que seriam instalações de apoio a antigas e extensas searas. Elemento indicador desta ocupação do solo serão os moinhos, também em ruínas, que se encontram na área. Pontualmente deparamo-nos com algumas vinhas abandonadas, indicando uma ocupação da superfície relacionada com atividade agrícola mais recente.

Aquando da realização do trabalho de campo, foi observado um rebanho numeroso que, no local, se deslocava pela área tirando partido das melhores zonas de pasto. A montante da Lagoa dos Salgados, nomeadamente na casa abandonada que pode ser identificada na cartografia, observam-se indícios da atividade de pastoreio, uma vez que a mesma é utilizada como curral. A NE, junto à estrada municipal M526, ainda se identifica a ETAR de Pêra, que foi desativada em 2010 e, neste momento, está em fase de demolição, encontrando-se os resíduos que daqui resultam depositados no local. De referir que esta ETAR, apesar de se localizar fora da área de intervenção, não pode deixar de ser tida como uma fonte de poluição para o aquífero local.

Um pouco por toda a área, principalmente junto aos caminhos, muitos deles circuláveis de carro, é possível observar lixo acumulado, principalmente resíduos associados à construção (tijolos, telhas, latas de tinta, resíduos de demolição, etc.) mas, também, resíduos de outras origens.

A área do projeto encontra-se implementada entre a ribeira de Alcantarilha que flui sensivelmente a poente e a ribeira de Espiche a nascente. As duas ribeiras apresentam problemas relacionados com a qualidade da água, o que facilmente é perceptível no local, quer pela observação visual quer pelo odor que

se faz sentir ao longo do percurso destas linhas de água. Não pode deixar de ser referido o empreendimento turístico dos Salgados que se situa a E da Lagoa dos Salgados, onde se encontra instalado um campo de golfe. Na envolvente imediata e intermédia da área não foram identificadas unidades industriais.

Para a área em análise e tendo em conta o exposto anteriormente podemos destacar genericamente as principais fontes de poluição dos aquíferos subterrâneos como sendo:

- Atividade Humana: correntemente identificada pela presença dos iões pertencentes ao ciclo do azoto, amónio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Na zona em estudo, apesar de existir saneamento, devido à dispersão de habitações, ainda há locais com fossas sépticas ou sumidouros. Deve ainda ser referido que, devido à afluência de pessoas em determinados períodos do ano tendo em conta a época balnear, deve ser considerada a possibilidade de os sistemas de tratamento funcionarem acima do limite da sua capacidade, facto que pode resultar em descargas não controladas ou mau funcionamento do sistema;
- Rede viária: a área afeta ao projeto desenvolve-se desde a linha de costa até à EM526 que faz a ligação de Albufeira a Armação de Pêra passando por Vale da Parra. Trata-se de uma via de comunicação com tráfego particularmente intenso na época balnear, sendo previsível que, com a implementação do projeto, o tráfego se torne ainda mais intenso. Conjuntamente com esta via de comunicação existem as restantes estradas municipais que ligam as diversas localidades na envolvente e ainda os caminhos, em terra batida, circuláveis por veículos que atravessam a área do projeto. Estas vias de comunicação são um potencial foco de contaminação difuso por hidrocarbonetos (combustíveis, óleos e gorduras) utilizados nos veículos. Associado a esta fonte de poluição devem ser considerados os parques de estacionamento que poderão ser locais de incremento, por derrames acidentais, de hidrocarbonetos no sistema aquífero;
- Atividade Industrial: na área considerada e na sua envolvente imediata não foram identificadas unidades industriais, estas ocorrem para montante, muito afastadas da área, junto à estrada nacional EN125;
- Agricultura: atualmente esta atividade é praticamente inexistente na área mas, no entanto, ainda se encontram pequenas culturas e vestígios dessa atividade num passado não muito distante; o principal foco de poluição são os nitratos introduzidos sob a forma de adubos; os pesticidas, apesar de serem muito utilizados, em princípio causarão apenas um efeito superficial, sem penetração significativa nos aquíferos profundos;
- Pastorícia: este tipo de poluição apresenta um carácter difuso, sendo responsável pela contaminação a partir da superfície de extensas áreas;
- Captações de água subterrânea: na área de intervenção existem poços e furos que foram sendo abandonados e/ou desativados devido à fraca qualidade da água quer para consumo humano, quer para uso agrícola. Estas captações (ou outras na envolvente), estando abandonadas e não

devidamente seladas, devem ser consideradas locais propícios à entrada de poluentes para o aquífero;

- Cunha salina: pela localização da área junto à linha de costa, pelo substrato geológico aqui ocorrente (e também pela consulta da bibliografia referente à região, apoiada pela informação recolhida junto dos habitantes locais), é possível concluir que a água subterrânea doce já se encontra sob influência da água salgada devido ao avanço, em profundidade da cunha salina, o que faz com que as águas subterrâneas fiquem salobras e sem qualidade para utilização, seja em uso doméstico e/ou uso agrícola. Trata-se de um processo, possivelmente, natural devido à elevação do nível médio das águas do mar, mas que pode ser potenciado pela extração de água subterrânea na zona.

Assim, tendo em conta a localização da área afeta ao projeto, bem como a sua envolvente imediata, intermédia e alargada, os potenciais focos poluentes foram distribuídos, de acordo com a sua posição em relação ao nível freático (A, B e C), tal como se apresenta na Tabela XXII.

**Tabela XXII - Fontes de poluição identificadas na área em estudo.**

ATIVIDADE / FONTE DE POLUIÇÃO	TIPOLOGIA DO POLUENTE
Edificação	A
Sistema de Saneamento	B
Infraestruturas de turismo (parque de campismo, bares de praia, etc.)	A, B
Fossas sépticas	B
ETAR	A, B
Lixeiras	A
Parques de estacionamento	A
Cemitérios	B
Atividade agrícola	A
Atividade pastorícia	A
Atividade industrial	A,B
Postos de combustível	A,B
Rede viária	A
Cunha salina	C

No ANEXO I - Inventário de Focos Poluentes, é possível observar a localização da área afeta ao projeto e a inventariação dos focos poluentes identificados no interior do perímetro em estudo, bem como na sua envolvente mais próxima.

## 5.4 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO

A vulnerabilidade à poluição reside na avaliação da facilidade com que um eventual poluente possa afetar os recursos hídricos subterrâneos. Um dos métodos mais utilizados para determinação da vulnerabilidade de uma massa de água subterrânea, nomeadamente em países como os Estados Unidos ou o Canadá, é o Índice DRASTIC. Devido à sua simplicidade e fácil aplicação, este índice torna-se uma ferramenta de grande utilidade na determinação da vulnerabilidade dos aquíferos. O Índice DRASTIC engloba sete parâmetros:

D – “Depth to water” – profundidade da água (nível hidrostático);

R – “net Recharge” – recarga por infiltração;

A – “Aquifer media” – características do meio aquífero;

S – “Soil media” – características do solo;

T – “Topography or slope” – topografia;

I – “Impact of the vadose zone media” – características da zona vadosa;

C – “Hydraulic Conductivity” – condutividade hidráulica no aquífero.

No cálculo do DRASTIC, cada um dos parâmetros, acima enunciados, contribui com um determinado peso, o qual reflete a sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade. Desta forma, os parâmetros que apresentam maior influência para a vulnerabilidade do aquífero serão aqueles aos quais é atribuído um maior peso. Assim, os parâmetros com maior peso são o parâmetro D (profundidade da água – nível freático) e o parâmetro I (caraterísticas da zona vadosa). Estes dois parâmetros influenciam em quase 50% o resultado final do índice. A cada um destes parâmetros, além do peso, deve-se atribuir um índice numérico que corresponde às características intrínsecas de cada local. Estes valores são obtidos a partir de tabelas publicadas, as quais estabelecem uma correspondência entre as características físicas, as características hidrogeológicas e o respetivo parâmetro.

A determinação do índice DRASTIC será efetuada para o aquífero instalado no substrato carbonatado do Miocénico mas, no entanto, serão tidas em conta as formações sedimentares mais recentes ocorrentes na região. No caso do local em estudo, assim como para a sua área envolvente, poderemos assumir as seguintes características para cada um dos parâmetros considerados no Índice DRASTIC:

D – profundidade da água: de acordo com os dados recolhidos, aquando da realização do Inventário Hidrogeológico, foi possível perceber que o nível hidroestático (NHE) encontra-se muito próximo da superfície. Foi inventariado um poço com água a 1,55m do solo e, noutro poço, o NHE encontrava-se a 8,55m abaixo do solo. Contudo, como se trata do aquífero superficial que é menos expressivo do que o aquífero profundo, vamos considerar que neste, o nível da água se encontrará a uma profundidade superior aos 8,55, medidos num dos poços. Assim, tendo em conta o atrás exposto podemos assumir, para este parâmetro, o índice 7 das tabelas DRASTIC;

R – recarga por infiltração: da consulta ao Atlas do Ambiente, para esta região onde a área do projeto se insere, a precipitação média anual corresponde a valores inferiores a 400 mm/ano. Admitindo que a porosidade das formações que aqui ocorrem, bem como a sua morfologia plana, permite uma infiltração efetiva no solo de aproximadamente 20% do valor da precipitação, passamos a ter um valor para a infiltração que será da ordem de 80mm, valor, mesmo assim, inferior ao apontado na bibliografia para o sistema aquífero de Ferragudo Albufeira. A este valor de infiltração pode ser atribuído o índice 3 nas tabelas DRASTIC;

A – características do meio aquífero: as características geológicas, do meio em que se desenvolve o aquífero mais profundo, correspondem às de uma formação constituída essencialmente por calcarenitos, à qual poderá corresponder o Índice 6. Ocorrem ainda pequenos aquíferos instalados nas areias e cascalheiras do Plistocénico para o qual será indicado um índice 8. Tendo em conta as fácies litológicas ocorrentes no local, parece-nos sensato usar um valor intermédio entre os dois considerados, ou seja, o índice 7 das tabelas DRASTIC;

S – características do solo: o tipo de solo existente na área em estudo vai ser tendencialmente arenoso, principalmente na zona SO, denotando a influência do cordão dunar, pelo que oferecerá uma textura fina a média de acordo com as observações efetuadas no campo. Na zona oriental, à medida que nos aproximamos da Lagoa dos Salgados, nota-se um aumento da componente argilosa. Localmente, a espessura do solo torna-se mais expressiva nas zonas atualmente agricultadas, ou que o foram no passado mas, no entanto, toda a faixa sul da área apresenta uma camada de solo pouco expressiva ou mesmo inexistente. Assim, tendo em consideração as características apresentadas, bem como as características do substrato geológico, poder-se-á atribuir, a este parâmetro, o índice 6 das tabelas DRASTIC;

T – topografia: os valores apresentados pelo declive da topografia apontam para um relevo muito aplanado que, em grande parte da área, é inferior a 2%. Assim, será sensato optar pelo índice 10 das tabelas DRASTIC;

I – características da zona vadosa: a zona vadosa apresenta características próprias, as quais permitem a sua classificação como sendo uma zona constituída essencialmente por areia e cascalho com alguma percentagem de silte e de argila. Pontualmente pode apresentar mistura de material de origem orgânica em resultado da atividade agrícola. A uma zona vadosa que apresente este tipo de características, pode ser atribuído o índice 6 das tabelas DRASTIC.

C – condutividade hidráulica no aquífero: a condutividade hidráulica, de acordo com a diversa bibliografia especializada já publicada, considerando as formações iniciais constituídas maioritariamente por uma fração arenosa, apresenta valores que poderão variar entre os 12m/dia e os 29m/dia; assim, de acordo com estes números, deve ser considerado o índice 4 para este parâmetro, tal como consta nas tabelas DRASTIC.

Com os valores numéricos obtidos, podemos agora calcular o valor do Índice DRASTIC (ID), de acordo com a seguinte fórmula:

$$ID = D (PxI) + R (PxI) + A (PxI) + S (PxI) + T (PxI) + I(PxI) + C (PxI)$$

Em que:

- ID – valor do Índice DRASTIC;
- D, R, A, S, T, I, e C – parâmetros que compõem o Índice;
- P – peso do parâmetro i;
- I – valor do índice do parâmetro i.

Na Tabela XXIII, abaixo, apresenta-se, relativamente a cada um dos parâmetros aqui analisados, o índice respetivo assim como o peso que lhe é atribuído nas tabelas DRASTIC. Desta forma, é possível, com base no cálculo do Índice DRASTIC, obter um valor para a vulnerabilidade deste local.

**Tabela XXIII – Cálculo do Índice DRASTIC.**

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS	ÍNDICE (I)	PESO (P)	TOTAL (IxP)
D	NHE abaixo de 8,55m	7	5	35
R	80 mm/ano aproximadamente, que correspondem a 20% da precipitação	3	4	12
A	Calcarenitos do Miocénico e areias e cascalhos do plistocénico	7	3	21
S	Solo predominantemente arenoso com pequena percentagem de argila na zona da Lagoa dos Salgados	6	2	12
T	Declive inferior a 2%	10	1	10
I	Areia e cascalho com pequena percentagem de silte e argila	6	5	30
C	<4m/dia	4	3	12
<b>Valor do Índice DRASTIC</b>				<b>132</b>

De acordo com os resultados apresentados na Tabela XXIII, obteve-se o valor de 132 para o Índice DRASTIC tendo em conta o sistema aquífero instalado na área. Assim, a área apresenta um índice de vulnerabilidade à poluição que deve ser classificado como moderado.

O valor obtido encontra-se de acordo com as conclusões do EIA e com as indicações da bibliografia, nomeadamente com o PGRH das ribeiras do Algarve (2016).

## 5.5 PERIGOSIDADE

A perigosidade está associada à frequência de ocorrência de um determinado fenómeno e ao local onde este ocorre, ou seja, tem em conta uma probabilidade espacial e temporal. Define-se como a probabilidade de ocorrência de um processo, com um nível de intensidade ou gravidade determinado, num dado intervalo de tempo e num local específico.

Tendo em conta o projeto em análise identificam-se as principais ações que pela sua continuada repetição ao longo do tempo ou pela importância que assumem, poderão contribuir diretamente para a perigosidade associada ao projeto. No âmbito desta análise, a perigosidade em relação aos recursos hídricos subterrâneos será determinada tendo em conta cinco parâmetros. São eles:

- Uso de fertilizantes e fitofármacos no campo de golfe: a manutenção do campo de golfe e espaços verdes implicará a aplicação de fertilizantes e fitofármacos. O valor a atribuir a este parâmetro dependerá das propriedades dos produtos a aplicar, nomeadamente dos seus constituintes, do tempo de vida, da persistência, do manuseamento, do método, da forma, das quantidades e da época de aplicação. Sendo assim são criados três graus de valoração em relação ao uso de fertilizantes e fitofármacos: sem utilização de fitofármacos (0), com utilização moderada de fitofármacos (1) e com utilização intensiva de fitofármacos (2);
- Circulação de viaturas: na fase de construção, haverá um acréscimo de viaturas e máquinas a circular na área. Haverá camiões de transporte de solos (aterro e/ou desaterro), de matéria-prima e de resíduos. Ainda na fase de construção haverá permanentemente na área, um conjunto diversificado de máquinas de apoio à obra e ainda veículos de transporte de trabalhadores. Na fase de exploração, com o projeto turístico em atividade normal, haverá um acréscimo essencialmente de veículos de transporte dos hóspedes e trabalhadores e pontualmente de máquinas de apoio à manutenção. No campo de golfe haverá também circulação de veículos, possivelmente veículos elétricos. O valor a atribuir a este parâmetro dependerá essencialmente do tipo de veículos que serão permitidas na área (elétricos ou com motores de combustão), principalmente na fase de exploração que se desenvolve num período muito mais alargado no tempo que a fase de implementação do projeto. Para este parâmetro são apontados três graus de perigosidade tendo em conta o tipo de veículos e máquinas permitidas a circular no local: exclusivamente veículos elétricos (0), veículos elétricos e de combustão (1) e exclusivamente veículos de combustão (2);
- Plano de Gestão de Resíduos (PGR): o valor a atribuir a este parâmetro dependerá diretamente da existência, ou inexistência, dum plano de gestão de resíduos, adaptado e atualizado às

necessidades de cada uma das fases do projeto (construção, exploração e desativação). Sendo assim estabelecem-se os seguintes valores: existe PGR (0) e não existe PGR (1);

- Plano de Gestão da Água (PGA): a análise deste parâmetro no que se refere à perigosidade, é muito semelhante ao que se fez no caso do PGR. O valor a atribuir dependerá diretamente da existência, ou inexistência, dum plano que contemple o uso da água superficial e subterrânea, bem como outras origens da água, tendo em conta as necessidades do projeto ao longo das diferentes fase de implementação. Desse modo, fixam-se os seguintes valores: existe PGA (0) e não existe PGA (1);
- Histórico da Área: este parâmetro terá em conta a ocupação da área de intervenção ao longo do tempo, que poderá estar na origem dum acréscimo continuado de carga poluente para o aquífero. Quanto mais marcada for a alteração do terreno, quanto mais distante da situação original estiver a ocupação atual da superfície, mais elevado será o valor da perigosidade associada. Sendo assim estabelecem-se os seguintes valores para este parâmetro: área virgem sem qualquer tipo de utilização no passado (0), área com agricultura não intensiva (1), área com edificações dispersas (2), área com outras atividades poluentes dispersas (3), área com agricultura intensiva (4) e área com atividade industrial (5).

Encontrando-se definida a forma de valorar os diferentes parâmetros a considerar na análise da perigosidade, deve ser atribuído a cada um deles, um peso ponderado, tendo em conta a sua importância no âmbito do cálculo que se pretende fazer. Deste modo sugere-se a seguinte ponderação:

- |   |     |
|---|-----|
| - Uso de fertilizantes e fitofármacos no campo de golfe - | 45% |
| - Circulação de viaturas -                                | 15% |
| - Plano de Gestão de Resíduos (PGR) -                     | 15% |
| - Plano de Gestão da Água (PGA) -                         | 15% |
| - Histórico da Área -                                     | 10% |

Assim, a Perigosidade pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Perigosidade} = \sum PPI \times VPI$$

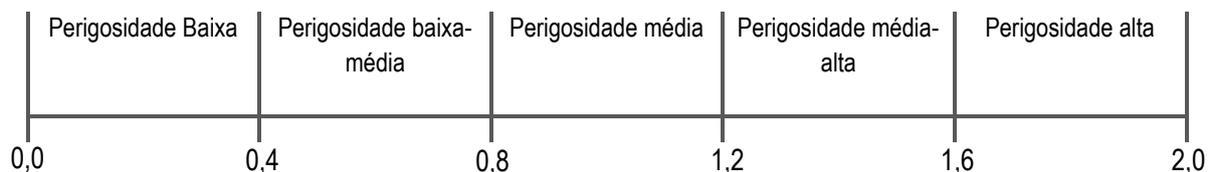
em que:

PPI - peso do parâmetro i

VPI - valor do parâmetro i

De acordo com os valores máximos e mínimos atribuídos a cada parâmetro, conjugado com o peso ponderado respetivo, a perigosidade variará desde um mínimo de zero, até um valor máximo de 2,0, pelo que será possível definir os seguinte graus de perigosidade (ver Figura 32):

- [0 ; 0,4] - Perigosidade baixa;
- ]0,4 ; 0,8] - Perigosidade baixa-média;
- ]0,8 ; 1,2] - Perigosidade média;
- ]1,2 ; 1,6] - Perigosidade média-alta;
- ]1,6 ; 2,0] - Perigosidade alta.



**Figura 32 - Classificação dos graus de Perigosidade.**

Tendo em conta as características do projeto em análise e os parâmetros definidos anteriormente, o cálculo da perigosidade encontra-se na Tabela XXIV.

**Tabela XXIV - Cálculo da Perigosidade do projeto.**

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS	PPi	VPI	(PPi x VPI)
Uso de fertilizantes e fitofármacos no campo de golfe	Na ausência de outras informações, considera-se que a utilização de fertilizantes e fitofármacos corresponderá a uma utilização moderada	0,45	1	0,45
Circulação de viaturas	Sem dúvida que considerando toda a área do empreendimento, iremos ter a circular quer viaturas elétricas e quer de combustão	0,15	1	0,15
Plano de Gestão de Resíduos	Decorrente da legislação, será criado um plano de gestão de resíduos que deve cobrir as diferentes fases do empreendimento	0,15	0	0,0
Plano de Gestão da Água	Na ausência de outras informações, devemos considerar que, mesmo não existindo, é de todo recomendável que Plano de Gestão da Água venha a ser criado e executado	0,15	0	0,0
Histórico da Área	Do trabalho de campo realizado, foram identificadas distintas atividades poluentes que nos levam a classifica-las como "outras atividades poluentes dispersas"	0,10	3	0,3
<b>TOTAL</b>				<b>0,9</b>

De acordo com os resultados apresentados na Tabela XXIV, obteve-se o valor de 0,9, valor que corresponde a uma perigosidade moderada.

## 5.6 RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO

O Risco de Contaminação do aquífero relaciona-se com a consideração sobre a possibilidade de ocorrência de acidentes, bem como das suas consequências para o ambiente, mais concretamente para o meio hídrico subterrâneo, relacionados com a execução do projeto ou com um acontecimento eventualmente externo.

O Risco de Contaminação resulta da conjugação da Vulnerabilidade com a Perigosidade, previamente determinadas, podendo ser qualitativamente avaliado tal como se apresenta na tabela/matriz que se ilustra seguidamente. Este risco pode ser escalonado em quatro níveis distintos, que assumem as seguintes designações:

- Risco Baixo;
- Risco Moderado;

- Risco Alto;
- Risco Extremo.

A aplicação do Índice DRASTIC, resultou no valor 132 que, qualitativamente, corresponde a um índice de vulnerabilidade à poluição que deve ser classificado como moderado.

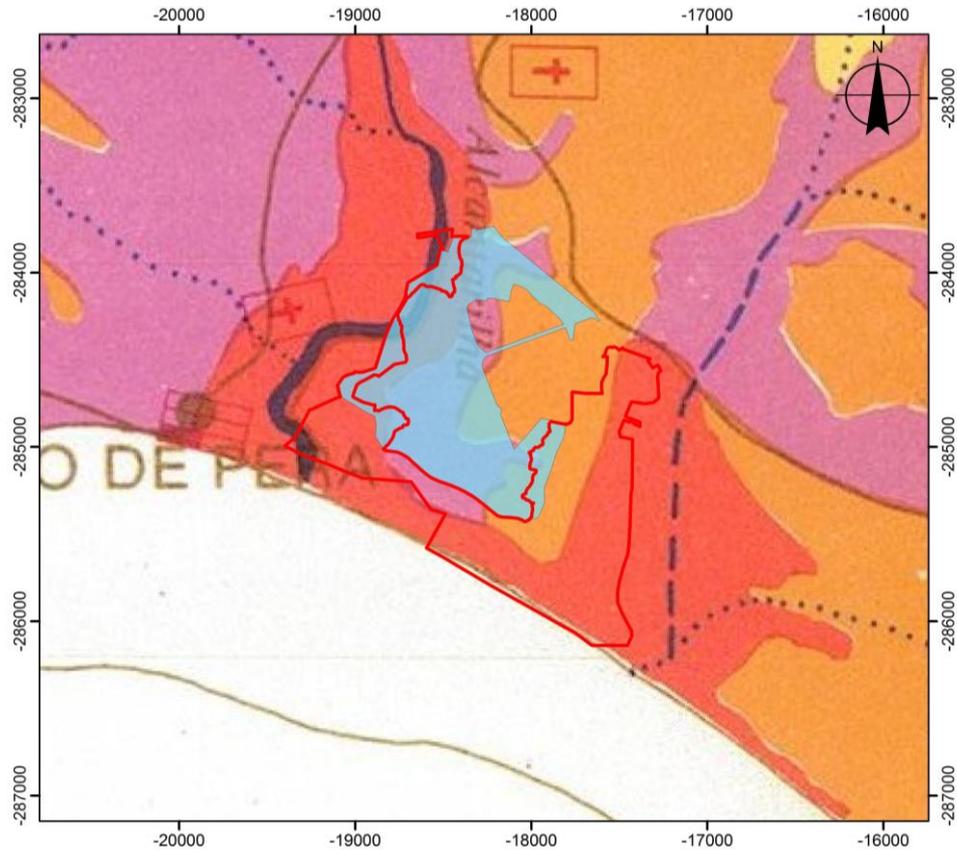
Por sua vez, a metodologia utilizada para o cálculo da perigosidade resultou no valor de 0,9 que, qualitativamente, corresponde a uma perigosidade moderada.

Assim, de acordo com a matriz de Risco de Contaminação apresentada na Tabela XXV, conjugando os atributos da perigosidade com os da vulnerabilidade, o resultado aponta para um risco que deve ser classificado como Moderado no que diz respeito à contaminação das águas subterrâneas.

**Tabela XXV - Matriz de Risco de Contaminação.**

		Vulnerabilidade				
		Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Perigosidade	Baixa	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado
	Baixa-Média	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo
	Média	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo
	Média-alta	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo
	Alta	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo

Na carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, mais concretamente na Folha B1 - Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos a área em estudo enquadra-se numa zona de risco classificado como alto para as formações aluvionares e carbonatadas e risco médio nos sedimentos do Plistocénico (ver Figura 33). Como, no nosso caso, se consideram os aquíferos instalados nestas formações como sendo os mais importantes, podemos afirmar que o resultado obtido está de acordo com o que se encontra na bibliografia.



Sistema de Coordenadas: European Terrestrial Reference System  
(ETRS) 1989 - Portugal TM06  
Projeção: Transverse Mercator  
Datum; ETRS 1989; Origem N0.00; E0.00

1.500  
m

**Legenda**

- Limite do Parque Ambiental
- Limite UE1

FONTES DE CONTAMINAÇÃO	
<span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span>	Zonas urbanas com esgotos e fossas sépticas
<span style="border: 1px solid red; padding: 2px; text-align: center;">+</span>	Cemitério

RISCO DE CONTAMINAÇÃO	
ALTO	<span style="background-color: purple; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação
MÉDIO A ALTO	<span style="background-color: pink; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta
ALTO	<span style="background-color: orange; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial
MÉDIO	<span style="background-color: yellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial
MÉDIO A BAIXO	<span style="background-color: lightgreen; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em rochas carbonatadas
BAIXO E VARIÁVEL	<span style="background-color: lightblue; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Aquíferos em rochas fissuradas
MUITO BAIXO	<span style="background-color: lightyellow; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Inexistência de aquíferos

**Figura 33 - Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, Folha B1 - Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos, à escala original 1/100000, com área de implantação do projeto.**

## 6 RISCO DE INUNDAÇÃO

Pretende-se caracterizar, do ponto de vista dos recursos hídricos superficiais (fluviais, lagunares e marítimos), em particular no que diz aos aspetos quantitativos, a área afeta ao projeto.

Esta caracterização compreende:

- Caracterização geral da rede hidrográfica;
- Estudo dos caudais de cheia;
- Estudo das áreas inundadas na área da UE1.

Os desenvolvimentos apresentados tiveram como base os seguintes elementos:

- As folhas nº 586, 587, 595, 596, 604 e 605 da Carta Militar de Portugal, à escala 1: 25.000;
- Folha n.º 52-B da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 e respetiva Notícia Explicativa;
- Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) das ribeiras do Algarve;
- Dados disponibilizados no site do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH);
- Curvas IDF, para fenómenos extremos de precipitações intensas em Portugal Continental, publicadas pela Direção dos Serviços de Recursos Hídricos;
- Curvas IDF do Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto;
- Tabelas de Marés para o ano de 2017, publicadas pelo Instituto Hidrográfico, para Portugal Continental e Arquipélagos dos Açores e da Madeira;
- Previsão de marés dos Portos Principais de Portugal, disponibilizados no site da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa;
- Carta da REN, publicada pela CCDR do Algarve;
- Levantamento Topográfico do Projeto de Reparcelamento da UE1 do Plano de Pormenor da Praia Grande.

## 6.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA REDE HIDROGRÁFICA

A área da UE1 reparte-se entre as bacias hidrográficas da ribeira de Alcantarilha e de Espiche, a poente e a nascente, respetivamente (ver Desenhos 01 e 02 – Bacias hidrográficas). A primeira destas ribeiras constitui, numa extensão de cerca de 300m, parte do limite poente da UE1. Por outro lado, localizada a nascente, a ribeira de Espiche é completamente exterior à UE1. No interior da área da UE1 não se encontra qualquer talvegue definido no terreno.

Situando-se a UE1 próximo da linha de costa (a cerca de 400 m, no ponto mais próximo), as ribeiras referidas encontram-se, nesta zona, próximo da sua foz, a qual, em ambos os casos, se encontra interrompida por um cordão arenoso criado pelo transporte litoral de sedimentos devido à ação do mar.

A presença do cordão arenoso favorece a manutenção de zonas húmidas junto da secção terminal das duas linhas de água: o sapal de Pêra, junto à foz da ribeira de Alcantarilha e a Lagoa dos Salgados, junto à foz da ribeira de Espiche.

Os limites da UE1 aproximam-se destas zonas húmidas nos extremos poente (sapal de Pêra) e sueste (Lagoa dos Salgados).

Na Tabela XXVI apresentam-se as características gerais das bacias hidrográficas e das ribeiras de Alcantarilha e de Espiche, evidenciando-se a diferença de escala existente entre ambas.

**Tabela XXVI – Características gerais das bacias hidrográficas e das ribeiras de Alcantarilha e Espiche.**

	BACIA HIDROGRÁFICA			LINHA DE ÁGUA PRINCIPAL				
	ÁREA TOTAL (km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (km)	COTA MÁXIMA (m)	CLASSIFICAÇÃO DECIMAL	EXTENSÃO (km)	COTA DA NASCENTE (m)	COTA DA SECÇÃO EM ESTUDO (m)	DECLIVE MÉDIO (%)
<b>RIBEIRA DE ALCANTARILHA</b>	206,5	92,7	348	534	33,4	270	1,00	0,81
<b>RIBEIRA DE ESPICHE</b>	29,8	27,5	116	533	9,8	90	1,00	0,91

Fonte: Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal (DGRAH, 1981), PGBH RH8 (ARH Algarve, 2012)

Função desta diferença de escala, a ribeira de Alcantarilha é um curso de água permanente (ainda que com acentuada variação sazonal no seu regime hidrológico), enquanto a ribeira de Espiche é um curso de água sazonal.

Na versão preliminar do PGBH da Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (ARH Algarve, 2012) são apresentados valores unitários de escoamento mensal em ano médio relativos às bacias hidrográfica do sotavento, que incluem as ribeiras de Alcantarilha e de Espiche.

Aplicando estes valores às secções terminais destas ribeiras (sapal de Pêra e Lagoa dos Salgados), estimam-se os escoamentos mensais que se apresentam na Tabela XXVII.

**Tabela XXVII – Escoamento mensal afluyente à secção terminal das ribeiras de Alcantarilha e Espiche.**

	ESOAMENTO MENSAL (hm <sup>3</sup> )												Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<b>RIBEIRA DE ALCANTARILHA</b>	8,40	5,89	5,19	1,99	0,71	0,21	0,02	0,02	0,27	2,37	4,77	8,49	38,33
<b>RIBEIRA DE ESPICHE</b>	1,22	0,85	0,75	0,29	0,10	0,03	0,00	0,00	0,04	0,34	0,69	1,23	5,54

## 6.2 ESTUDO DOS CAUDAIS DE CHEIA

Os caudais de cheia foram estudados para cada uma das ribeiras, de Alcantarilha e de Espiche, tendo em conta as características já enunciadas anteriormente.

Tendo em conta a elevada quantidade de metodologias de cálculo dos caudais de cheia e a elevadíssima importância quanto à obtenção de valores fiáveis, isto fez com que no presente estudo tenham sido utilizadas variadas metodologias adotando-se o valor médio dos valores de caudal de cheia obtidos pelas formulações consideradas.

Os caudais foram calculados pela fórmula Racional:

$$Q = C \times I \times A$$

onde:

- Q – Caudal (m<sup>3</sup>/s)
- C – Coeficiente de escoamento (0,5)
- I – Intensidade de precipitação (mm/h)
- A – Área drenada (m<sup>2</sup>).

A intensidade de precipitação foi calculada recorrendo à formulação regulamentar do Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto.

$$I = a \times T^b$$

Sendo:

- I – Intensidade de precipitação (mm)
- T – Tempo de duração da chuvada (minutos)
- a e b – Parâmetros das curvas IDF.

Foi calculada a intensidade de precipitação teórica considerando uma chuvada com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Os parâmetros a e b da formulação anterior foram escolhidos considerando três situações distintas:

- i. Uma delas tendo em conta os parâmetros regulamentares das curvas de Intensidade, Duração e Frequência, (IDF) do Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto;
- ii. As outras duas foi tendo em conta os novos parâmetros a e b, para curvas IDF, publicados pela Direção de Serviços de Recursos Hídricos, em 2001, sob o título "Análise de fenómenos extremos de precipitações intensas em Portugal Continental". Para ao nosso caso em concreto, foram consideradas as Curvas IDT de Faro e de Monchique.

Deste modo, no presente estudo hidrológico, foi possível calcular diferentes intensidades de precipitação, para as diversas formulações do tempo de concentração, de modo a termos um leque variado de resultados.

No cálculo do tempo de concentração da bacia, as formulações utilizadas foram a fórmula de Ragan, a fórmula de Kirpich, a fórmula do Soil Consevation Service e a fórmula do Califórnia Highway and Public Works. Cada uma destas fórmulas são as que se apresentam de seguida:

- Fórmula de Ragan:

$$tc = \frac{0.93 L^{0.6} n^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}}$$

- Fórmula de Kirpich:

$$tc = 0.633 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

- Fórmula do Soil Consevation Service:

$$tc = \frac{0.42 (nL)^{0.8}}{(P2)^{0.5} S^{0.4}}$$

- Fórmula do Califórnia Highway and Public Works:

$$t_c = \left( 0.871 \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Em que:

Tc – Tempo de concentração (h)

L – Comprimento da linha de água principal (m)

I, i – Intensidade de precipitação (mm)

S, H – Inclinação média da linha de água

n – Coeficiente de rugosidade de Manning Strikler (0,025)

P2 – Precipitação ocorrida em 24 horas, para um período de retorno de 2 anos e uma duração de chuvada de 24 horas (mm).

Foram também consideradas no cálculo fórmulas empíricas e semi-empíricas, que nos permitiram estimar o caudal recorrendo apenas a alguns dados das bacias. Assim, foi utilizada a fórmula de Loureiro:

$$Q_p = C_l \times A_b^Z$$

Sendo:

Qp – Caudal de ponta de cheia (m3/s)

CL e Z – Parâmetros regionais relacionados com o período de retorno

Ab – Área da bacia em km2.

E a fórmula de Mockus:

$$Q_p = \frac{0,277 \times K \times A_b \times P_U}{\sqrt{T_c + 0,6 \times T_c}} \quad \text{com} \quad T_r = 2 \times T_c^{(1/2)}$$

Sendo:

Qp – Caudal de ponta de cheia (m3/s)

Pu – precipitação útil (mm)

Ab – Área da bacia em km2

K – Factor de ponta da bacia hidrográfica

Tc – Tempo de concentração (h)

Tr - Duração da chuvada útil

Os resultados obtidos apresentam-se de seguida, Tabela XXVIII a Tabela XXXIV.

**Tabela XXVIII – Cálculo do tempo de concentração para a Ribeira de Alcantarilha.**

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA					
<b>Fórmula de Ragan</b>			<b>Fórmula de Kirpich</b>		
$t_c = \frac{0.93 L^{0.6} n^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}}$	min	490,51	$t_c = 0.0633 \frac{L^{0.77}}{I^{0.385}}$	h	6,04
	h	8,18		min	362,31
<b>Fórmula de S.C.S.</b>			<b>Fórmula de C.H.P.W.</b>		
$t_c = \frac{0.42(nL)^{0.8}}{(P2)^{0.5} S^{0.4}}$	min	957,37	$t_c = \left(0.871 \frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$	h	6,33
	h	15,96		min	379,82
					<b>Tc médio</b>
					Minutos
					<b>547,50</b>

**Tabela XXIX – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Alcantarilha. Método Racional.**

CAUDAIS DE CALCULO (Q=C.I.A)							
Curvas IDF do Regulamento – Zona A							
Período de retorno		Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios
2	a	202,720	I (mm/h) 5,68	3,86	6,77	6,58	5,72
	b	-0,577	Q (m <sup>3</sup> /s) 162,93	110,77	194,05	188,84	164,15
5	a	259,260	I (mm/h) 7,97	5,47	9,45	9,20	8,03
	b	-0,562	Q (m <sup>3</sup> /s) 228,67	157,03	271,11	264,01	230,21
10	a	290,680	I (mm/h) 9,69	6,71	11,44	11,15	9,75
	b	-0,549	Q (m <sup>3</sup> /s) 277,89	192,49	328,17	319,77	279,58
20	a	317,740	I (mm/h) 11,34	7,91	13,34	13,01	11,40
	b	-0,538	Q (m <sup>3</sup> /s) 325,18	226,92	382,74	373,14	326,99
50	a	349,540	I (mm/h) 13,60	9,58	15,94	15,55	13,67
	b	-0,524	Q (m <sup>3</sup> /s) 390,13	274,81	457,25	446,08	392,07
100	a	365,620	I (mm/h) 15,71	11,19	18,32	17,89	15,78
	b	-0,508	Q (m <sup>3</sup> /s) 450,61	320,82	525,57	513,12	452,53
							<b>Caudais adoptados</b>
							100 Anos <b>510,12</b>
Curvas IDF de Faro, para precipitações intensas em Portugal Continental, válidas entre 6 e 48 horas de duração – INAG							
Período de retorno		Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios
100	a	1112,600	I (mm/h) 12,62	7,78	15,71	15,18	12,82
	b	-0,723	Q (m <sup>3</sup> /s) 361,92	223,17	450,55	435,43	367,77
500	a	1382,100	I (mm/h) 11,57	6,90	14,62	14,10	11,80
	b	-0,772	Q (m <sup>3</sup> /s) 331,88	198,04	419,32	404,31	338,39
1000	a	1497,900	I (mm/h) 17,09	10,55	21,27	20,56	17,37
	b	-0,722	Q (m <sup>3</sup> /s) 490,29	302,52	610,16	589,71	498,17
							<b>Caudais adoptados</b>
							500 Anos <b>653,89</b>
Curvas IDF de Monchique, para precipitações intensas em Portugal Continental, válidas entre 6 e 48 horas de duração – INAG							
Período de retorno		Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios
100	a	4923,700	I (mm/h) 25,74	14,60	33,28	31,97	26,40
	b	-0,848	Q (m <sup>3</sup> /s) 738,31	418,74	954,58	917,11	757,19
500	a	6783,500	I (mm/h) 32,92	18,52	42,72	41,02	33,80
	b	-0,860	Q (m <sup>3</sup> /s) 944,31	531,30	1225,36	1176,60	969,39
1000	a	7594,200	I (mm/h) 35,96	20,18	46,71	44,85	36,92
	b	-0,864	Q (m <sup>3</sup> /s) 1031,29	578,69	1339,85	1286,29	1059,03
							<b>Caudais adoptados</b>
							1000 Anos <b>778,60</b>

**Tabela XXX – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Alcantarilha. Fórmula de Loureiro.**

FÓRMULA DE LOUREIRO			
$Q_p = C \times A b^Z$	Ab (km <sup>2</sup> )	206,513	
Qp – Caudal de ponta de cheia (m <sup>3</sup> /s)	CL	7,090	100 anos
CL e Z – Parâmetros regionais relacionados com o período de retorno	Z	0,784	S1
Ab – Área da bacia em km <sup>2</sup>	Qp (m <sup>3</sup> /s)	462,98	

Tabela XXXI – Cálculo do tempo de concentração da Ribeira de Espiche.

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA						
<b>Fórmula de Ragan</b>			<b>Fórmula de Kirpich</b>			
$t_c = \frac{0.93 L^{0.6} r^{0.6}}{I^{0.4} S^{0.3}}$	min	180,89	$t_c = 0.0633 \frac{L^{0.77}}{I^{0.385}}$	h	2,23	
	h	3,01		min	133,77	
<b>Fórmula de S.C.S.</b>			<b>Fórmula de C.H.P.W.</b>			
$t_c = \frac{0.42 (rL)^{0.8}}{(P2)^{0.5} S^{0.4}}$	min	340,03	$t_c = \left(0.871 \frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$	h	2,34	
	h	5,67		min	140,24	
<b>Tc médio</b>						
					Minutos	<b>198,73</b>

Tabela XXXII – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Método Racional.

CAUDAIS DE CALCULO (Q=C.I.A)								
Curvas IDF do Regulamento – Zona A								
Período de retorno	Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios		
2	a	202,720	I (mm/h)	10,10	7,02	12,02	11,70	10,21
	b	-0,577	Q (m³/s)	41,82	29,06	49,77	48,44	42,27
5	a	259,260	I (mm/h)	13,97	9,80	16,55	16,11	14,11
	b	-0,562	Q (m³/s)	57,82	40,55	68,51	66,71	58,40
10	a	290,680	I (mm/h)	16,75	11,85	19,77	19,27	16,91
	b	-0,549	Q (m³/s)	69,36	49,05	81,86	79,76	70,01
20	a	317,740	I (mm/h)	19,39	13,81	22,81	22,24	19,56
	b	-0,538	Q (m³/s)	80,28	57,17	94,43	92,06	80,98
50	a	349,540	I (mm/h)	22,94	16,48	26,87	26,21	23,13
	b	-0,524	Q (m³/s)	94,98	68,23	111,25	108,53	95,75
100	a	365,620	I (mm/h)	26,08	18,92	30,40	29,68	26,27
	b	-0,508	Q (m³/s)	107,97	78,35	125,85	122,87	108,76
							<b>Caudais adoptados</b>	
							100 Anos	<b>128,16</b>
Curvas IDF de Faro, para precipitações intensas em Portugal Continental, válidas entre 30 minutos e 6 horas de duração – INAG								
Período de retorno	Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios		
100	a	921,510	I (mm/h)	25,26	16,32	31,12	30,12	25,70
	b	-0,692	Q (m³/s)	104,57	67,56	128,85	124,70	106,42
500	a	1153,800	I (mm/h)	31,46	20,31	38,78	37,53	32,02
	b	-0,693	Q (m³/s)	130,25	84,10	160,54	155,37	132,56
							<b>Caudais adoptados</b>	
							500 Anos	<b>191,06</b>
1000	a	1253,600	I (mm/h)	34,00	21,94	41,92	40,57	34,61
	b	-0,694	Q (m³/s)	140,78	90,85	173,57	167,98	143,29
Curvas IDF de Monchique, para precipitações intensas em Portugal Continental, válidas entre 30 minutos e 6 horas de duração – INAG								
Período de retorno	Parâmetros	Ragan	S.C.S	Kirpich	CHPW	Valores médios		
100	a	522,310	I (mm/h)	47,07	35,14	54,13	52,96	47,32
	b	-0,463	Q (m³/s)	194,88	145,50	224,10	219,25	195,93
500	a	635,090	I (mm/h)	59,98	45,03	68,78	67,32	60,28
	b	-0,454	Q (m³/s)	248,31	186,44	284,76	278,72	249,56
1000	a	683,800	I (mm/h)	65,59	49,34	75,15	73,57	65,91
	b	-0,451	Q (m³/s)	271,55	204,28	311,14	304,58	272,89
							<b>Caudais adoptados</b>	
							1000 Anos	<b>208,09</b>

**Tabela XXXIII – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Fórmula de Loureiro.**

FÓRMULA DE LOUREIRO			
$Q_p = C \times A b^2$	Ab (km <sup>2</sup> )	29,809	
Qp – Caudal de ponta de cheia (m <sup>3</sup> /s)	CL	7,090	100 anos
CL e Z – Parâmetros regionais relacionados com o período de retorno	Z	0,784	S1
Ab – Área da bacia em km <sup>2</sup>	Qp (m <sup>3</sup> /s)	101,52	

**Tabela XXXIV – Cálculo do caudal de cheia da Ribeira de Espiche. Fórmula de Mockus.**

FÓRMULA DE MOCKUS			
$Q_p = \frac{0,277 \times K \times A b \times P U}{\sqrt{T_c + 0,6 \times T_c}}$	$T_r = 2 \times T_c^{1/2}$	Ab (km <sup>2</sup> )	29,809
Qp – Caudal de ponta de cheia (m <sup>3</sup> /s)		Tc	3,31 < 4 horas OK
Pu – precipitação útil (mm)		Tr	3,640
Ab – Área da bacia em km <sup>2</sup>		Pu(100)	47,144
K – Factor de ponta da bacia hidrográfica		K	1,00
Tc – Tempo de concentração (h)		Qp (m <sup>3</sup> /s)	95,13

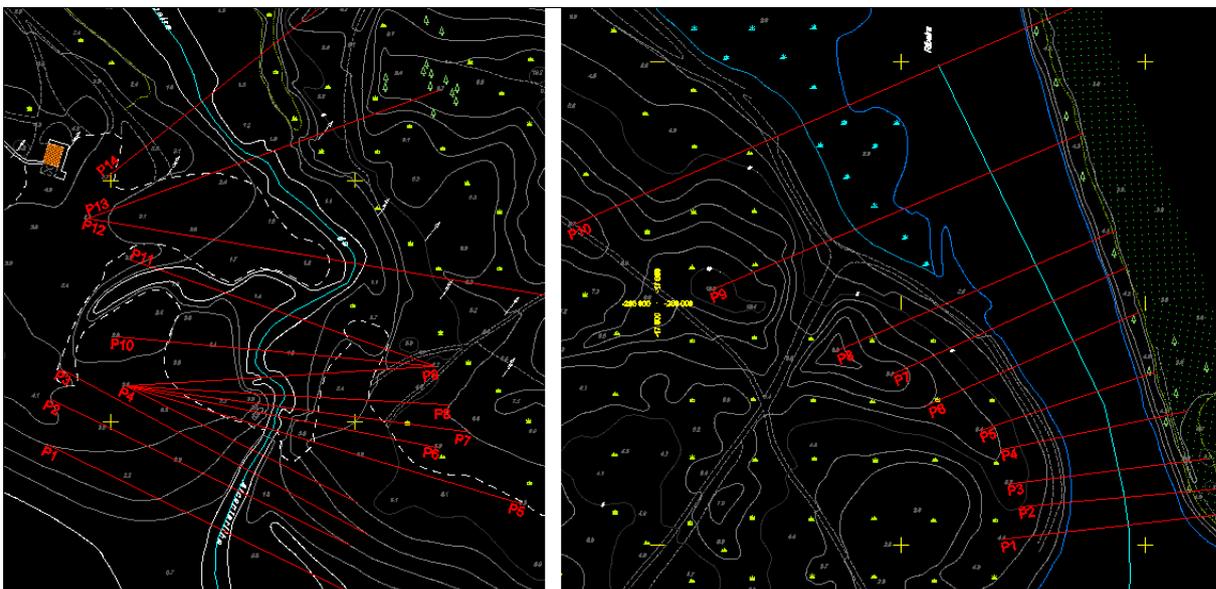
### 6.3 ESTUDO DAS ÁREAS INUNDADAS NA ÁREA DA UE1.

Após a determinação dos caudais de cheia, que se consideram representativos das bacias, calcula-se o regime hidrodinâmico do escoamento em programa de cálculo automático para as secções finais da Ribeira de Alcantarilha e da Ribeira de Espiche.

Serão analisadas as cotas de cheia tendo em conta o escoamento dos caudais de cheia, considerando quer os constrangimentos das secções de vazão quer a influência das marés que, neste caso, apenas para a Ribeira de Alcantarilha.

As cotas de cheia foram simuladas a partir de cálculo efetuado pelo software HEC-RAS versão 4.1.0., considerando também as especificidades deste projeto.

Na Figura 34 evidenciam-se os diversos perfis, considerados na modelação das ribeiras de Alcantarilha e de Espiche, utilizados no programa de cálculo HEC-RAS.



**Figura 34 - Vista 2D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS. Ribeira de Alcantarilha e Ribeira de Espiche.**

A metodologia de cálculo do programa utilizado HEC RAS, encontra-se descrita exhaustivamente no manual que é de livre acesso em <http://www.hec.usace.army.mil/>. Resumem-se, nos parágrafos seguintes, os pontos mais importantes.

Em regimes uniformes, pode dizer-se que o procedimento de cálculo é baseado na solução da equação de energia uni-dimensional. As perdas de energia são avaliadas por atrito, equação de Manning, e pela contração/expansão, coeficiente multiplicado pela mudança na velocidade da cabeça do escoamento.

A equação de Navier-Stokes, impulso, pode ser usada em situações em que o perfil da superfície da água é rapidamente variado. Estas situações incluem cálculos de regime de fluxo misto, ou seja, ressaltos hidráulicos.

No caso de regimes não uniformes, tal como o caso presente, esta componente do sistema de modelagem HEC-RAS é capaz de simular um fluxo instável por meio de variáveis uni-dimensionais, adaptado a partir do modelo UNET de Robert L. Barkau (Barkau, 1992 e HEC, 1997).

A componente de fluxo não uniforme foi desenvolvida principalmente para cálculos de fluxo de regime sub-crítico. No entanto, com o lançamento das versões mais recentes que a 3.1, o modelo permite realizar cálculos em regime de fluxo misto, super-críticos, saltos hidráulicos sub-críticos e quedas, adequando o tipo de regime automaticamente a cada secção, pela consideração do respetivo número de Froude.

Para além da modelação das secções de escoamento foi também considerado no cálculo a influência das marés que, no caso da ribeira de Alcantarilha, é bastante relevante uma vez que, nas secções mais próximas da foz, as marés têm influência e fazem variar o nível de água.

Assim, simulou-se no cálculo que os caudais de cheia ocorreriam em simultâneo com situações de Preia-mar de Águas Vivas ou Preia-mar Máxima Astronómica, cujos valores são os que se apresentam na tabela a seguir.

**Tabela XXXV – Tabela de marés para a preia-mar.**

	Porto de Lagos <sup>(1)</sup>	Lisboa_FCUL <sup>(2)</sup>
Preia-mar máxima astronómica	(+3,74m) ZH	(+4,30m) ZH
Preia-mar média de águas vivas (PMAV)	(+3,48m) ZH	(+3,98m) ZH
Nível Médio	(+2,00m) ZH	(+2,36m) ZH

(1) – Tabela de Marés do Instituto Hidrográfico.

(2) – Tabela de Médias e Valores Extremos de Marés da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

No caso da ribeira de Espiche, as marés não têm influência na determinação da cota de cheia, uma vez que se verificou que o cordão dunar não permite que as marés tenham influência nesta ribeira. De acordo como levantamento topográfico, a ribeira de Espiche desagua ou tem a sua foz na lagoa dos Salgados e a suas margens estão à cota de, aproximadamente, 2,5m ou seja, acima das cotas de influência das marés.

A relação entre as cotas topográficas e o zero hidrográfico é variável em função do local de medição das marés. A cota Zero é a que corresponde ao Nível Médio das Águas do mar.

Uniformizando a cota da maré máxima com a topografia esta cota máxima assume o valor de 4,30m-2,36m =1,94m.

A Figura 35 e a Figura 36 pretendem representar os modelos de cálculo utilizados pelo programa automático.

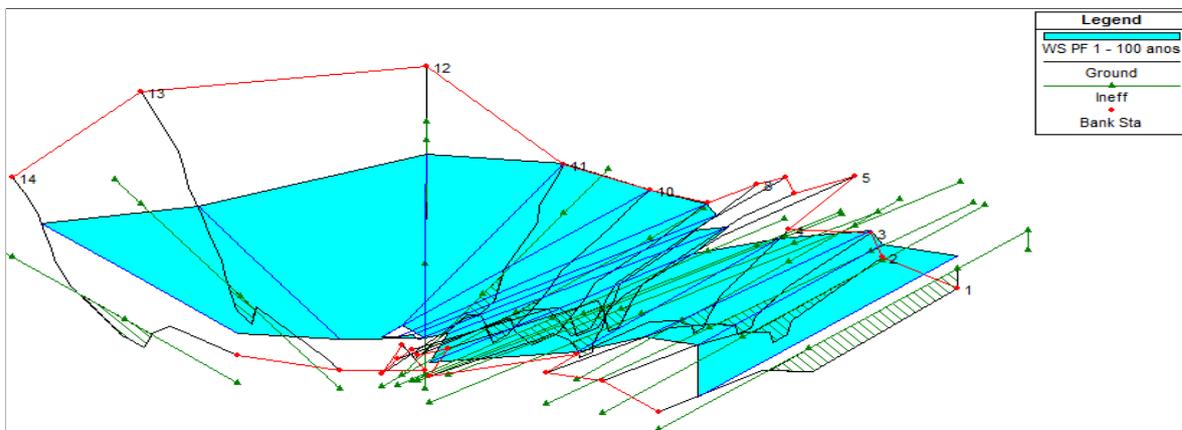


Figura 35 - Vista 3D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS, para a Ribeira de Alcantarilha.

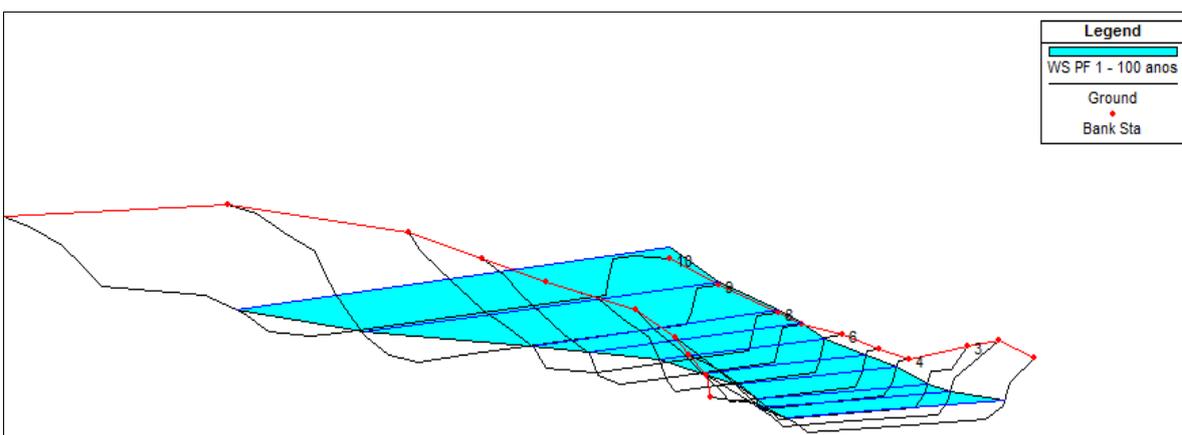


Figura 36 - 3D da modelação do programa de cálculo HEC-RAS para a ribeira de Espiche.

Os resultados referentes às secções que correspondem aos açudes existentes e respetivas albufeiras são as que se apresentam na Figura 37 e na Figura 38.

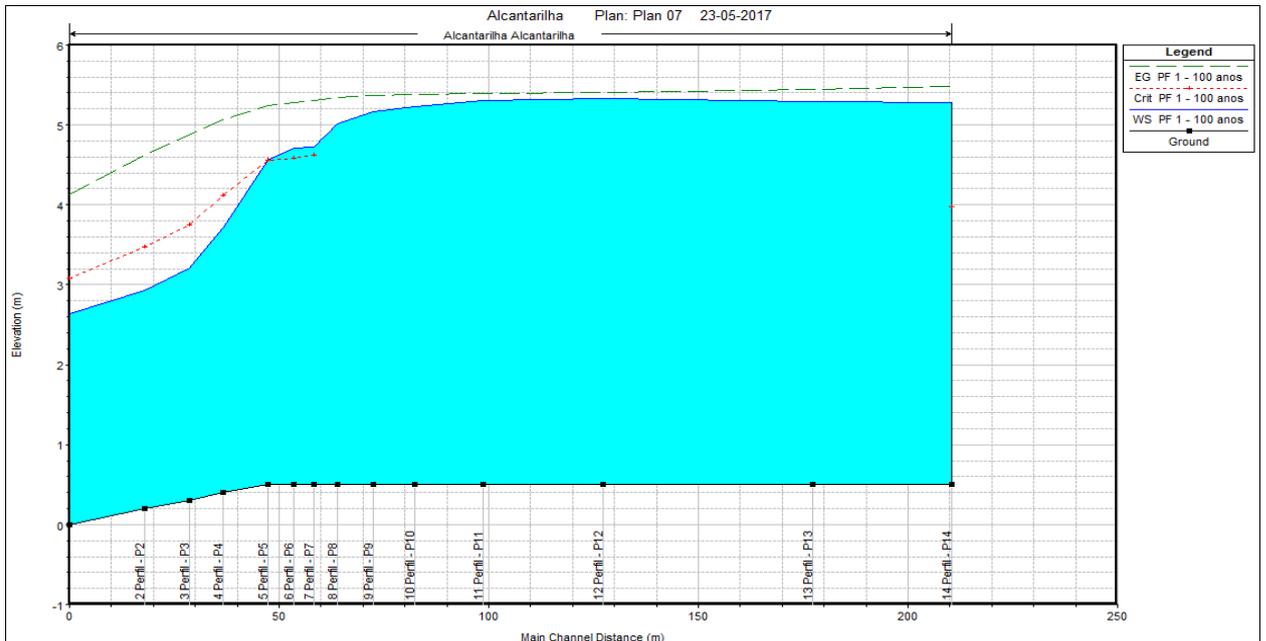


Figura 37 - Perfil longitudinal do escoamento para a Ribeira de Alcantarilha.

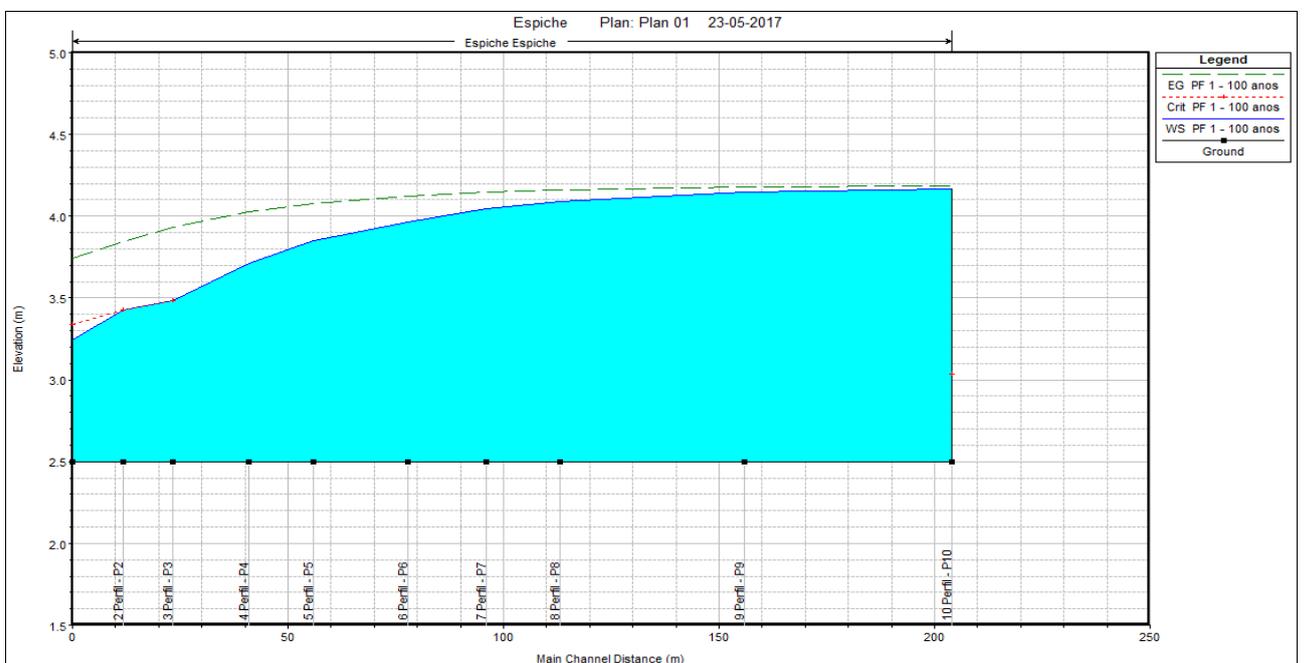


Figura 38 - Perfil longitudinal do escoamento para a Ribeira de Espiche.

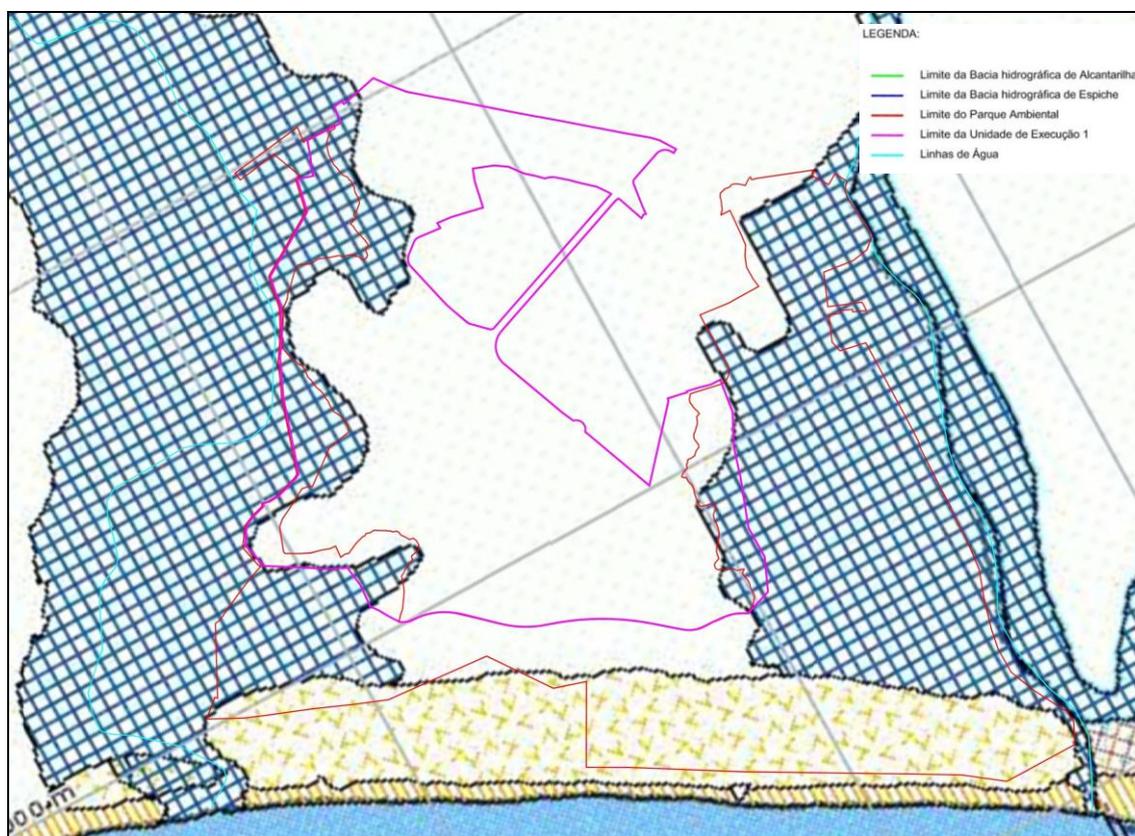
A simulação de diferentes níveis de marés, tomando em consideração diferentes medições, pretende verificar, de modo conservativo, se há influências significativas no regime de escoamento (marés vivas, mortas ou astronómica) e, conseqüentemente, da cota de cheia da ribeira de Alcantarilha.

Verificou-se que a influência dos níveis de marés considerados são de segunda ordem, isto é, as diferenças de níveis nas marés da ordem dos 40 a 50 centímetros, traduzem-se em aumento dos níveis de cheia de aproximadamente 3 a 4 centímetros.

Deste modo, pelo exposto anteriormente e tendo em conta o intervalo de valores calculados, as cotas de cheia obtidas são 5,40m, para a Ribeira de Alcantarilha e de 4,20m, para a Ribeira de Espiche, na zona considerada.

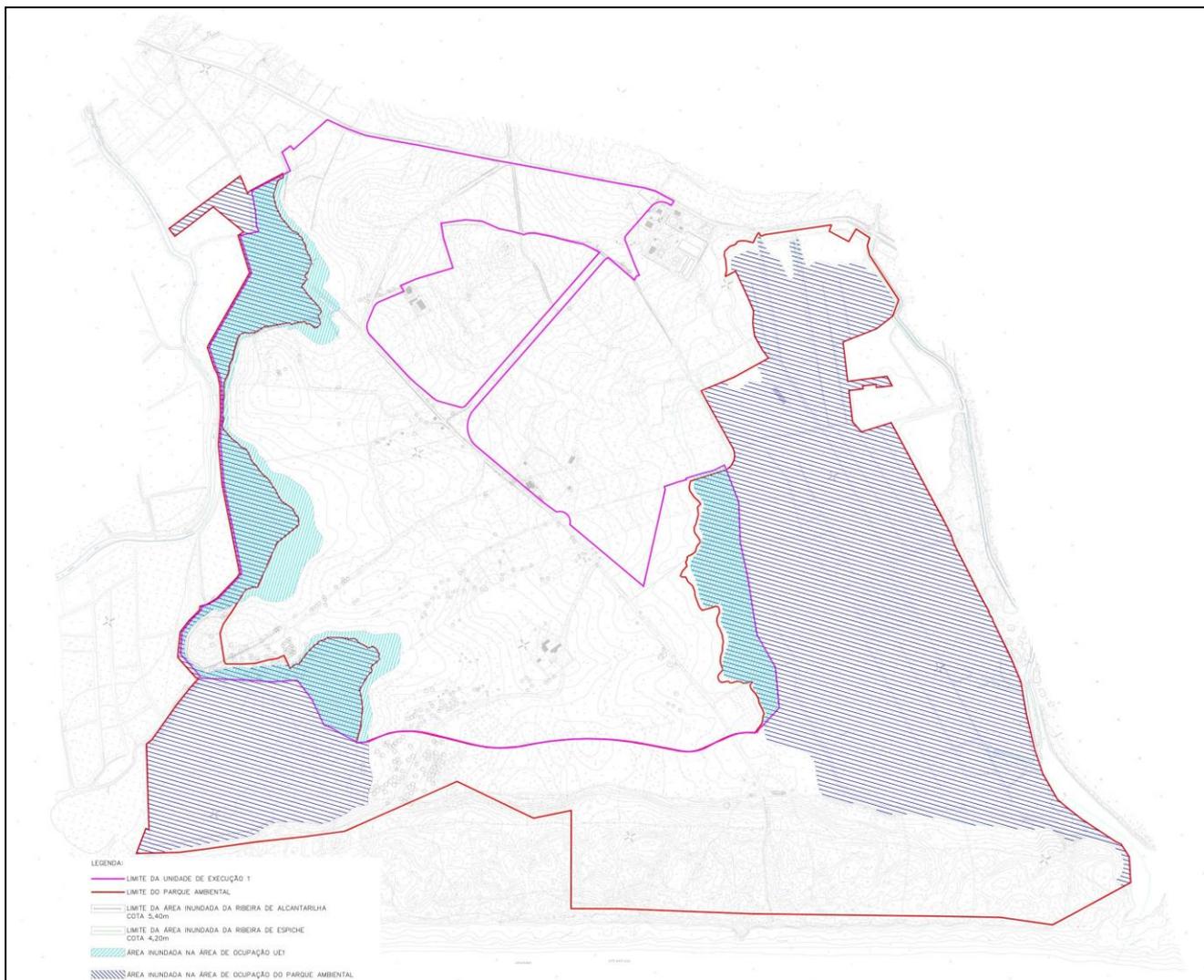
## 6.4 ÁREAS INUNDADAS OU INUNDÁVEIS NA ÁREA EM ESTUDO

Na análise das áreas inundadas, ou suscetíveis de inundação, na área de implantação da UE1 e do Parque Ambiental, foram consideradas duas situações distintas. Uma tendo em conta as áreas inundadas previstas na carta da REN e, outra, tendo em conta as áreas inundadas obtidas pelo cálculo das cotas de cheia centenária. Assim, a Figura 39, com a sobreposição dos limites da UE1 na carta da REN, evidencia uma área inundável/inundada de aproximadamente 207.820,04m<sup>2</sup>, ou seja, um pouco mais do que 20ha. No que se refere ao Parque Ambiental a área inundável/inundada é aproximadamente 826.034,56m<sup>2</sup>.



**Figura 39 - Áreas inundadas ou inundáveis na área em estudo, em sobreposição com a Carta da REN.**

Considerando as cotas de cheia calculadas anteriormente, a Figura 40, com a sobreposição dos limites da UE1 no levantamento topográfico e com a delimitação das cotas de cheia, evidencia uma área inundada/inundável de aproximadamente 215.570,80m<sup>2</sup>, ou seja, um pouco mais do que os 20ha referidos anteriormente mas com um valor dentro da mesma ordem de grandeza. Quanto à área inundada/inundável no Parque Ambiental será de aproximadamente 898.776,49m<sup>2</sup>.



**Figura 40 - Áreas inundadas ou inundáveis na área em estudo em sobreposição com o levantamento topográfico.**

## 6.5 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO FUNCIONAMENTO HIDROLÓGICO DA ÁREA E POTENCIAL PRODUTIVO

A afluência de caudais elevados ou mesmo de ponta de cheia ao sapal de Pêra e à Lagoa dos Salgados traduz-se no alagamento de parte das margens destas massas de água, habitualmente secas.

Naturalmente, apenas em situação de cheia, ocorre abertura do sapal de Pêra e da Lagoa dos Salgados. Com efeito, a cota de barreira (cota de rompimento) da barreira arenosa é de cerca de 4,00m acima do nível médio das águas do mar. Em cada uma das zonas lagunares referidas, atingida esta cota, a barreira

arenosa rompe-se e forma-se um canal de rompimento que permite a descarga do excesso de água da lagoa para o mar. A barra volta a fechar, naturalmente, quando, diminuindo os caudais afluentes, o nível de água atinja o nível de equilíbrio (cota 3m), iniciando-se a colmatação da barra e repondo-se a barreira dunar. Estima-se que, naturalmente, em cada zona lagunar ocorreriam dois ou três rompimentos a cada 50 anos.

Se se considerasse apenas o relevo do cordão dunar, poderia considerar-se que a cota de 4m, seria o limite da zona inundável mas, no entanto, o estudo hidráulico veio demonstrar que a cota de cheia é superior e é dada pelo regime de escoamento no leito formado no cordão dunar até ao mar. A demarcação das zonas húmidas, em situação normal (não em situação de cheia), do sapal de Pêra e da Lagoa dos Salgados, e o limite da zona inundável associado, consta do Desenho "Síntese Fisiográfica" do Estudo Biofísico e de Condicionantes ao Uso Urbano-Turístico, SUNOP II – Praia Grande.

No entanto, devido à presença de ocupações humanas, a cotas inferiores a 4m na proximidade de ambas as áreas lagunares (área urbana de Armação de Pêra, junto ao sapal de Pêra e campo de golfe dos Salgados, junto da Lagoa dos Salgados, são frequentes as aberturas forçadas do cordão dunar, evitando-se assim a inundações destas áreas.

A Lagoa dos Salgados, apesar de pouco profunda, é a que apresenta maior expressão (cerca de 20ha), apresentando uma hidrodinâmica especial com características próprias, que desencadeiam variações no plano de água.

Esta lagoa é um corpo de água separado do mar pelo cordão dunar que acompanha a Praia Grande. A lagoa é alimentada, em percentagens variáveis ao longo do ano, pelo escoamento superficial gerado na bacia hidrográfica da ribeira de Espiche, caudais provenientes da ETAR Poente de Albufeira e por água do mar que penetra na lagoa quando se processa o rompimento do cordão dunar, o que atualmente sucede quase sempre por ação antrópica, com o objetivo de permitir o escoamento de águas acumuladas na lagoa quando a qualidade se encontra deteriorada. A tendência para a colmatação do fundo da lagoa com sedimentos, reduzindo a sua capacidade, é um outro problema, que pode ser resolvido ou mitigado com a execução de dragagens e a criação de fundões de receção de sedimentos.

A construção do campo de golfe dos Salgados, que aterrou parcialmente a lagoa, bem com o aumento das aflúências da ETAR Poente de Albufeira para a lagoa, contribuíram para alterações significativas do balanço hidrológico da lagoa, reduzindo a sua capacidade de retenção em cerca de 10% e implicando a necessidade de proceder a mais aberturas da lagoa ao mar.

De acordo com dados fornecidos pela empresa Águas do Algarve S.A., atualmente, as efluências da ETAR Poente de Albufeira atingem um máximo de 8.000m<sup>3</sup>/dia (em ponta e no verão), sendo o destino prioritário do efluente a lagoa dos salgados. Existe, no entanto, concorrência com outros usos, designadamente a rega do campo de golfe dos Salgados, que não dispõe de origens de água alternativas.

Por razões de preservação de fauna e do ecossistema, evita-se a abertura da lagoa na época da nidificação (entre março e junho) e, por razões de manutenção das características das condições

biofísicas da água do mar, evita-se também que a abertura ocorra na época balnear (de junho a setembro), bem como nas férias da Páscoa. Deste modo, procura-se que a abertura da lagoa ocorra entre outubro e fevereiro, ou seja, no período mais húmido do ano. Por outro lado a abertura deve ser feita quando, devido a períodos de intensa pluviosidade, o nível da água se aproxima de uma cota da ordem de +5m, em relação ao ZH, (correspondendo à cota 3m), para evitar inundação excessiva dos terrenos envolventes.

Há que atender ainda aos níveis de marés no local que, de acordo com as tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico e pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, assumem os valores que se apresentam na tabela seguinte.

**Tabela XXXVI – Tabela de marés.**

	Tabela de Marés 2017 Porto de Lagos – IH	Tabela de Marés 2017 Lisboa – FCUL
Preia-mar máxima astronómica	(+3,74m) ZH	(+4,30m) ZH
Preia-mar média de águas vivas (PMAV)	(+3,48m) ZH	(+3,98m) ZH
Preia-mar média de águas mortas	(+2,69m) ZH	(+3,20m) ZH
Nível médio	(+2,00m) ZH	(+2,36m) ZH
Baixa-mar média de águas mortas	(+1,33m) ZH	(+1,52m) ZH
Baixa-mar média de águas vivas (BMAV)	(+0,52m) ZH	(+0,74m) ZH
Baixa-mar mínima	(+0,30m) ZH	(+0,39m) ZH

No decurso do semestre húmido, a variação do nível de água na Lagoa dos Salgados é função, no essencial, do regime hídrico da bacia hidrográfica da ribeira de Espiche, verificando-se que o nível da água da ribeira aumenta quando são maiores estas aflúências e diminui quando é efetuada abertura artificial da lagoa ao mar. Neste período, a contribuição relativa dos efluentes da ETAR Poente de Albufeira é menor e as perdas de água por evaporação são amplamente compensadas pelas aflúências à lagoa.

No semestre seco a situação é bem diferente. Neste período, o caudal fluvial da ribeira de Espiche é praticamente nulo e não se efetuam aberturas para o mar, passando a evolução dos níveis de água na lagoa a ser determinada pelo balanço entre as descargas da ETAR e a evaporação.

Durante o verão, até meados de agosto o volume evaporado é dominante face às aflúências da ETAR, verificando-se diminuição progressiva do volume de água na lagoa. Contudo, com o pico do turismo os volumes de descarga de águas residuais aproximam-se progressivamente do volume evaporado, até o superarem já na segunda metade do mês de agosto, passando o nível de água a aumentar até que, por finais de setembro, é atingido o nível característico da primavera.

Com o objetivo de melhorar o funcionamento hidrológico da Lagoa dos Salgados e mitigar problemas de assoreamento e de degradação da qualidade da água, foi apresentado, em setembro de 2008, um plano de valorização e gestão de zonas húmidas entre Armação de Pera e Ancão que inclui, entre um conjunto de quatro zonas húmidas, a Lagoa dos Salgados, que é a que apresenta o ecossistema lagunar mais importante.

Em visita de campo efetuada em junho de 2012 foi observada a lagoa em situação crítica, verificando-se que a cota da superfície inundada se encontrava a um nível inferior ao habitual para esta época do ano, encontrando-se a área do espelho de água da lagoa reduzida ao setor mais próximo do cordão dunar.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais serão apresentadas, subdivididas de acordo com a tipologia de cada um dos riscos que foram avaliados neste relatório.

### i) Risco Sísmico

O Algarve localiza-se numa região de moderada a elevada perigosidade sísmica dada a proximidade da fronteira entre as placas Ibérica (Euro-Asiática) e a Africana. A atividade sísmica instrumental e histórica aponta para movimentos de forte intensidade em toda a região algarvia.

As principais fontes sísmicas que afetam a região do Algarve, bem como o local em estudo, são:

- Zona a sul do Banco de Goringe (*off-shore*);
- Zona paralela à costa Ocidental do Algarve, localizada a 100-150 km da costa (*off-shore*);
- Fronteira de placas, entre a placa Eurásia e a placa Africana: zona a sul do Algarve, paralela à costa e a cerca de 100 km (*off-shore*);
- Falhas localizadas *on-shore*, atravessando o território algarvio e que se prolongam para sul.

De acordo com a bibliografia existente, designadamente os registos da rede sismográfica, verifica-se que na zona imersa (*off-shore*), a sul da zona algarvia, é onde ocorre sismicidade com maior magnitude e onde estão localizadas as principais estruturas tectónicas ativas. Os epicentros dos sismos gerados nestas zonas geralmente localizam-se a profundidade elevada.

Os sismos que se registam *on-shore*, geralmente ligados a zonas de falhas ativas, apresentam magnitudes menores mas com maior aceleração.

Verifica-se que a área em estudo encontra-se inserida numa zona de elevado risco sísmico: zona A, das zonas sísmicas propostas pelo RSAEEP e zonas 1.2 e 2.3 definidas pelo Eurocódigo 8, respetivamente, para uma ação sísmica do Tipo 1 (sismo afastado, interplacas) e do Tipo 2 (sismo próximo, intraplaca).

Os valores das acelerações máximas de referência, obtidos através de análise determinística, do zonamento sísmico do RSAEEP e do zonamento sísmico proposto no EC8 (para ações sísmicas do Tipo 1 e Tipo 2), indicam valores de, respetivamente: 59 cm/s<sup>2</sup>, 125 cm/s<sup>2</sup> e 200 cm/s<sup>2</sup> – Tipo 1 e 170 cm/s<sup>2</sup> – Tipo 2.

O Índice de Vulnerabilidade sísmica, IV = 13, que foi calculado para o local em estudo, indica um valor de vulnerabilidade sísmica máxima no contexto da região algarvia.

Estes indicadores de risco sísmico elevado devem ser refletidos nos processos de dimensionamento das construções e em todas as intervenções previstas para o local em estudo.

ii) Risco de Liquefação de Solos

Dadas as características geológicas da área, constituída essencialmente por formações sub-horizontais do Pliocénico (areias, areias mais ou menos argilosas), cuja espessura máxima apresenta cerca de 50m, assente sobre as unidades litoestratigráficas do Miocénico (compostas por calcarenitos, arenitos calcários, arenitos margosos) com espessura que varia entre 30-50m, tendo em conta o nível freático superficial e a atividade sísmica da região em que a zona se insere, o estudo do potencial de liquefação constitui um aspeto bastante importante no âmbito dos estudos dos projetos de forma a garantir a segurança das estruturas a construir.

No local de interesse para o projeto foram identificadas áreas com suscetibilidade à liquefação classificada como "Moderada a elevada" que correspondem, genericamente, às zonas onde ocorrem as manchas de aluviões (a) associadas à Ribeira de Alcantarilha e à Ribeira de Espiche.

A aplicação de metodologia proposta pelo EC8 para a avaliação da suscetibilidade à liquefação, baseada em dados inferidos com base na bibliografia, indica que as camadas argilosas não são suscetíveis de liquefação. No entanto, ressalva-se que a coluna litológica considerada não é representativa de zonas onde possam ocorrer camadas silto-arenosas mais suscetíveis de entrar em liquefação por ação sísmica.

Apesar de o tipo de construções previstas em projeto poder dispensar a realização de prospeção geotécnica adicional para a definição da ação sísmica, recomenda-se que caso venham a ser identificadas camadas silto-arenosas, com possanças suscetíveis para potenciar ruturas por liquefação, se considere realizar esta prospeção adicional.

iii) Risco de Contaminação dos Aquíferos

A massa de água presente na área em estudo corresponde ao sistema multiaquífero Ferragudo-Albufeira que localmente é caracterizada pela presença da Formação Carbonatada Lagos-Portimão do Miocénico e pela cobertura detrítica do Plistocénico, formações designadas por Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira. Em associação com as principais linhas de água ocorre uma expressiva mancha aluvionar.

Do Inventário Hidrogeológico realizado no âmbito do EIA, constam 14 pontos de água, dos quais uma grande parte encontra-se abandonada/desativada devido à fraca qualidade da água.

Do Inventário de Focos Poluentes, foram identificados como principais fontes de poluição: atividade humana, rede viária agricultura e pastorícia. Tendo em conta a localização do projeto, deverá ser tido em conta que a qualidade da água subterrânea se encontra sob influência do avanço da cunha salina.

Genericamente, os poluentes identificados localizam-se à superfície (edificação, parques de estacionamento, rede viária, atividade agrícola, etc), havendo situações pontuais de focos poluentes instalados na zona não saturada, como por exemplo sistema de saneamento. O único caso de alteração da qualidade da água na zona saturada prende-se com o avanço da cunha salina.

Pela implementação da metodologia DRASTIC, para avaliação da vulnerabilidade do aquífero, obteve-se um Índice DRASTIC de valor 132, correspondendo a uma vulnerabilidade moderada.

Tendo em conta o projeto em análise identificam-se as principais ações que poderão contribuir diretamente para a perigosidade associada ao projeto: uso de fertilizantes e fitofármacos no campo de golfe, circulação de viaturas, existência ou não de Plano de Gestão de Resíduos; existência ou não de Plano de Gestão da Água e histórico da área. Com no cálculo da perigosidade obteve-se um valor de 0,9, correspondendo a uma perigosidade média.

A conjugação da Vulnerabilidade com a Perigosidade resulta num Risco de Contaminação considerado moderado. Os resultados obtidos encontram-se de acordo com a bibliografia consultada.

#### iv) Risco de Inundação

A área em estudo reparte-se entre as bacias hidrográficas da ribeira de Alcantarilha, a poente, e da ribeira de Espiche a nascente. No interior da área da UE1 não se encontra qualquer talvegue definido no terreno. A ribeira de Alcantarilha é um curso de água permanente (ainda que com acentuada variação sazonal no seu regime hidrológico), enquanto a ribeira de Espiche é um curso de água sazonal. A foz de ambas as ribeiras encontra-se interrompida por um cordão arenoso que favorece a manutenção de zonas húmidas junto às suas secções terminais: o sapal de Pêra, junto à foz da ribeira de Alcantarilha e a Lagoa dos Salgados, junto à foz da ribeira de Espiche.

Os caudais de ponta de cheia para ciclos de 100 anos, calculados com base na Fórmula de Loureiro, são: 462,98 m<sup>3</sup>/s para a ribeira de Alcantarilha e 101,52 m<sup>3</sup>/s para a ribeira de Espiche.

No caso da ribeira de Alcantarilha, a ação das marés assume grande importância uma vez que, nas secções mais próximas da foz, as marés têm influência e fazem variar o nível de água. No que se refere à ribeira de Espiche, as marés não têm influência na determinação da cota de cheia, uma vez que se verificou que o cordão dunar não permite que as marés tenham influência nesta ribeira. De acordo com o levantamento topográfico, a ribeira de Espiche desagua ou tem a sua foz na lagoa dos Salgados e a suas margens estão à cota de, aproximadamente, 2,50m ou seja, acima das cotas de influência das marés.

Verificou-se que a influência dos níveis de marés considerados são de segunda ordem, uma vez que, as diferenças de níveis nas marés da ordem dos 40 a 50 centímetros, traduzem-se em aumento dos níveis de cheia de aproximadamente 3 a 4 centímetros. Obtiveram-se cotas de cheia de 5,40m, para a Ribeira de Alcantarilha e de 4,20m, para na Ribeira de Espiche, na zona afeta ao projeto.

Foram utilizadas quatro formulações para o cálculo do tempo de concentração da bacia, duas em que apenas os aspetos morfológicos da bacia são considerados (fórmulas de Kirpich e do Californian Highway and Public Works) e outras duas em que a variável precipitação é considerada (fórmulas de Ragan e do Soil Conservation Service).

Para a quantificação da precipitação utilizaram-se valores com origem em diversas fontes: i) calculada pela formulação do decreto regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto; ii) calculada pelo estudo "Análise de Fenómenos Extremos Precipitações Intensas em Portugal Continental", sendo que neste segundo caso se utilizaram as curvas IDF de dois postos udográficos, o de Faro e o de Monchique, cada um com uma afetação de 50% na área das bacias em estudo.

Na determinação das cotas de cheia e conseqüentemente as áreas inundadas, tiveram-se em conta os caudais de cheia centenária a escoar nas respetivas linhas de água, fazendo-se a simulação em software de cálculo automático que teve em conta as secções transversais, naturais, das linhas de água e em que a intervenção humana é mais limitada, como é o caso das secções finais da ribeira de Alcantarilha que apresenta afloramentos rochosos nas suas margens.

Tendo em conta as áreas inundadas previstas na carta da REN, sobrepondo com os limites da UE1, obtém-se uma área inundável/inundada de aproximadamente 207.856,20m<sup>2</sup>. Este valor regista um ligeiro acréscimo ao sobrepor os limites do projeto com o levantamento topográfico e com a delimitação das cotas de cheia, obtendo-se uma área inundada/inundável de cerca de 215.570,80m<sup>2</sup>, mais 7.750,76m<sup>2</sup>. No que se refere ao Parque Ambiental, a área inundada prevista na carta REN é aproximadamente 826.034,56m<sup>2</sup>, valor este que regista também um aumento ao sobrepor os limites do projeto com o levantamento topográfico e com a delimitação das cotas de cheia, obtendo-se uma área inundada/inundável de cerca de 898.776,49m<sup>2</sup>, mais 72.741,93m<sup>2</sup>, ou seja, um pouco mais 7ha.

Assim, o presente estudo determina o risco de inundação para a Ribeira de Alcantarilha, com um caudal de cheia centenária de 510,12m<sup>3</sup>/s, podendo atingir a cota de cheia de 5,40m. No caso da Ribeira de Espiche, o caudal de cheia centenária é de 128,16m<sup>3</sup>/s, podendo atingir uma cota de cheia de 4,20m.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER, L. et al. (1985) – DRASTIC: a standardized system for evaluation groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U. S. Environmental Protection Agency Publication 600/2-85/018. U. S. Government Printing Office. Washington D. C.
- ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil (2012). Estudo de Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve.
- APA (2016) – Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) das Ribeiras do Algarve (RH8) – Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa.
- Baptista, M.A., Miranda, J. M., Chierici, F. & Zitellini, N. (2003). New study of the 1755 earthquake source based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 333-340.
- Baptista, M.A., Miranda, J.M. & Luís, J., 2012. Capítulo 6, Cartografia do Risco de Tsunami. In: Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve. Autoridade Nacional de Proteção Civil, Lisboa, pp. 71-84.
- Berardi, R. Margottini, C., Molin, D. & Parisi, A. (1991). Soil, liquefaction: case histories in Italy. *Tectonophysics*, 193, pp. 141-164.
- Brandão, Cláudia. Rodrigues, Rui e Costa Joaquim Pinto da. Análise de Fenómenos Extremos Precipitações Intensas em Portugal Continental. Direção dos Serviços de Recursos Hídricos. Lisboa, Dezembro de 2001.
- Brandão, Cláudia. Rodrigues, Rui. Precipitações Intensas em Portugal Continental para Períodos de Retorno até 1000 anos. Direção dos Serviços de Recursos Hídricos. Lisboa, Junho de 1998;
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, n. 31, 265 p., Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Cabral, J. (1996). "Sismotectónica de Portugal", Colóquio/Ciências. Revista de Cultura Científica, n. 18, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Cabral, J. e Ribeiro, A. (1988). Carta Neotectónica de Portugal Continental, Escala 1:1.000.000. Dep. Geol. Fac. Ciências de Lisboa, Serv. Geol. de Portugal, Gab. Prot. Seg. Nuclear, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

- Caldeira, L., Serra, J., Costa, A., & Sousa, M. (1999). Viabilidade de implantação do novo Aeroporto em Rio Frio. LNEC – proc. 53/1/13899 Proc. Int 260/541/222. LNEC – proc. 53/1/13899 Proc. Int 260/541/222.
- Castro, G. (1987). On the behavior of soils during earthquakes. In Cakmak, A.S., ed., Developments in Geotechnical Engineering, v. 42, Soil Dynamics and Liquefaction. Elsevier Publishing Co., pp. 169-204.
- CCDR (2008). Percurso de interpretação ambiental da Praia Grande e zona envolvente. MAOTDR/CCDR Algarve. Autoria da Universidade do Algarve e da CCDR Algarve.
- Costa, F. et al (1985). Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, na escala 1/100000 e Notícia Explicativa, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto;
- Fonseca, J. (2004). 1755, O Terramoto de Lisboa, Argumentum, Lisboa.
- Geller, J., Jackson, D., Kagan, Y. & Mulargia, F. (1997). "Earthquakes cannot be predicted". Science, Vol. 275, Issue 5306, pp. 1616.
- Johansson, J. (2000). Soil Liquefaction Web site. Geotechnical Engineering Program at the University of Washington. Obtido em Fevereiro de 2011, de Johansson, Jorgen (2000)
- Jorge, C R., (1993). Zonamento do potencial de liquefação. Tentativa de aplicação a Portugal. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Jorge, C. (2010). Potencial de liquefação dos solos portugueses. In J. M. Neiva, A. Ribeiro, L. M. Victor, F. Noronha, & M. M. Ramalho (Edits.), Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História (Associação Portuguesa de Geólogos ed., Vols. II, Geologia Aplicada, pp. 331-342).
- Kramer, S. L., & Elgamal, A. (2001). Modeling Soil Liquefaction Hazards for Performance-Based Earthquake Engineering. A report on research conducted under grant N° EEC-9701568 from the National Science Foundation. PEER Report 2001/13. Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley.
- Kramer, S. L., (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Mata-Lima, Herlander. Raminhos, Cristina. Silva, Vera Vilhena. Controlo do Escoamento e Medição de Caudais: Critérios de dimensionamento de descarregadores em canais, colectores e pequenas represas. Revista Engenharia Civil - UM, Número 30, 2008

- Lencastre, Armando. Franco, F. M. Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, Março de 1984.
- Lomnitz, C. (1994). Fundamentals of Earthquake Prediction, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Mendes, L. (2000). "Riscos Associados a Fenómenos Naturais", Colóquio/Ciências, n. 25, Revista de Cultura Científica, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Metcalf & Eddy, INC. (1995) – Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition. Revised by G. Tchobanoglous. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Nova Deli. 1334 pp.
- Moniz, C., González-Clavijo, e., Matias, L. & Cabral, J. (2003). Estudo de lineamentos fotointerpretados na região do Algarve ocidental. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, CD-ROM, pp. C53-C56.
- NP EN 1998-1 2010. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.
- NP EN 1998-5 2010. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 5 Fundações, estruturas de suporte e aspetos geotécnicos.
- NRC. (1985). Liquefaction of Soils During Earthquakes. Committee on Earthquake Engineering (NRC), Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council.
- Obermeier, S.F. (1994). Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. Ch. A in Obermeier, S. F. and Jibson, R. W. (eds.) Using groundfailure features for paleoseismic analysis, Geological Survey Open-File Report, pp. 94-633: A1-A98.
- Oliveira, C. & Cabañero, S. (1999). "Evolución histórica del análisis de la peligrosidad sísmica. Tendências para nuevos desarrollos". 1º Congresso de Engenharia Sísmica, Espanha.
- Oliveira, T. et al (1983). Carta Geológica de Portugal na escala 1/200000, Folha 7. Serviços Geológicos de Portugal.
- Pedrosa, Y. (Coord.)(1988) – Carta Hidrogeológica de Portugal na escala 1/200000, Folha 1. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Penelis, G. G., (1997). Eurocode 8: Characterization of Seismic Action, Design Spectra and Future Trends, Proceedings, SERINA – Seismic Risk an Integrated Seismological, Geotechnical and Structural Approach. Thessaloniki, Greece, pp. 479-492.
- Portela, Maria Manuela e Hora, Guilherme Rodrigues da. Aplicação da Formula Racional à análise de cheias em Portugal Continental: Valores do Coeficiente C. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. 6º Congresso da água;

- PROT ALGARVE (2004). Plano Regional de Ordenamento do Território, Volume II – Caracterização e Diagnóstico, Anejo J – Apreciação do Risco Sísmico no Algarve. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 55 pp.
- Ramalho, R.S., Winckler, G., Madeira, J., Helffrich, G.R., Hipólito, A., Quartau, R., Adena, K. & Schaefer, J.M., 2015. Hazard potential of volcanic flank collapses raised by new megatsunami evidence. *Sci. Adv.* 1, e1500456.
- Rauch, A. F. (1997). EPOLLS: An empirical method for predicting surface displacements due to liquefaction induced lateral spreading in earthquakes. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in civil engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Ribeiro, A. (1995). "Falhas activas e sismos". Colóquio/Ciências, Fundação Calouste Gulbenkian, n. 17, Lisboa.
- Ribeiro, A. (1997). Sismo Característico. Proc. 3th National Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Ribeiro, A. (1998). "Indecidibilidade na Previsão do Falhamento Sísmico". 1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica; 2º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, Lagos. Geofísica.
- Ribeiro, A. (2002). *Soft Plate and Impact Tectonics*, Springer, Berlin.
- Robertson, P., & Fear, C. (1995). Liquefaction of sands and its evaluation. IS TOKYO 95, First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Keynote Lecture.
- Rocha, R. et al (1989). Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000 e Notícia Explicativa da Folha 52-B (Albufeira). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Rodrigues, J.M. (2015). *Leis de Atenuação Sísmica para Portugal Continental Considerando o Tipo de Terreno* (Tese de Doutoramento). IST, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 71 pp.
- Seed, R., Cetin, K., Moss, R., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., et al. (2001). Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation. Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. Paper No. SPL-2.
- Theis, C.V. (1935) – The lowering of the piezometer surface and the rate and discharge of a well using ground-water storage. *Trans. Am. Geophy. Union.*, 16:519-524.
- Todo-Bom, Luís (2008). *Soil Liquefaction: Influence of non-plastic fines in Liquefaction Resistance*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Eng.º Civil". Instituto Superior Técnico – Departamento de Eng.º Civil.

Vallejo, L.G., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. Pearson Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

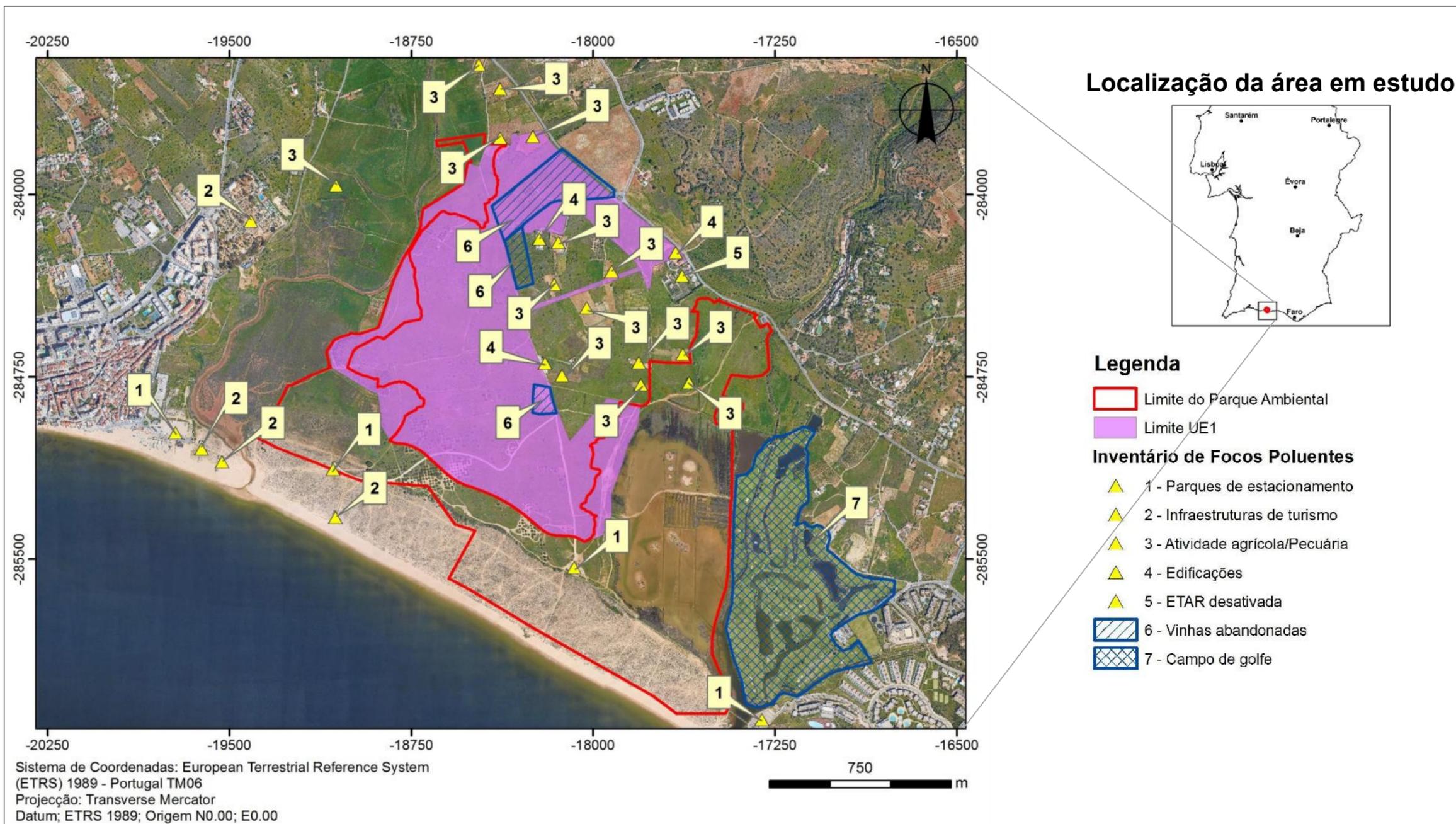
Ward, S.N. & Day, S.J; 2001. Cumbre Vieja Volcano; potential collapse and tsunamis at La Palma, Canary Islands. Geophys. Res. Lett. 28:3397-3400.

Youd, T.L. e Perkins, D.M. (1978). Mapping liquefaction-induced ground failure potencial. JCED, ASCE, vol 104 (gt4) pp.433-446.

**ANEXO I**

---

**INVENTÁRIO DE FOCOS POLUENTES**



## ANEXO I

### INVENTÁRIO DE FOCOS POLUENTES

Carta de inventariação dos focos poluentes no interior da área em estudo e na sua envolvente próxima, tendo por base a fotografia aérea.