

ADENDA AO

RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

RELATIVO A

AMPLIAÇÃO DA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE SINES

SUSCEPTIBILIDADE À LIQUEFACÇÃO

1 - NOTA PRÉVIA

De acordo com a solicitação expressa pela empresa **IDOM/COBRA**, realizou a **GEOSOLVE** uma Campanha de Prospeccção localizada nas actuais instalações da Central Termoeléctrica de Sines, destinada a servir de apoio ao Projecto de Ampliação da referida Central Termoeléctrica.

No decorrer dos trabalhos as referidas empresas solicitaram uma adenda ao Relatório Geológico-Geotécnico já entregue, no sentido de incluir uma exposição relativa à susceptibilidade das areias presentes a fenómenos de liquefacção.

2 - INTRODUÇÃO

A liquefacção dos solos, na sequência de ocorrências sísmicas tem vindo progressivamente a assumir importância relativa no conjunto dos efeitos devido àqueles fenómenos.

Este tipo de fenómeno ocorre geralmente em solos mal ou pouco consolidados, como areias finas ou siltes, que se encontram geralmente em depósitos sedimentares costeiros e que foram formados nas últimas centenas de anos.

A liquefacção é um fenómeno em que a força e a rigidez de um solo são reduzidas por acções sísmicas ou por carregamentos rápidos, sendo responsável por danos tremendos em terremotos históricos em todo do mundo.

A liquefacção ocorre em solos saturados, onde o espaço entre as partículas individuais é preenchido completamente por água. Quando este solo fica sujeito a perturbações estáticas ou cíclicas, tende a adquirir um arranjo dos grãos mais compacto e denso, tendência que é contrariada pela presença de água quase incompressível, traduzindo-se assim a tendência para a densificação em um acréscimo de pressões intersticiais e consequente diminuição das tensões efectivas.

Os fenómenos de liquefacção que daqui poderão resultar podem evoluir de dois modos diferenciados:

1. **Liquefacção por fluxo**, caracterizando-se pela ocorrência de grandes deformações devido à perda de rigidez ao corte, comportando-se o solo como um líquido viscoso. Nesta situação as tensões de corte necessárias para garantir o equilíbrio estático de uma massa de solo, são superiores à resistência ao corte do solo liquefeito.
2. **Mobilidade cíclica**, caracterizando-se pelo desenvolvimento de deformações limitadas e pela estabilização dos estados de tensão e de deformação. Esta estabilização deve-se a fenómenos de dilatância, associados sobretudo a areias densas, ou à existência de resistências

remanescentes nos solos. Neste caso as tensões de estáticas são inferiores à resistência ao corte do solo liquefeito.

Para estimar os efeitos produzidos por um sismo num determinado local, torna-se necessário efectuar um estudo de microzonagem da área em análise. Este estudo consiste na investigação detalhada sobre as características geomorfológicas, geológicas, geofísicas e tectónicas do local, e deve de incluir uma investigação geotécnica completa e para tal direccionada. Além disso será conveniente efectuar uma simulação matemática do comportamento do solo, quando sujeito a uma acção sísmica.

No presente trabalho avalia-se, de um modo geral, o potencial de liquefacção das areias na área em estudo de acordo com a prospecção já realizada, manifestamente insuficiente para uma análise completa que semelhante estudo exigiria.

2.1 AVALIAÇÃO DO RISCO DE LIQUEFAÇÃO

Como nem todos os solos são susceptíveis de sofrer liquefacção, é necessário o estabelecimento de critérios para averiguar da sua susceptibilidade. Existem vários critérios para avaliação do risco de liquefacção que podem ser agrupados da forma seguinte ilustrada.



Figura 1. Critérios geralmente utilizados para a avaliação da susceptibilidade à liquefacção

2.1.1 CRITÉRIOS HISTÓRICOS

As observações históricas fornecem uma grande quantidade de informação sobre a susceptibilidade à liquefacção dos solos em determinados locais. Os solos que liquefizeram no passado podem liquefazer-se outra vez em terremotos futuros. Na área em estudo não existem registos disponíveis que possam fornecer indicações sobre a existência de fenómenos de liquefacção na zona de Sines.

Existem estudos por retroanálise que evidenciam uma relação entre a ocorrência destes fenómenos em resultado da razão da distância ao epicentro da acção sísmica e a sua magnitude instantânea.

Ambraseys (1988) compilou uma série de dados de todo o mundo para estimar um limite da distância epicentral que abaixo da qual não se observou fenómenos de liquefacção para diferentes magnitudes.

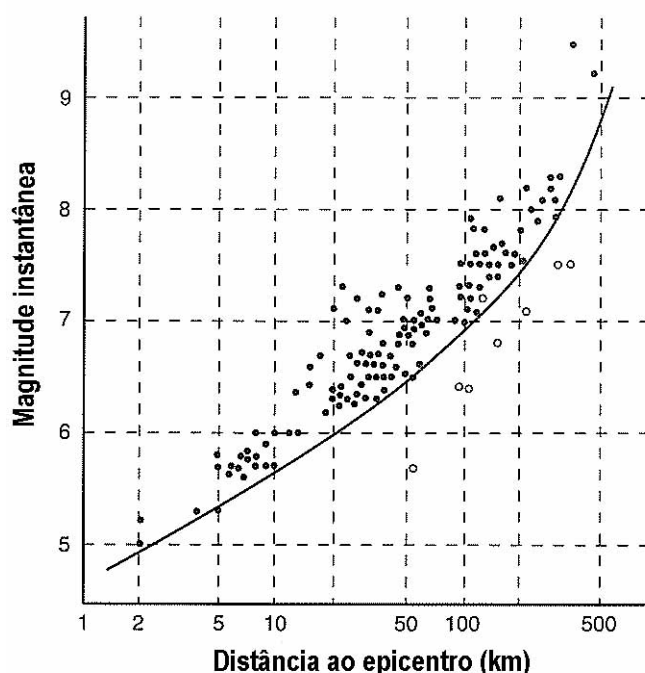


Figura 2. Relação entre a distância de locais onde ocorreram fenómenos de liquefacção e os epicentros dos sismos. Em sismos profundos (epocentro > 50km) podem produzir a liquefacção a distâncias superiores. Adaptado de Ambraseys (1988)

Na figura seguinte apresenta-se um mapa da distribuição da sismicidade de Portugal Continental, Galiza e região Atlântica adjacente.

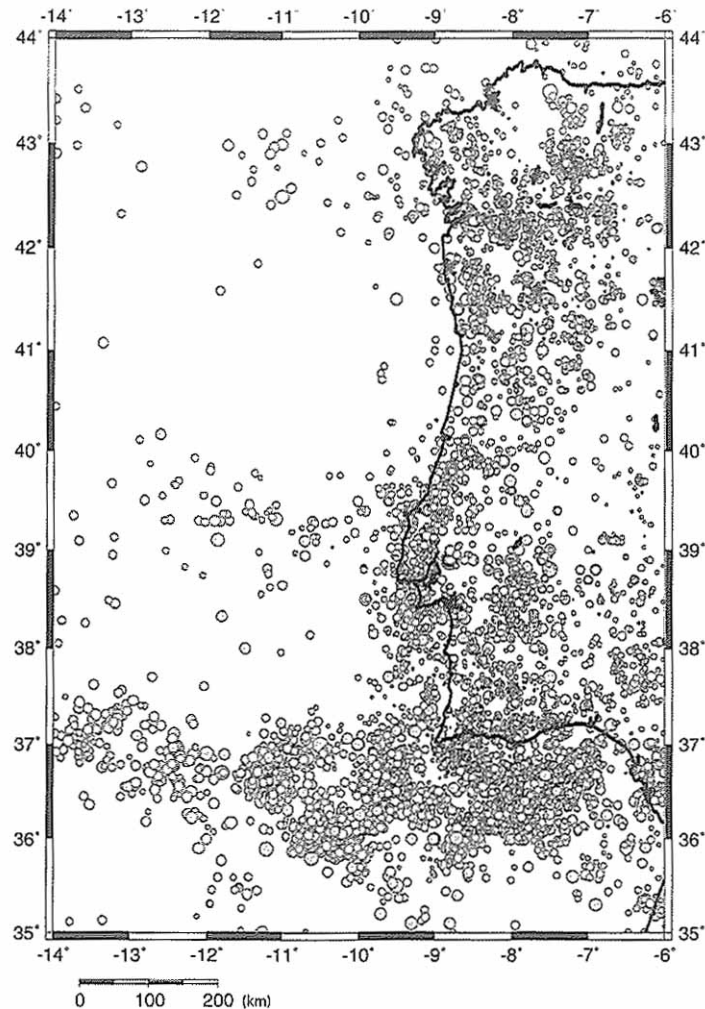


Figura 3. Sismos que ocorreram entre 1900 e 2004 (Catálogos do Instituto geofísico da Universidade de Lisboa, Instituto de Meteorologia e do Instituto Geográfico Nacional, Espanha).

Neste mapa é possível observarem-se regiões de concentração de geração sísmica, que podem constituir zonas sismogénicas, em particular o Vale Inferior do Tejo, ou a zona a Sul do território continental (ex. zona do Banco de Gorringe).

Assim, para distâncias inferiores a 100 km (zona sismogénica do Vale do Tejo) o sismo teria que atingir uma magnitude de 7 para a ocorrência de fenómenos de

liquefacção. Salienta-se que o último sismo de magnitude 7,3 a 7,5 em 1969 teve como epicentro a Planície Abissal da Ferradura (CPF) a cerca de 200 km da área em estudo.

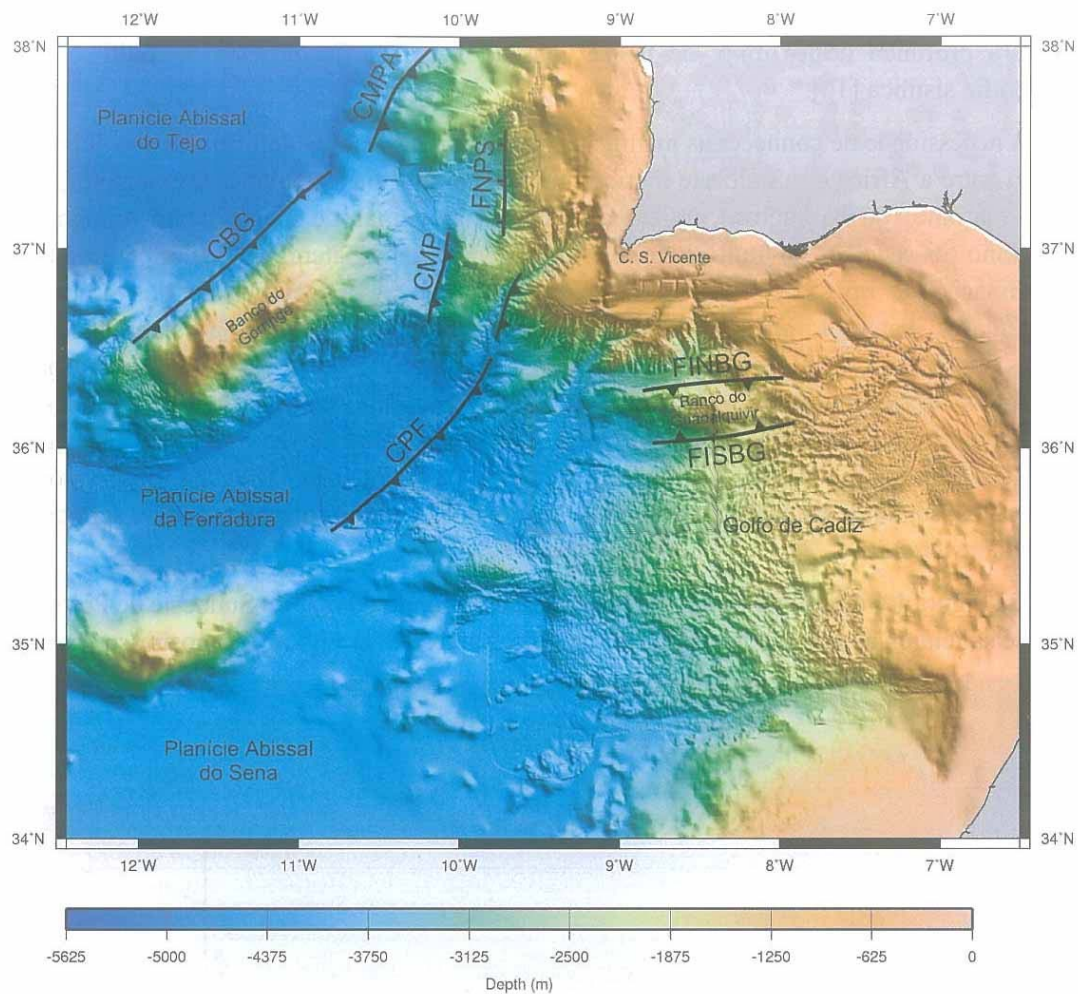


Figura 4. Possíveis estruturas sismogénicas e tsunamigénicas da margem Continental Portuguesa. CBG – Cavalgamento do Banco de Gorrige. CMP – Cavalgamento Marquês de Pombal. CMPA - Cavalgamento dos Montes dos Príncipes de Avis. CPF – Cavalgamento da Planície de Ferradura. FNPS – Falha Normal de Pereira de Sousa. FISBG – Falha Inversa a Sul do Banco de Guadalquivir. FINBG - Falha Inversa a Norte do Banco de Guadalquivir

2.1.2 CRITÉRIOS GEOLÓGICOS

Os depósitos sedimentares que geralmente apresentam susceptibilidade a fenómenos de liquefacção são formados em ambientes geológicos restritos. As principais condicionantes prendem-se com o ambiente de formação, as condições hidrogeológicas e a idade das formações.

Os processos geológicos que conduzem à formação de solos com uma distribuição granulométrica uniforme e em estados de baixa compacidade são os mais susceptíveis à liquefacção.

A susceptibilidade dos depósitos mais antigos à liquefacção é geralmente inferior que a dos depósitos de idade moderna. Os sedimentos de idade Holocénica são mais susceptíveis que os sedimentos do Plistocénico. Fenómenos de liquefacção no Plistocénico são raros.

A liquefacção ocorre apenas em terrenos saturados, demonstrando a influência da presença e profundidade do nível freático. De facto, a susceptibilidade à liquefacção diminui com o aumento da profundidade do nível de água. Os efeitos da liquefacção são observados mais frequentemente à superfície, onde a água subterrânea se encontra a pequenos metros da superfície.

Na área em estudo, os sedimentos arenosos são datados do Holocénico, com compacidades variáveis assumindo valores de N_{SPT} entre 14 e 60 pancadas. No entanto, em termos globais, os sedimentos Holocénicos presentes podem considerar-se de compacidade média a elevada.

A presença de água, no total das 15 sondagens realizadas na zona da obra, em apenas 3 na zona Norte, foi detectado o nível de água, que oscila entre a profundidade de 4,5 m e 8 m, sempre no interior de sedimentos compactos.

2.1.3 CRITÉRIOS COMPOSICIONAIS

2.1.3.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Como os processos de liquefacção requerem o desenvolvimento do aumento da pressão intersticial, a susceptibilidade a estes fenómenos é influenciada pelas diferenças de volume. Assim a avaliação da susceptibilidade de determinado solo ao fenómeno de liquefacção envolve a classificação do solo de acordo com a sua composição granulométrica e comparação com curvas ou bandas padrão correspondentes a casos conhecidos.

Na figura seguinte apresentam-se as curvas granulométricas adaptadas de Tsuchida aplicadas para solos bem graduados e com composição uniforme, nas quais se definem bandas de liquefacção muito provável (entre as linhas verdes) e provável (até às linhas vermelhas).

Na referida figura foram projectadas as análises granulométricas realizadas nas sondagens S1, S2, e S3 onde se verificou a existência de areias abaixo do nível freático.

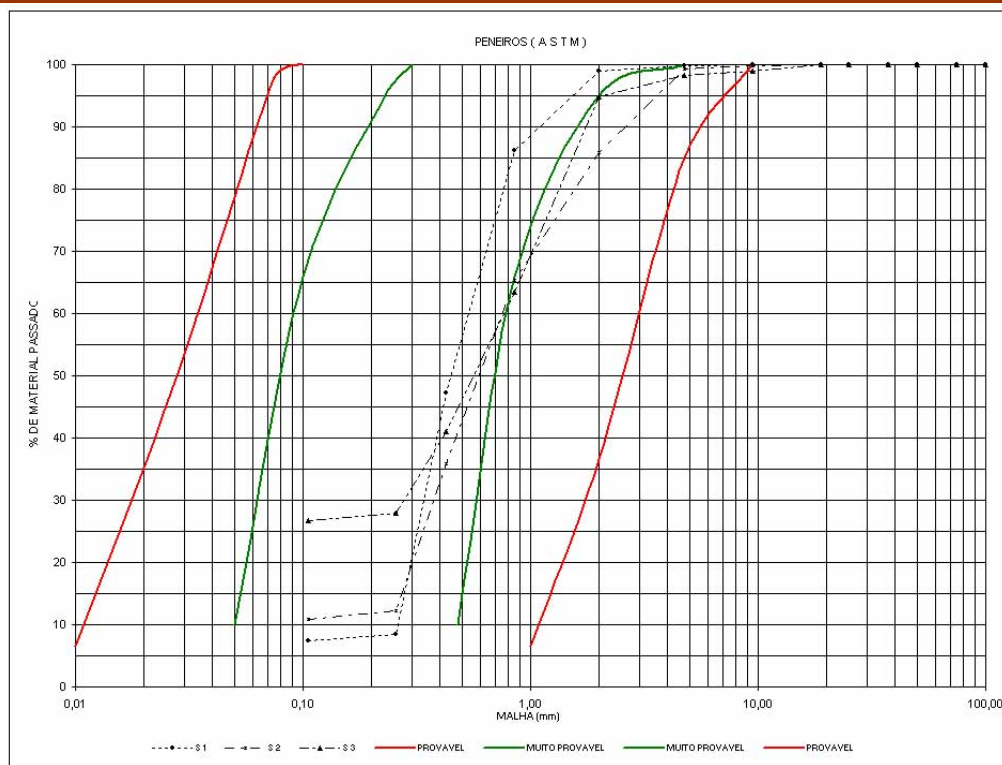


Figura 5. Projecção da análise granulométrica nas bandas de maior susceptibilidade à liquefacção (adaptado de Tsuchida, 1970)

Da leitura do gráfico ressalta que todas as amostras analisadas são projectadas na banda de ocorrência provável a muito provável (amostra da S1) de fenómenos de liquefacção.

2.1.3.2 EXISTÊNCIA DE FINOS

De um modo geral, de acordo com estudos laboratoriais e outras observações de campo, os solos argilosos usualmente não sofrem o fenómeno de liquefacção.

Contudo, actualmente, admite-se que alguns solos argilosos podem sofrer liquefacção ou importantes quebras de resistência sob acções cíclicas. São solos silto-argilosos e argilo-siltosos de baixa consistência e pouco plásticos, com determinadas características, em particular as definidas por Seed (1982). Na

presente trabalho não se verifica este critério dada a ausência deste tipo de solos na área em estudo sob o nível de água detectado.

2.1.3.3 EXISTÊNCIA DE CASCALHEIRAS

O estudo da liquefacção em materiais grosseiros tem ficado muito aquém dos desenvolvidos para materiais arenosos, por serem pouco frequentes as ocorrências e por a caracterização envolver maiores dificuldades.

Contudo, têm sido realizados diversos ensaios triaxiais cíclicos em amostras de grande diâmetro que evidenciam que as partículas grosseiras têm maior resistência à liquefacção, verificando-se no entanto que este acréscimo não é suficiente para inibir o fenómeno e que este acréscimo se relacionava com a maior ou menor capacidade de dissipação das pressões intersticiais geradas pela solicitação dinâmica (Correia, 1998).

A análise deste fenómeno em sedimentos grosseiros envolve a caracterização e avaliação das pressões intersticiais para diferentes percentagens de seixos.

Na área em estudo existe um pequeno nível com elementos tipo seixo com 1,5m de espessura, detectado na sondagem S3. No entanto este nível situa-se a 2,5 m acima do nível de água, pelo que a sua avaliação de susceptibilidade à liquefacção não é considerada.

2.1.4 CRITÉRIOS DE ESTADO

Mesmo que um determinado terreno/sedimento verifique todos os critérios de avaliação de potencial de liquefacção anteriores, esta pode ou não ocorrer. A susceptibilidade à liquefacção também depende das condições de estado iniciais do solo (tensão e densidade na altura de ocorrência do sismo).

De um modo geral o comportamento das areias no domínio das pequenas deformações não é ditado exclusivamente pelo índice de vazios, assumindo um papel igualmente importante as tensões efectivas no início da consolidação.

De facto, verifica-se que um elemento de solo caracterizado pelo índice de vazios, pode ser susceptível de sofrer liquefacção por fluxo para elevadas tensões de confinamento, mas pode ser totalmente imune ao fenómeno de liquefacção para baixos valores de tensão efectiva de confinamento (Correia, 1998).

No presente trabalho não se desenvolve a análise deste ponto por carência de dados relativos aos parâmetros de estado das areias a avaliar.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À LIQUEFACÇÃO

A resistência à liquefacção de um elemento do solo depende da proximidade do seu estado inicial em relação ao estado que corresponde à situação de rotura e da natureza da solicitação necessária para provocar a variação entre estes dois estados.

A caracterização da resistência à liquefacção assenta sobretudo em duas linhas de desenvolvimento baseadas em métodos laboratoriais e em métodos baseados em ocorrências de liquefacção com sismos passados.

Os ensaios laboratoriais mostraram que o número de ciclos de carga necessário para ser atingida a rotura por liquefacção decresce com o aumento da amplitude das tensões de corte e com a redução da densidade.

Enquanto a rotura por liquefacção pode ocorrer para um reduzido número de ciclos num solo em estado solto submetido a elevadas tensões de corte cíclicas, podem ser necessários milhares de ciclos de tensão de corte cíclica de baixa amplitude para levar um solo denso à rotura.

É igualmente possível avaliar a resistência à liquefacção através de ensaios de campo, nomeadamente, e por ordem de frequência de utilização, ensaios SPT, ensaios CPT e ensaios sísmicos para determinação da velocidade de propagação das ondas de corte.

Kishida, Koizumi e Ohsaki, estabeleceram para o sismo de Niigata de 1964, uma relação entre os valores dos ensaios SPT com a profundidade, com ocorrência ou não de liquefacção.

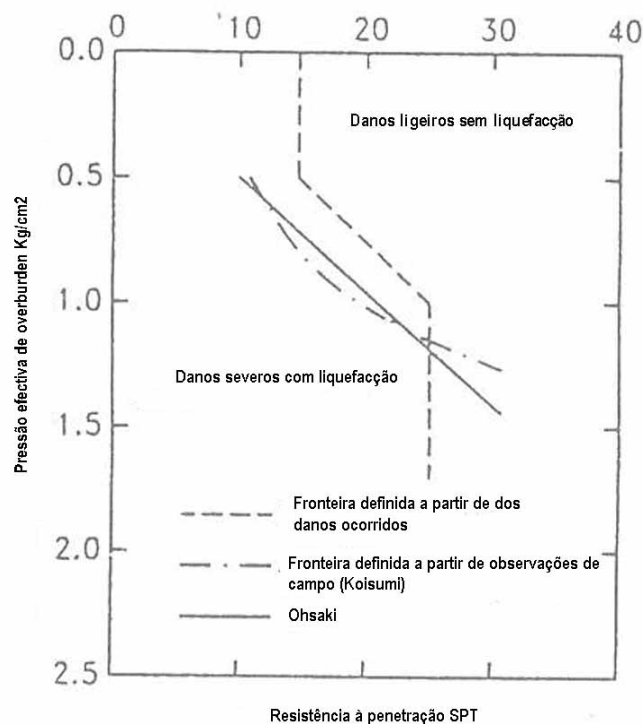


Figura 6. Relação do ensaio SPT com a ocorrência de liquefacção

Embora esta relação seja apenas válida para aquela situação, permite uma percepção imediata da susceptibilidade de determinado local ao fenómeno.

Na área em estudo, principalmente na zona Norte onde se detectou o nível freático, o horizonte de fundação apresenta valores de $N_{SPT} > 60$.

2.3 QUADRO RESUMO

Para simplificação do atrás exposto elaborou-se um pequeno quadro síntese, no sentido de reunir a informação normalmente necessária para a avaliação da susceptibilidade à liquefacção, os dados disponíveis em termos bibliográficos, e a informação obtida na campanha de prospecção realizada.

Como já foi referido no presente trabalho avalia-se, de um modo geral, o potencial de liquefacção das areias na área em estudo de acordo com a prospecção já realizada, manifestamente insuficiente para uma análise completa que semelhante estudo exigiria.

Critérios Históricos	Critérios Geológicos	Composição granulométrica	Existência de Finos	Existência de Cascalheiras	Critérios de Estado	Compacidade
x	✓	✓	x	x	?	x

Susana Paisana
Geóloga

José Marques da Cruz
Eng.º Civil

Bibliografia

- Ambraseys, N.N. (1988). **“Engineering seismology”** Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.17, pp 1-105
- Kramer, Steven L. (1996) **“ Geotechnical Earthquake Engineering”** University of Washington. Prentice-Hall Internacional Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics
- Correia, Jorge, E.C. (1998) **“Dinâmica de solos – Propagação de ondas e Liquefacção de solos”**. Mestrado em Georrecursos. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.