

# 1 – Introdução

A NAER – Novo Aeroporto, S.A. solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil a elaboração de um estudo no âmbito da preparação das exigências técnicas do Caderno de Encargos do futuro concurso de adjudicação do novo Aeroporto na Ota.

Este estudo desenvolveu-se em duas fases, tendo a primeira culminado, em Março de 2000, com a entrega de um relatório que compreendia a recolha da informação geotécnica existente, complementada pela realização de um reconhecimento geológico de superfície e pela execução de alguns trabalhos de prospecção expeditos, bem como de ensaios de laboratório de identificação e de compactação (ensaios Proctor). Com base na informação obtida antecipavam-se nesse relatório as principais condicionantes de natureza geotécnica do sítio a ter em conta na concepção, no projecto e na construção do empreendimento, e elaborou-se um programa de reconhecimento complementar a executar na 2ª fase dos estudos.

O planeamento, a especificação e o acompanhamento dos trabalhos propostos no programa de prospecção complementar foram efectuados pelo LNEC, tendo esta entidade ainda executado os ensaios geofísicos e de laboratório realizados no âmbito da 2ª fase dos estudos.

O conjunto de trabalhos e ensaios efectuados deu origem a um volume de informação geotécnica relativamente vasto, tendo em conta a área de estudo, cuja especificidade e quantidade de dados conduziu ao seu tratamento e apresentação numa série de relatórios individuais.

Neste contexto, o presente relatório pretende ser um documento de síntese da geotecnia do local, remetendo para os relatórios da especialidade a pormenorização da informação respectiva. Deste modo, procede-se à análise, interpretação e síntese da informação geológico-geotécnica obtida, nomeadamente sob a forma de uma planta geológica da área de implantação do empreendimento e de perfis geológicos.

No texto que se segue a esta introdução, listam-se no capítulo 2 os elementos de informação recolhidos relativos ao sítio do novo Aeroporto na Ota. No capítulo 3, procede-se a uma breve descrição do enquadramento geológico da área do empreendimento. No capítulo 4, descreve-se o programa de prospecção mecânica e referem-se sinteticamente o tipo de trabalhos realizados. No capítulo 5, apresentam-se os perfis geológicos elaborados

ao longo da área de estudo, descrevendo-se, no capítulo 6, as unidades geológicas e as suas características geotécnicas. No capítulo 7, com base nos resultados obtidos nesta fase dos estudos, tecem-se algumas considerações, sobre os principais problemas postos pela concepção, projecto e construção do empreendimento, designadamente em termos de condicionantes geotécnicas e hidráulicas. Finalmente, no capítulo 8 apresenta-se uma síntese das principais conclusões dos estudos efectuados e formulam-se recomendações sobre os estudos a realizar nas fases seguintes de desenvolvimento do projecto.

Apensos ao relatório apresentam-se no Anexo 1 a planta geológica e de localização dos trabalhos de prospecção realizados na 2ª fase (Des. 1), bem como os perfis geológicos interpretativos (Des. 2 a 10) e no Anexo 2 os perfis individuais das sondagens

Colaboraram na realização dos ensaios geofísicos os Técnicos Adelino Bastos, Daniel Filipe, Carlos Martins, Rosado Fernandes e os Auxiliares de Ensaios José Catarino Paulo e Henrique Graça, coordenados pela Engenheira Marília Oliveira e, no acompanhamento dos trabalhos de prospecção mecânica e de ensaios de campo a Engenheira Marta Vozzone e os Técnicos Fernando Gaspar, Fernando Rodrigues e Jorge Veiga, coordenados pelo Engenheiro Bilé Serra. Os ensaios laboratoriais foram realizados pelos Técnicos Fernando Gaspar, Fernando Rodrigues, António Alemão e Jorge Veiga, igualmente coordenados pelo Engenheiro Bilé Serra.

## 2 – Recolha da informação existente

No decurso deste estudo reuniram-se os seguintes elementos de informação relativos ao sítio do novo Aeroporto na OTA, essencialmente, disponibilizados pela NAER e que se citam em seguida:

### a) Bibliografia

- [1] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1990) – Novo Aeroporto de Lisboa. Ota. Estudo geológico e hidrogeológico.
- [2] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1993) – Estudos de localização do NAL. Infraestruturas. Estudo preliminar (Ref. 62).
- [3] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia. Relatório final global (Ref. 59).
- [4] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Materiais de construção (Ref. 69).
- [5] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Geologia e Hidrologia (Refs. 75,79 e 80).
- [6] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA – Estudos de localização do NAL. Águas. Relatório de Síntese (Ref. 115).
- [7] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA – NAL. Ota. Estudo geológico e hidrogeológico. Relatório (Ref. 142).
- [8] – *Anom.*, Análise preliminar de movimentação de terras. Configuração de pistas paralelas afastadas de 1 700 m (Ref. 42).
- [9] – Carvalho, A. M. Galopim (1968) – Contribuição para o conhecimento da Bacia Terciária do Tejo. Serv. Geol. de Portugal, Memória 5.
- [10] – Coelho, A. Gomes (1986) – Estudo por detecção remota do vale do Tejo e do sítio de Almorol com base em imagens MSS do Landsat. Relatório LNEC.
- [11] – DIA (1993) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia (Ref. 114).
- [12] – DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia (Ref. 117).

[13] – LNEC (1999) – Condições geotécnicas nas aluviões da Ota. Parecer Preliminar. Nota Técnica 21/99 – NF, LNEC.

[14] – EPIA (1999) – Estudo Preliminar de Impacte Ambiental (Ref. 229).

b) Cartografia e Fotografia Aérea

[15] – Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 Folha 30-D (Alenquer). Serv. Geol. de Portugal.

[16] – Carta Neotectónica de Portugal na escala 1:1 000 000 (1988). Serv. Geol. de Portugal.

[17] – Cartografia digital da área de implantação do empreendimento à escala 1:10 000.

[18] – Fotografia aérea da zona de implantação do empreendimento à escala 1:15 000.

## **3 – Geologia**

A área de implantação do empreendimento situa-se na região do vale inferior do Tejo, predominantemente no concelho de Alenquer, localizando-se no entanto a sua zona Nordeste já no concelho de Azambuja. A área estudada tem forma rectangular, alongada segundo a direcção N-S, ocupa cerca de 7,5 x 6,0 km<sup>2</sup> e encontra-se limitada a Nascente pela autoestrada A1 (entre os kms 32 e 39) a Poente pelas povoações de Camarnal e pelas quintas da Mala e do Casal do Vale, a Norte pela ribeira da Ota e a Sul pela ribeira de Alenquer.

### **3.1 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL**

A área do futuro empreendimento enquadra-se numa vasta unidade morfoestrutural do território português, designada por Bacia Sedimentar Cenozóica do Tejo-Sado, especificamente na margem norte da bacia terciária do baixo Tejo. A evolução desta bacia foi condicionada por importantes acidentes tectónicos, sendo constituída essencialmente por sedimentos siliciclásticos continentais.

Esta bacia corresponde a uma depressão tectónica complexa, de contorno sensivelmente rectangular, alongada segundo a direcção NE-SW, contactando os seus enchimentos sedimentares cenozóicos a Norte por discordância com as rochas pré-câmbricas e paleozóicas do Maciço Hespérico, a Nascente também por discordância com as rochas do Maciço Hespérico desaparecendo em bisel e de forma muito retalhada, a Ocidente com as formações mesozóicas da Bacia Lusitânica que constituem o Maciço Calcário Estremenho encontrando-se este limite relativamente próximo da área de estudo.

O maciço calcário jurássico, localizado a Ocidente da área do empreendimento, caracteriza-se por uma tectónica muito dobrada e fracturada e por litologias de fácies variadas, em que os tipos mais frequentes são calcário compacto branco, calcário margoso, marga, arenito, por vezes argiloso, e conglomerado quartzoso.

As formações terciárias encontram-se tectonicamente pouco deformadas, sendo constituídas por formações miocénicas e paleogénicas (estas últimas não ocorrem na área interessada pelo empreendimento) de natureza essencialmente areno-argilo-margosa, sendo o contacto entre estas unidades por discordância.

As formações quaternárias formam as extensas baixas aluvionares das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho, e são constituídas por depósitos de natureza argilosa e arenosa com espessura máxima da ordem dos 25 m.

A área do empreendimento interessa as formações terciárias miocénicas e os enchimentos aluvionares daquelas ribeiras.

### **3.2 – CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DO SÍTIO**

Na área do empreendimento observam-se duas zonas distintas correspondendo a primeira às baixas aluvionares das ribeiras de Alequer, de Ota e de Alvarinho, de topografia aplanada, e a segunda à zona delimitada a Norte e a Este pela margem direita da ribeira da Ota e a Sul pela margem esquerda da ribeira de Alenquer, caracterizada por uma morfologia suavemente ondulada, com pendente para Este.

Topograficamente, a zona mais elevada, com cotas entre (60,00) e (75,00), situa-se nas proximidades da povoação do Camarnal (Fig. 1), descendo para nascente para cotas variáveis até (10,00). Esta área de relevo mais acentuado é cortada por diversas linhas de água, das quais se destaca, devido à sua importância, a ribeira de Alvarinho, afluente de 1ª ordem da ribeira da Ota. Os cursos de água principais são alimentados por linhas de água de pequena extensão, que correm em vales relativamente pouco encaixados, originando uma rede de drenagem do tipo dendrítico, pouco ramificada.

Os cursos de água que cortam a área do empreendimento integram-se na bacia da ribeira de Alenquer, sub-bacia da “Bacia Hidrográfica do Tejo”, acompanhando os de maior importância as variações de nível daquele rio (Tejo).

As ribeiras da Ota e de Alenquer com as cabeceiras no Maciço Calcário Estremenho, ao atravessarem as formações terciárias originam vales amplos, com leitos de inundação extensos e com preenchimentos aluvionares relativamente espessos.

A ribeira da Ota, desenvolve-se no seu trecho final (Figs. 2 e 3), até à zona de confluência com a ribeira de Alenquer, segundo a direcção N-S, com cotas entre os (5,50) e os (3,50), inflectindo, para montante junto ao limite Norte da área (Fig. 4), na direcção E-W, com cotas variáveis entre os (16,00) e os (7,50).

A ribeira de Alenquer, como anteriormente referido, afluente de 1ª ordem do rio Tejo, desenvolve-se na área em estudo aproximadamente segundo uma direcção NW-SE (Fig. 5) com cotas entre os (10,00) e os (5,00).



Fig. 1 – Zona a NE do Camarnal.



Fig. 2 – Ribeira da Ota – trecho com direcção N-S.



Fig. 3 – Ribeira da Ota – trecho com direcção E-W.

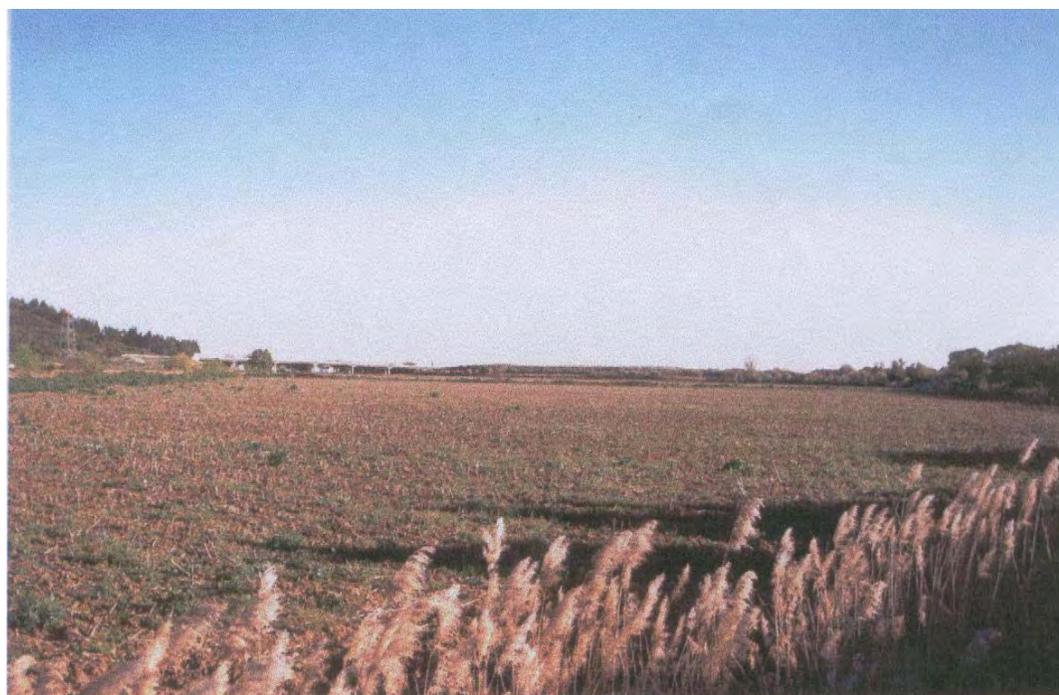


Fig. 4 – Ribeira da Ota – zona de confluência com a ribeira de Alenquer.



Fig. 5 – Ribeira de Alenquer – vista de E para W.

A ribeira de Alvarinho (Fig. 6) desenvolve-se segundo a direcção NW-SE com cotas entre (9,00) na zona de montante e (4,50) na zona de confluência com a ribeira da Ota.



Fig. 6 – Ribeira de Alvarinho – vista de SE para NW.

As baixas aluvionares destas ribeiras encontram-se entalhadas por numerosas linhas de água e canais deprimidos em relação ao leito maior das ribeiras (Fig. 7), ficando frequentemente inundadas após períodos de precipitação intensa e prolongada (Fig. 8) (designadamente no Inverno).



Fig. 7 – Canal na ribeira da Ota.



Fig. 8 – Inundação parcial da ribeira da Ota (Inverno de 2001).

### 3.3 – LITOESTRATIGRAFIA

Adoptaram-se para as formações ocorrentes na área do empreendimento as unidades litoestratigráficas definidas na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, folha 30D - Alenquer (Fig. 9), sendo identificadas as seguintes:

Depósitos superficiais – Quaternário

Depósitos aluvionares

Depósitos de terraço

Formações terciárias – Miocénico

Complexo com vertebrados de Archino

Complexo detríticos de Ota e Camarnal

#### 3.3.1 – DEPÓSITOS SUPERFICIAIS

##### a) Depósitos aluvionares – Holocénico (al)

Os depósitos aluvionares preenchem os vales das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho e de outros cursos de água menos importantes, e são constituídos por solos argilosos orgânicos (lodo), areno-argilosos e, por vezes, por cascalheiras na base. A espessura destes depósitos é variável, em geral crescendo para jusante, designadamente na zona de confluência das ribeiras da Ota e de Alvarinho.

##### b) Depósitos de terraço – Plistocénico (Q)

Junto ao Casal de El-Rei, na margem direita da ribeira da Ota, próximo da zona em que a sua direcção inflecte de E-W para N-S, ocorre um terraço fluvial. Estes depósitos são constituídos por areia com seixo rolado.



**Legenda**

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
|  | Complexo detrítico da Ota e Camarnal |
|  | Paleogénico                          |
|  | Depósitos de Terraço – Quaternário   |
|  | Pliocénico                           |
|  | Miocénico                            |
|  | Complexo com vertebrados de Archino  |
|  | Jurássico                            |
|  | Complexo pteroceriário               |
|  | Calcários da Ota e Alenquer          |

Fig. 9 – Extracto da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 (Folha 30D – Alenquer) com a localização da área de implantação do empreendimento.

### 3.3.2 – FORMAÇÕES TERCIÁRIAS

Trata-se das formações que constituem localmente o enchimento terciário da bacia do Tejo, atingindo sob o perímetro da Base Aérea 2, uma espessura da ordem dos 200 a 300 m.

#### Complexo com vertebrados de Archino – M<sup>4-5</sup>

Os afloramentos deste complexo ocorrem nas zonas topograficamente mais elevadas e estão presentes, a Norte, junto ao marco geodésico do Archino e, a Sul, na margem esquerda da ribeira da Ota, junto ao marco geodésico da Charneca. Trata-se de uma série detrítica constituída por argila e areia.

#### Complexo detrítico da Ota e Camarnal – M<sup>1-4</sup>

Este complexo aflora na zona Ocidental da área do empreendimento delimitada a Norte e a Este pela ribeira da Ota e a Sul pela ribeira de Alenquer. Especialmente, as formações pertencentes a este complexo constituem a principal unidade interessada pelo empreendimento. Na área remanescente este complexo ocorre subjacente ao complexo com vertebrados do Archino e constitui o substrato sob os depósitos aluvionares identificado nos trabalhos de prospecção, tendo sido igualmente reconhecido nas faces dos taludes dos areeiros. Esta unidade é constituída por areia de granulometria variável, siltosa e/ou argilosa, por vezes com seixo, castanha clara, amarelada e esbranquiçada, e por argila, por vezes, arenosa, cinzenta clara (Fig. 10).

### 3.4 – ESTRUTURA GEOLÓGICA

À escala regional os depósitos terciários caracterizam-se por se apresentarem pouco deformados, com estratificação sub-horizontal ou afectados por dobramentos de grande raio de curvatura ou por balançamentos suaves (Fig. 11).

Dada a origem continental destes depósitos, localmente, é de prever, em termos de estrutura geológica, que apresentem variações verticais e laterais, com passagens quer bruscas, quer graduais da sua composição e textura, bem como estratificação irregular com camadas descontínuas, do tipo lenticular ou em bisel, mas com uma disposição geral horizontal ou sub-horizontal.



Fig. 10 – Aspecto das formações miocénicas da unidade M<sup>1-4</sup>.



Fig. 11 – Pormenor de níveis arenosos com diferentes colorações; salienta-se a ligeira inclinação das camadas.

### **3.5 – HIDROGEOLOGIA**

Os enchimentos aluvionares das ribeiras na área de estudo são constituídos superficialmente por terrenos de natureza silto-argilosa, com permeabilidade muito reduzida. De facto, em períodos de pluviosidade intensa é possível observar a formação de acumulações de água e mesmo alagamento dos terrenos que constituem as baixas aluvionares. Inferiormente, a ocorrência de litologias mais grosseiras, poderá corresponder a níveis com características de permeabilidade mais elevadas.

As formações miocénicas caracterizam-se por sequências estratigráficas constituídas pela alternância de níveis arenosos e silto-argilosos. Este dispositivo geológico é propício à ocorrência de aquíferos semiconfinados e confinados.

### **3.6 – TECTÓNICA**

No EPIA [14], na Parte B, no Ponto “2 – Casualidade Sísmica referente ao local do Novo Aeroporto na Ota”, descrevem-se os principais acidentes neotectónicos que interessam a Bacia Sedimentar do Baixo Tejo e são relevantes para o local do empreendimento.

Dos acidentes tectónicos referenciados, sobressai pela sua importância o designado por “Falha do Vale Inferior do Tejo”.

A falha ou a zona de falha do Vale Inferior do Tejo, desenvolver-se-á ao longo do trecho entre a Golegã e Vila Franca de Xira, prolongando-se pelo estuário e península de Setúbal.

A análise dos dados de base sobre este acidente tectónico, permite as seguintes conclusões:

- 1) os dados da geofísica e da sismicidade histórica e instrumental, bem como as evidências geológicas e geomorfológicas do Vale Inferior do Tejo, apontam no seu conjunto para a existência, ao longo deste vale, de uma estrutura sismogénica activa, responsável pela actividade sísmica da região, de que o sismo destruidor mais recente e melhor caracterizado é o de Benavente, ocorrido em 1909;
- 2) a cartografia da chamada “Falha do Vale Inferior do Tejo” baseou-se em alinhamentos detectados pela análise de imagens do satélite Landsat; o

significado geológico destes alinhamentos não foi posteriormente validado pela observação no terreno [10];

- 3) a representação cartográfica da localização da falha no estuário do Tejo, tal como figura na Carta Neotectónica de Portugal [16], carece de fundamentação, uma vez que não se conhecem dados geológicos, geofísicos ou sismológicos que, directa ou indirectamente, justifiquem essa localização;
- 4) não há qualquer referência nem existem evidências de alguma vez se terem registado deslocamentos ou roturas à superfície do terreno associados com a propagação até à superfície da rotura sísmica na falha.

Em síntese, no que respeita à consideração da chamada “Falha do Vale Inferior do Tejo” na caracterização da área do empreendimento e às suas implicações no projecto e segurança da obra, afigura-se de reter o seguinte:

- a existência da “Falha do Vale Inferior do Tejo”, designando, assim, a estrutura sismogénica profunda responsável pela actividade sísmica da região, é um elemento importante de caracterização da sismicidade que deve ser tido especificamente em consideração na definição das acções sísmicas a considerar no projecto do empreendimento;
- a localização da falha ou da zona de falha, o seu andamento em profundidade, bem como a sua actividade e recorrência são desconhecidos.

## 4 – Reconhecimento geológico e geotécnico

O reconhecimento geológico e geotécnico do local do Novo Aeroporto na Ota foi efectuado de acordo com um programa de prospecção e ensaios, elaborado pelo LNEC e posto a concurso pelo NAER, com excepção dos ensaios geofísicos, executados pelo LNEC.

A elaboração do programa de prospecção e ensaios baseou-se nos elementos recolhidos na bibliografia e num conjunto de trabalhos efectuados na 1ª fase dos estudos que incluíram, o reconhecimento geológico de superfície, a execução de sondagens eléctricas e de perfis de refração, bem como a abertura de poços com retroescavadora para observação directa dos terrenos e colheita de amostras remexidas, visando a realização de ensaios laboratoriais de identificação e de compactação (ensaios Proctor).

A descrição destes trabalhos e os resultados obtidos na 1ª fase dos estudos figuram no relatório:

[19] – LNEC (2000<sup>a</sup>) – Caracterização Geológico-Geotécnica do Local do Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. 1ª Fase. Relatório 73/00 – NF.

As especificações técnicas dos trabalhos propostos no programa de prospecção foram elaboradas pelo LNEC e incluídas no Caderno de Consulta do respectivo concurso.

Essas especificações foram apresentadas nas Notas Técnicas:

[20] – LNEC (2000<sup>b</sup>) – Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. Especificação de Ensaios Geotécnicos *in situ*.

[21] – LNEC (2000<sup>c</sup>) – Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. Especificação de Trabalhos de Prospecção Geotécnica.

### 4.1 – OBJECTIVOS DO PROGRAMA DE PROSPECÇÃO E ENSAIOS

Nesta fase dos estudos, não existe ainda uma definição da concepção geral do empreendimento, não sendo, por conseguinte, conhecida a localização das pistas, dos acessos e das estruturas da obra que se pretende construir. Nestas condições, afigurou-se adequado conceber um programa de prospecção e ensaios que permitisse obter os elementos necessários para a caracterização geral das condições geológicas e geotécnicas

ocorrentes no local do Novo Aeroporto na Ota, dando relevo especial à caracterização em termos de deformabilidade e de resistência das formações lodosas, mais problemáticas para a execução da obra e, potencialmente, com maior variabilidade de propriedades.

Neste contexto, elaborou-se um programa de prospecção de malha relativamente larga, concentrando-se a quase totalidade dos pontos de sondagem e ensaio ao longo de 9 alinhamentos. Assim, transversalmente à bacia aluvionar da ribeira da Ota definiram-se 4 alinhamentos (designados por 1 a 4 de montante para jusante – ver Des. 1), com espaçamento médio de 2 000 m entre os alinhamentos 1 e 2, de 1 500 m entre os alinhamentos 2 e 3, e de 1000 m entre os alinhamentos 3 e 4. Os comprimentos destes alinhamentos variam entre 1080 e 1200 m. Os espaçamentos entre pontos de estudo num mesmo alinhamento variam entre 160 e 270 m (ver Des. 2 a 5).

Relativamente às bacias aluvionares da ribeira de Alvarinho, menos extensa, e da ribeira de Alenquer, limítrofe da área do empreendimento, definiu-se, para cada um alinhamento transversal (alinhamentos 5 e 6), com comprimentos de cerca de 1200 m, sendo o espaçamento entre locais de prospecção variável 180 a 450 m (ver Des. 6 e 7).

Os restantes três alinhamentos, com orientação sensivelmente N-S, foram definidos de forma a atravessarem longitudinalmente a área topograficamente mais elevada delimitada pelas ribeiras da Ota e de Alenquer. Estes alinhamentos distam entre si cerca de 700 m, apresentando os dois alinhamentos situados mais a Poente comprimentos, da ordem dos 4000 m (referenciados por 7 e 8 – ver Des. 8 e 9), enquanto o terceiro (designado por 9 – ver Des. 10) mais curto tem uma extensão de 2120 m. O espaçamento entre pontos de prospecção é variável 220 a 740 m (ver Des. 8 a 10).

O programa de prospecção e ensaios foi elaborado com os seguintes objectivos:

a) nas baixas aluvionares

- definir a sequência estratigráfica, a natureza, a composição e a espessura das camadas que constituem o enchimento aluvionar das bacias, e proceder à sua caracterização geotécnica, nomeadamente,
  - ⇒ propriedades índice;
  - ⇒ características de permeabilidade, de consolidação, de deformabilidade e de resistência;

- identificar a natureza e a estrutura geológica do substrato subjacente às aluviões e proceder à sua caracterização geotécnica, nomeadamente,
  - ⇒ estado de consistência ou de compacidade (através de ensaios *in situ*)
  - ⇒ propriedades dinâmicas (através de ensaios *in situ*)

b) no maciço miocénico aflorante

- identificar a sequência estratigráfica dos terrenos ocorrentes e proceder à sua caracterização geotécnica, nomeadamente, no que diz respeito ao estado de consistência ou compacidade *in situ*.

## 4.2 – PROGRAMA DE PROSPECÇÃO E ENSAIOS

O programa de prospecção e ensaios executado consistiu na realização dos seguintes trabalhos: abertura de poços com retroescavadora, sondagens com execução de ensaios SPT, colheita de amostras indeformadas, instalação de piezómetros, ensaios de corte rotativo (*vane test*), ensaios de penetração estática com piezone (CPTU), ensaios *crosshole* e perfis de refração, de reflexão e geoelectrónicos, bem como ensaios laboratoriais sobre as amostras colhidas. A planta da sua localização consta do Des. 1.

Os trabalhos de prospecção iniciaram-se em Setembro de 2000 tendo sido interrompidos em Janeiro de 2001, devido à precipitação ocorrida naquele período. Foram retomados em Junho de 2001 e concluídos em Julho de 2001. As operações de furação, de colheita de amostras, de instalação dos piezómetros e de abertura de poços de observação e de colheita de amostras remexidas, bem como a execução dos ensaios de penetração dinâmica SPT e de penetração estática com piezocone foram realizados pela Keller Grundbau GmbH – Sucursal Portuguesa. Os ensaios de corte rotativo, foram subcontratados por esta Empresa à Geocontrolo.

A descrição destes trabalhos, a cargo da Keller, e os respectivos resultados figuram no Relatório Final elaborado por aquela empresa:

[22] – Keller (2000) – Reconhecimento Geológico e Geotécnico na Zona de Implantação do Novo Aeroporto na Ota. Relatório Final Descritivo. Volumes I, II e III.

Os ensaios geofísicos e os ensaios de laboratório foram executados pelo LNEC. A descrição destes trabalhos e os resultados obtidos figuram nos respectivos relatórios:

[23] – LNEC (2001<sup>a</sup>) – Prospecção Geofísica no Local do Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. 2<sup>a</sup> Fase. Relatório 207/01 – NP.

[24] – LNEC (2001<sup>b</sup>) – Novo Aeroporto na Ota. Ensaios Laboratoriais de Caracterização Geotécnica. Relatório 256/01 – NF.

[25] – LNEC (2001<sup>c</sup>) – Novo Aeroporto na Ota. Ensaios de Campo para Caracterização Geotécnica. Interpretação dos resultados. Relatório – NF.

#### **4.2.1 – PROSPECÇÃO NAS BAIXAS ALUVIONARES**

Nas baixas aluvionares foram realizados os seguintes trabalhos de prospecção (Quadro 1):

- 31 sondagens à percussão atravessando totalmente as formações aluvionares e penetrando cerca de 3 m no substrato;
- ensaios de penetração dinâmica SPT no decurso da furação, com espaçamento de 1,0 a 1,5 m;
- colheita de amostras indeformadas nas formações aluvionares (sondagens S1, S2, S3, S4, S15, S16, S17, S22, S26, S27, S28, S29, S30, S31, S33, S35, S37, S38, S39, S41, S42, S43, S47, S48, S49 e S51);
- instalação de piezómetros (sondagens S3, S16, S26, S27, S29, S37, S43, S48 e S51);
- 56 ensaios de penetração estática com medição da pressão intersticial (CPTU), localizando-se 27 ensaios junto aos locais das sondagens S1, S2, S3, S4, S5, S15, S16, S17, S26, S28, S29, S30, S31, S33, S35, S36, S37, S38, S39, S42, S43, S44, S47, S48, S49, S50 e S51, e os restantes 29 assim distribuídos: 4 a montante do alinhamento 1, 10 entre os alinhamentos 1 e 2, 5 entre os alinhamentos 2 e 3, 4 entre os alinhamentos 3 e 4, 1 a jusante do alinhamento 4 e, 5 a montante do alinhamento 6;
- 22 ensaios de dissipação da pressão intersticial *in situ* durante a execução dos ensaios CPTU, junto aos locais de estudo S15, S16, S17, S26, S28, S29, S38, S42 (a duas profundidades), S43 (a duas profundidades distintas), S47, S48 (a duas profundidades distintas), S49, e os restantes 7 assim distribuídos 3 entre os alinhamentos 1 e 2, 1 entre os alinhamentos 2 e 3, 2 entre os alinhamentos 3 e 4 e, 1 a montante do alinhamento 6;

- ensaios de corte rotativo (*vane test*) junto aos locais das sondagens S15, S16, S17, S28, S29, S30, S31, S38, S42, e S47;
- 5 ensaios sísmicos entre furos (*crosshole*) localizados 4 junto aos locais das sondagens S3, S16, S29, S48 e o outro a jusante do alinhamento 4;
- 4 perfis de resistividade eléctrica, segundo os alinhamentos 1, 2, 4 e 5;
- 3 perfis de refacção sísmica, segundo os alinhamentos 1, 2 e 3;
- 4 perfis de reflexão sísmica, segundo os alinhamentos 1, 2, 4 e 5.

Realizaram-se, ainda, ensaios de laboratório sobre amostras provenientes das sondagens S2, S3, S4, S5, S15, S16, S17, S27, S28, S29, S30, S37, S38, S41, S42, S43, S47, S48. Foi determinado o teor em água de todas as amostras recolhidas no decurso dos ensaios SPT.

**Quadro 1 – Trabalhos de prospeção e ensaios realizados nas baixas aluvionares.**

<b>Ribeira da Ota</b>					
A montante do alinhamento 1					
Locais de Estudo	CPTU1	CPTU2	CPTU3		
Trabalhos				CPTU4	
Ensaio de penetração estática CPTU.	X	X	X	X	
Alinhamento 1 (ver Des. 2)					
Locais de Estudo	S1	S2	S3	S4	S5
Trabalhos					
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.	X	X	X	X	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X	X	X	X	X
Recolha de amostras indeformadas.	X	X	X	X	–
Ensaio de laboratório	–	X	X	X	X
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.	–	–	X	–	–
Ensaio de penetração estática CPTU.	X	X	X	X	X
Ensaio sísmico entre furos ( <i>crosshole</i> ).	–	–	X	–	–
Perfis de resistividade eléctrica.	Ao longo do alinhamento 1				
Perfis de refração sísmica.	Ao longo do alinhamento 1				
Perfis de reflexão sísmica.	Ao longo do alinhamento 1				

**Quadro 1 – Trabalhos de prospecção realizados nas baixas aluvionares (cont.).**

Entre os alinhamentos 1 e 2											
Trabalhos	Locais de Estudo	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP
		TU	TU	TU	TU	TU	TU	TU	TU	TU	TU
		5	6	7	51	52	53	54	55	56	57
Ensaio de penetração estática CPTU.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ensaio de dissipação da pressão intersticial in situ durante a execução dos ensaios CPTU.		-	-	-	X	X	X	-	-	-	-
Alinhamento 2 <sup>1</sup> (ver Des. 3)											
Trabalhos	Locais de Estudo	S15			S16			S17			
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.		X			X			X			
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.		X			X			X			
Recolha de amostras indeformadas.		X			X			X			
Ensaio de laboratório		X			X			X			
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.		-			X			-			
Ensaio de penetração estática CPTU.		X			X			X			
Ensaio de dissipação da pressão intersticial in situ durante a execução dos ensaios CPTU.		X			X			X			
Ensaio de corte rotativo ( <i>vane test</i> ).		X			X			X			
Ensaio sísmico entre furos ( <i>crosshole</i> ).		-			X			-			
Perfis de resistividade eléctrica.		Ao longo do alinhamento 2									
Perfis de refração sísmica.		Ao longo do alinhamento 2									
Perfis de reflexão sísmica.		Ao longo do alinhamento 2									

<sup>1</sup> Inclui as sondagens S14 e S20.

**Quadro 1 – Trabalhos de prospeção realizados nas baixas aluvionares (cont.).**

Entre os alinhamentos 2 e 3					
Locais de Estudo	CPTU8	CPTU9	CPTU10	CPTU49	CPTU50
Trabalhos					
Ensaios de penetração estática CPTU.	X	X	X	X	X
Ensaios de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU.	–	–	–	–	X
Alinhamento 3 (ver Des. 4)					
Locais de Estudo	S27	S28	S29	S30	S31
Trabalhos					
Sondagens à percussão, penetrando cerca de 3 m no substrato.	X	X	X	X	X
Ensaios SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X	X	X	X	X
Recolha de amostras indeformadas.	X	X	X	X	X
Instalação de piezómetro de tubo aberto.	X	–	–	–	–
Ensaios de laboratório	X	X	X	X	–
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.	–	–	X	–	–
Ensaios de penetração estática CPTU.	–	X	X	X	X
Ensaios de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU.	–	X	X	–	–
Ensaios de corte rotativo ( <i>vane test</i> ).	–	X	X	X	X
Ensaios sísmicos entre furos ( <i>crosshole</i> ).	–	–	X	–	–
Entre os alinhamentos 3 e 4					
Locais de Estudo	CPTU11	CPTU12	CPTU47	CPTU48	
Trabalhos					
Ensaios de penetração estática CPTU.	X	X	X	X	
Ensaios de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU	–	–	X	X	

**Quadro 1 – Trabalhos de prospecção realizados nas baixas aluvionares (cont.).**

Alinhamento 4 (ver Des. 5)					
Locais de Estudo	S39	S41	S42	S43	S44
Trabalhos					
Sondagens à percussão, penetrando cerca de 3 m no substrato.	X	X	X	X	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X	X	X	X	X
Recolha de amostras indeformadas.	X	X	X	X	–
Ensaio de laboratório	–	X	X	X	–
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.	–	–	–	X	–
Ensaio de penetração estática CPTU.	X	–	X	X	X
Ensaio de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU	–	–	X	X	–
Ensaio de corte rotativo ( <i>vane test</i> ).	–	–	X	–	–
Perfis de resistividade eléctrica.	Ao longo do alinhamento 4				
Perfis de reflexão sísmica.	Ao longo do alinhamento 4				
A jusante do alinhamento 4					
Locais de Estudo	CPTU 13		CH4		
Trabalhos					
Ensaio de penetração estática CPTU.	X			–	
Ensaio sísmico entre furos ( <i>crosshole</i> ).	–			X	

**Quadro 1 – Trabalhos de prospecção realizados nas baixas aluvionares (cont.).**

<b>Ribeira de Alenquer</b>				
Alinhamento 5 <sup>1</sup> (ver Des. 6)				
<b>Locais de Estudo</b>	S47	S48	S49	S50
<b>Trabalhos</b>				
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.	X	X	X	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X	X	X	X
Recolha de amostras indeformadas.	X	X	X	–
Ensaio de laboratório	X	X	–	–
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.	–	X	–	–
Ensaio de penetração estática CPTU.	X	X	X	X
Ensaio de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU.	X	X	X	–
Ensaio de corte rotativo ( <i>vane test</i> ).	X	–	–	–
Ensaio sísmico entre furos ( <i>crosshole</i> ).	–	X	–	–
Perfis de resistividade eléctrica.	Ao longo do alinhamento 5			
Perfis de refração sísmica.	Ao longo do alinhamento 5			
Perfis de reflexão sísmica.	Ao longo do alinhamento 5			

<sup>1</sup> Inclui a sondagem S46.

**Quadro 1 – Trabalhos de prospeção realizados nas baixas aluvionares (cont.).**

<b>Ribeira de Alvarinho</b>														
A montante do alinhamento 6														
<b>Trabalhos</b>	<b>Locais de Estudo</b>			CP	S	S	S	CP	S	S	S	CP	CP	CP
	TU	19	22	26	TU	33	35	51	TU	TU	TU	16	17	46
Sondagens à percussão, penetrando cerca de 3 m no substrato.	–	X	X	X	–	X	X	X	–	–	–			
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	–	X	X	X	–	X	X	X	–	–	–			
Recolha de amostras indeformadas.	–	–	X	X	–	X	X	X	–	–	–			
Ensaio de laboratório		–	–	–		–	–	–						
Instalação de piezómetro de tubo aberto.	–	–	–	–	–	–	–	X	–	–	–			
Instalação de piezómetro tipo Casagrande.	–	–	–	X	–	–	–	–	–	–	–			
Ensaio de penetração estática CPTU.	X	–	–	X	X	X	X	X	X	X	X			
Ensaio de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU.	–	–	–	X	–	–	–	–	–	–	–			X
Alinhamento 6 <sup>1</sup> (ver Des. 7)														
<b>Trabalhos</b>	<b>Locais de Estudo</b>			S36	S37	S38								
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.				X	X	X								
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.				X	X	X								
Recolha de amostras indeformadas.				–	X	X								
Ensaio de laboratório				–	X	X								
Instalação de piezómetro de tubo aberto.				–	X	–								
Ensaio de penetração estática CPTU.				X	X	X								
Ensaio de dissipação da pressão intersticial <i>in situ</i> durante a execução dos ensaios CPTU.				–	–	X								
Ensaio de corte rotativo ( <i>vane test</i> ).				–	–	X								

<sup>1</sup> Inclui a sondagem S40.

#### **4.2.2 – PROSPECÇÃO NAS FORMAÇÕES MIOCÉNICAS AFLORANTES**

Na área onde afloram as formações miocénicas os trabalhos de prospecção realizados consistiram nos seguintes (Quadro 2):

- 8 poços de observação abertos com retroescavadora, com colheita de amostras remexidas para a realização de ensaios laboratoriais de identificação e de caracterização (ensaios Proctor);
- 20 sondagens à percussão acompanhadas de ensaios de penetração dinâmica SPT espaçados de 1,5 m (sondagens S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S18, S20, S21, S23, S24, S25, S32, S34 e S45);
- colheita de amostras indeformadas nas formações miocénicas (sondagens S7, S9, S13, S14, S18, S23, S24, S25 e S34, S40 e S46);
- instalação de piezómetros de tubo aberto (sondagens S10, S12, S23, S24 e S32).

Realizaram-se ainda ensaios de laboratório sobre amostras provenientes das sondagens S6, S14, S24, S34 e S46,. Foi determinado o teor em água de todas as amostras recolhidas no decurso dos ensaios SPT.

**Quadro 2 – Trabalhos de prospecção e ensaios efectuados nas formações miocénicas aflorantes.**

Alinhamento 2 <sup>1</sup> (ver Des. 3)	
<b>Locais de Estudo</b>	S20
<b>Trabalhos</b>	
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X
Alinhamento 5 <sup>2</sup> (ver Des. 6)	
<b>Locais de Estudo</b>	S46
<b>Trabalhos</b>	
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X
Recolha de amostras indeformadas.	X
Ensaio de laboratório	X
Alinhamento 6 <sup>3</sup> (ver Des. 7)	
<b>Locais de Estudo</b>	S40
<b>Trabalhos</b>	
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo cerca de 3 m no substrato.	X
Ensaio SPT com espaçamento de 1,0 e 1,5 m.	X
Recolha de amostras indeformadas.	X

<sup>1</sup> Inclui as sondagens S14, S15, S16, S17; <sup>2</sup> Inclui as sondagens S47, S48, S49 e S50. <sup>3</sup> Inclui as sondagens S36, S37 e S38.

**Quadro 2 – Trabalhos de prospeção efectuados nas formações miocénicas aflorantes (cont.).**

Alinhamento 7 <sup>1</sup>									
Locais de Estudo	S7		S10		S13		S45		
Trabalhos									
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo 8 m no substrato.	X		X		X		X		X
Ensaio SPT espaçados 1,5 m.	X		X		X		X		X
Recolha de amostras indeformadas.	X		–		X		–		–
Instalação de piezómetro de tubo aberto.	–		X		–		–		–
Alinhamento 8 <sup>2</sup>									
Locais de Estudo	S8	S9	S12	S18	S21	S24	S25	S32	S34
Trabalhos									
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo 8 m no substrato.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ensaio SPT espaçados 1,5 m.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Recolha de amostras indeformadas.	–	X	–	X	–	X	X	–	X
Ensaio de laboratório	–	–	–	–	–	X	–	–	X
Instalação de piezómetros de tubo aberto.	–	–	X	–	–	X	–	X	–
Alinhamento 9 (ver Des. 6)									
Locais de Estudo	S6		S11		S14		S23		
Trabalhos									
Sondagens à percussão, penetrando no mínimo 8 m no substrato.	X		X		X		X		X
Ensaio SPT espaçados 1,5 m.	X		X		X		X		X
Recolha de amostras indeformadas.	–		–		X		X		X
Ensaio de laboratório	X		X		–		–		–
Instalação de piezómetro de tubo aberto.	–		–		–		–		X

<sup>1</sup> Inclui as sondagens S19, S22, S26, S33 e S35; <sup>2</sup> Inclui a sondagem S51.

## 5 – Condições geológicas da área de estudo

As condições geológicas presentes na área do Novo Aeroporto na Ota estão sintetizadas nos seguintes elementos cartográficos:

- Planta geológica e de localização dos trabalhos de prospecção da 2ª fase, na escala 1:10 000 (Des. 1);
- Perfis geológico-geotécnicos 1 a 9, na escala horizontal 1:2 000 e na escala vertical 1:400 (Des. 2 a 10).

A informação apresentada na planta e nos perfis baseou-se na interpretação conjunta dos dados geológicos, dos resultados da prospecção geofísica, das amostras nas sondagens e dos resultados dos ensaios *in situ* e em laboratório.

### 5.1 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SONDAJENS

A planta e os perfis geológicos (Des. 1 a 11) mostram que na área do Novo Aeroporto ocorrem duas grandes unidades:

- o enchimento aluvionar dos vales das ribeiras de Alenquer, Ota e Alvarinho (complexos  $al_1$  a  $al_4$ );
- as formações miocénicas que constituem o substrato sob as aluviões e que afloram nas áreas topograficamente mais elevadas (complexos  $M_1$  e  $M_2$ ).

#### 5.1.1 – DEPÓSITOS ALUVIONARES E DE TERRAÇO

Os depósitos aluvionares na ribeira da Ota, a montante do Alinhamento 1, são constituídos, nas camadas superiores, por materiais argilo-siltosos orgânicos (lodo), por vezes, capeados por níveis de argila, em regra, com cerca de 2,0/3,0 m de espessura, passando em profundidade a camadas arenosas de granulometria progressivamente mais grosseira. Na zona do Alinhamento 1 a distribuição vertical das aluviões é mais heterogénea, podendo o complexo argilo-siltoso orgânico ocorrer subjacente a camadas arenosas de granulometria fina, e argilosas. A espessura máxima observada dos depósitos aluvionares foi de 25,0 m na sondagem S42.

Os depósitos aluvionares presentes na ribeira de Alenquer caracterizam-se por o complexo argilo-siltoso orgânico ser capeado transversalmente, em toda a extensão do vale, por camadas arenosas de granulometria variável e/ou argilosas, por vezes, siltosas. A sequência das aluviões, subjacente ao complexo argilo-siltoso orgânico, caracteriza-se pela passagem em profundidade a camadas arenosas de granulometria progressivamente mais grosseira. A espessura máxima reconhecida dos depósitos aluvionares foi de 25,5 m na sondagem S47.

A ribeira de Alvarinho apresenta um vale muito encaixado na zona de confluência com a ribeira da Ota, atingindo as aluviões uma espessura importante da ordem dos 21,0 m (S38). Nesta zona o vale é assimétrico, tendo-se interpretado que o talude da margem SW da bacia será relativamente abrupto, enquanto o talude da margem direita terá uma pendente mais suave prolongando-se para NE. A zona de jusante do vale é constituída superiormente por solos argilo-siltosos orgânicos com uma espessura máxima observada de cerca de 18,2 m (S38). Para montante, na área do alinhamento 8 as aluviões apresentam composição arenosa de granulometria fina, atingindo espessuras mais modestas da ordem dos 3,5 m (S51).

De acordo com a análise das amostras recuperadas nas sondagens, distinguiram-se nove complexos, cuja descrição mais pormenorizada é feita no capítulo 6, e cuja identificação é apresentada no Quadro seguinte.

**Quadro 3 – Complexos geotécnicos.**

<b>Complexo</b>	<b>Idade</b>	<b>Descrição</b>
<i>At</i>	Actual	Aterro
<i>Tv</i>	Actual	Terra vegetal
<i>al<sub>1</sub></i>	Holocénico	Argila siltosa orgânica muito mole a mole
<i>al<sub>2</sub></i>	Holocénico	Areia fina silto-argilosa
<i>al<sub>3</sub></i>	Holocénico	Areia média a grosseira com seixo
<i>al<sub>4</sub></i>	Holocénico	Argila e silte, por vezes carbonosos
<i>Q</i>	Plistocénico	Areia com seixo e calhau
<i>M<sub>1</sub></i>	Miocénico	Areia siltosa de granulometria variável, por vezes, com seixo
<i>M<sub>2</sub></i>	Miocénico	Argila e silte, por vezes, arenosos e com seixo

Ao conjunto dos complexos  $al_1$  a  $al_4$  foi atribuída idade Holocénica. Exibem a estrutura geológica comum dos depósitos aluvionares, em camadas lenticulares ou interdigitadas, com maiores ou menores variações laterais. À escala do vale existe, porém, uma relativa regularidade da disposição das camadas, em especial no caso das ribeiras da Ota e de Alenquer, que permitiu uma interpolação relativamente fiável entre sondagens (com afastamento médio da ordem dos 200 m).

O complexo argilo-siltoso orgânico  $al_1$  ocorre frequentemente no topo das aluviões, sobrejacente aos restantes complexos aluvionares (argila e silte, areia fina silto-argilosa e areia média a grosseira com seixo). Verifica-se, no entanto, que este complexo ocorre, por vezes, subjacente a níveis de argilas carbonosas ( $al_4$ ) e em menor extensão sob os complexos arenosos de granulometria fina ( $al_2$ ) e média a grosseira ( $al_3$ ). O complexo  $al_1$  é constituído por argila escura, por vezes, siltosa e arenosa, muito mole a mole (normalmente  $N_{SPT}=0$ ), com espessuras previsíveis variando entre 3,0 e 18,2 m.

Os restantes complexos  $al_2$  a  $al_4$  exibem características de compacidade e de consistência médias a elevadas, ocorrendo com espessuras muito variáveis ao longo dos vales das ribeiras de Alenquer, da Ota e de Alvarinho.

O complexo  $al_3$ , constituído por areia média a grossa, frequentemente com seixo fino a médio e, por vezes, com seixo grosso e calhau, ocorre na base das aluviões da ribeira da Ota e da ribeira de Alvarinho (a jusante do alinhamento 8). Assim, nos vales destas ribeiras, este complexo constitui uma camada basal de composição mais grosseira presente, sobretudo, nas zonas mais profundas do talvegue. No entanto, o facto de se ter reconhecido, no perfil da ribeira de Alenquer, um nível arenoso (S47), com características aparentemente semelhantes às dos restantes materiais incluídos no complexo  $al_3$ , sobrejacente às camadas argilo-siltosas orgânicas evidencia que este complexo não é em termos estratigráficos mais antigo, razão pela qual foi atribuída ao conjunto dos complexos aluvionares ( $al_1$  a  $al_4$ ) a mesma idade – Holocénico.

A cartografia dos depósitos de terraço Q foi efectuada com base na interpretação da fotografia aérea, no reconhecimento geológico de superfície e nos resultados das sondagens S5 e S6, tendo sido atribuída a estes terrenos idade Plistocénica. Os depósitos de terraço são constituídos por areia média a grosseira, por vezes, siltosa com seixo e calhau, medianamente a muito compacta, de cor avermelhada.

## 5.1.2 – FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

As formações miocénicas constituem o substrato sob as aluviões, aflorando igualmente na área topograficamente mais elevada, delimitada pelos vales das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho.

De acordo com as unidades estratigráficas do Miocénico, estabelecidas na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 (folha 30D - Alenquer), as sondagens efectuadas nas baixas aluvionares e nas zonas de cota mais elevada interessaram unicamente o “Complexo detrítico da Ota e Camarnal –  $M^{1-4}$ ”.

As formações miocénicas são constituídas por areia fina a grosseira, de compacidade elevada, por vezes siltosa e/ou argilosa, podendo alguns níveis conter seixo fino a médio e, por argila siltosa e arenosa, muito dura a rija.

A estrutura geológica destas formações caracteriza-se, como se referiu na secção 3.4, pela sua estratificação sub-horizontal, com variações verticais e laterais de composição/granulometria. Estas variações e o afastamento entre sondagens, por vezes superior a 500 m, são fonte de incerteza nas interpolações entre sondagens, necessárias à elaboração dos perfis geológicos. Nos casos em que se verificaram dificuldades de correlação entre as litologias detectadas nas sondagens, assumiu-se a ocorrência de irregularidades da estratificação com passagens laterais de materiais arenosos a silto-argilosos.

A interpolação entre sondagens, controlada pelos resultados da geofísica, permitiu interpretar o andamento da topografia do substrato sob as aluviões nas ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho. Para definir a interface entre o topo do substrato e a base das aluviões tomou-se geralmente a separação entre o complexo aluvionar  $a/3$  (areia média a grosseira com seixo) e as formações arenosas e/ou argilosas miocénicas.

Apesar do significativo afastamento entre as sondagens realizadas nos leitos das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho (da ordem de 160 a 260 m), os topos dos substratos interpretados mostram andamentos relativamente regulares e pouco acidentados, afigurando-se provável que as morfologias obtidas traduzam, embora com alguma simplificação, as reais morfologias dos substratos presentes sob as aluviões das ribeiras referidas.

No caso da ribeira da Ota o topo do substrato interpretado mostra o seu aprofundamento para jusante, situando-se no alinhamento 1 à cota (-5,00) e no alinhamento 4 à cota (-21,00).

O alinhamento efectuado na ribeira de Alenquer mostra que as maiores profundidades do vale fóssil se situam à cota (-15,50).

Na ribeira de Alvarinho o topo do substrato aprofunda rapidamente para jusante, situando-se no alinhamento 7 à cota (-2,00) e no alinhamento 6 à cota (-19,00).

## **5.2 – PROSPECÇÃO GEOFÍSICA. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

A prospecção geofísica realizada no local do novo Aeroporto na Ota consistiu na realização de perfis geoelectricos, de refracção e de reflexão sísmica. A descrição destes trabalhos, bem como a interpretação dos resultados obtidos foi apresentada pormenorizadamente em [20], sintetizando-se no presente relatório apenas as principais conclusões:

- os vários métodos geofísicos utilizados forneceram resultados que mostraram boa concordância entre si, permitindo definir o andamento geral do substrato geofísico constituído pelas formações miocénicas;
- Nos ensaios geoelectricos, os depósitos aluvionares argilo-siltosos orgânicos, de ocorrência mais superficial, apresentam baixas resistividades eléctricas aparentes inferiores a 16 Ohm.m; os resultados obtidos mostram que, a espessura destes depósitos aumenta de montante para jusante na bacia da ribeira da Ota e que as maiores possanças destes depósitos deverão ocorrer na baixa aluvionar da ribeira de Alenquer; esta interpretação não foi, no entanto, validada pelos resultados das sondagens, (as maiores espessuras ocorrem nas sondagens S41 (ribeira da Ota) e S38 (ribeira de Alvarinho) com 17,0 m e 18,2 m de possança, respectivamente); de facto, os níveis de argila carbonosa de consistência média presentes superficialmente na ribeira de Alenquer não apresentaram contraste suficiente de forma a permitir a sua individualização dos materiais do complexo *al<sub>1</sub>*, razão pela qual a espessura dos terrenos daquele complexo terá sido sobreavaliada pelos métodos geofísicos;
- Nos ensaios de refracção e reflexão sísmica, os depósitos aluvionares apresentam valores para as velocidades das ondas P que variam entre 600 e 1700/1800 m/s– estes últimos testemunhando a saturação dos solos – ou

ligeiramente superiores, para profundidades junto à interface com o substrato miocénico. Em termos de ondas S os depósitos aluvionares silto-argilosos orgânicos apresentam velocidades, geralmente inferiores a 200 m/s. Os resultados obtidos permitem interpretar que a sua espessura aumenta em direcção a jusante, tendo, tal como indicado pelos dados da prospecção geoelectrica, maior expressão na ribeira de Alenquer. As aluviões subjacentes ao complexo  $a_1$ , com melhores características de consistência e/ou compacidade, exibem valores de velocidade das ondas S mais elevados, da ordem dos 400 m/s;

- o substrato apresenta valores de velocidades das ondas P da ordem dos 2000 m/s ou superiores e valores de velocidades das ondas S superiores a 400 m/s.

# 6 – Caracterização das unidades geotécnicas

## 6.1 – FORMAÇÕES SUPERFICIAIS

### 6.1.1 – DEPÓSITOS SUPERFICIAIS

#### Aterros – At

##### a) Distribuição espacial

Os aterros ocorrem sobrejacentes às formações miocénicas, nas zonas dos areiros, bem como em relação com caminhos e com a estrutura da pista pertencente à Base Área da Ota, tendo sido neste último caso reconhecidos nas sondagens S9 e S12, com espessuras de cerca de 2,5 e 3,0 m, respectivamente.

##### b) Descrição litológica

Os aterros identificados nas sondagens S9 e S12 são constituídos por materiais arenosos grosseiros, com fragmentos rochosos de natureza heterogénea, de dimensão do seixo médio a grosseiro, de cor alaranjada e amarelada. Os aterros na zona dos areiros (situada na área sudoeste do futuro empreendimento) foram executados com materiais provenientes das formações miocénicas aflorantes o que dificulta o seu reconhecimento.

##### c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT situam-se entre 9 e 25 pancadas, o que permite classificar os terrenos como soltos a medianamente compactos. Os valores de  $N_{SPT}$  mais elevados obtidos nestes terrenos poderão não ser representativos das suas características resistentes, resultando da presença de elementos grosseiros (fragmentos rochosos, etc.).

#### Terra vegetal – Tv

##### a) Distribuição espacial

Ocorre em quase toda a área do empreendimento com excepção das zonas dos areiros, tendo maior espessura nas baixas aluvionares, da ordem de

1,0/1,2 m. Nas restantes áreas a espessura de terra vegetal é variável, em regra, entre 0,5 e 1,0 m.

b) Descrição litológica

Solo agrícola de composição silto-argilosa de cor castanha escura, com restos de plantas.

c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Não foram efectuados ensaios nestes terrenos. Tratam-se, no entanto, de solos de fraca consistência.

## 6.1.2 – DEPÓSITOS ALUVIONARES

### Argila siltosa orgânica muito mole a mole (*al*<sub>1</sub>)

a) Distribuição espacial

Este complexo é o principal constituinte das aluviões das bacias das ribeiras da Ota, de Alvarinho e de Alenquer. Este complexo foi igualmente reconhecido na bacia aluvionar de um afluente da ribeira de Alvarinho, constituindo um nível com cerca de 4,0 m de espessura (S35). Na ribeira da Ota, no alinhamento mais a montante, este complexo foi apenas reconhecido na sondagem S2, subjacente a um nível argiloso de cor castanha e contendo intercalações de areia fina e de argila. Nos restantes alinhamentos 2, 3 e 4 este complexo ocorre em quase toda a extensão transversal do vale, geralmente subjacente a um nível com espessura entre 2,0 e 3,0 m de argilas escuras carbonosas, de consistência média. Nos alinhamentos 2 e 3 as espessuras deste complexo são maiores na zona Nascente do vale, enquanto que no alinhamento 4 a sua possança é superior na zona Poente do vale. As espessuras deste complexo reconhecidas nas sondagens nos alinhamentos 2, 3 e 4 variam entre 5,0 e 9,2 m, entre 5,0 e 13,2 m e entre 9,0 e 15,7 m, respectivamente.

Na ribeira de Alenquer este complexo apresenta espessuras reconhecidas nas sondagens que variam entre 9,0 e 11,5 m, ocorrendo subjacente a níveis arenosos finos (*al*<sub>2</sub>), grosseiros (*al*<sub>3</sub>) e argilosos (*al*<sub>4</sub>).

Na ribeira de Alvarinho este complexo ocorre superficialmente com espessuras máximas reconhecidas de cerca de 9,2 m na zona do alinhamento 7 (S26) e de 18,2 m, junto à zona de confluência com a ribeira da Ota (S38).

#### b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por argila muito mole, por vezes siltosa e/ou arenosa, com matéria orgânica de cor negra a cinzenta escura. Podem ocorrer níveis interestratificados de areia fina argilosa, por vezes de cor cinzenta, e níveis de argila, frequentemente, carbonosa. Nas sondagens S2 e S17 identificaram-se, com base nas amostras do SPT, lentículas de areia argilosa entre as cotas (2,50) e (3,00) e, (3,30) e (2,70), respectivamente. Na sondagem S2 foi reconhecido um nível de argila entre as cotas (2,70) e (1,30) e nas sondagens S30, S48 e S49 foram identificados níveis de argila carbonosa entre as cotas (-10,10) e (-12,10), (2,80) e (-0,20) e, (0,80) e (-0,20), respectivamente.

#### c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 0 e 4 pancadas, sendo o valor de 0 pancadas o mais frequente. Estes solos classificam-se como muito moles a moles.

Foram avaliados os teores em água referentes a 31 amostras SPT ou indeformadas, e os índices físicos relativos a 16 amostras indeformadas.

Destas, cinco foram classificadas como MH e dez foram classificadas como CH. A amostra 3008, colhida à profundidade 2,5 m, na sondagem S37 foi classificada como SC. Os valores apresentados pelos índices físicos desta amostra contrastam fortemente com os apresentados pelas restantes: a percentagem passante no peneiro #200 foi somente de 24%, o índice de plasticidade assume o valor de 21%, o índice de liquidez o de 42% e o peso volúmico é 17,8 kN/m<sup>3</sup>.

Por este motivo, a amostra 3008 não foi incluída nos resultados apresentados no Quadro 4, o qual resume, portanto, informação relativa a um total de 29 amostras, quinze das quais indeformadas.

**Quadro 4 – Características laboratoriais do complexo  $al_1$ .**

	z (m)	z <sub>1</sub> (m)	z <sub>2</sub> (m)	%<#200	w <sub>p</sub> (%)	w <sub>L</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	w (%)	I <sub>L</sub> (%)	S <sub>r</sub>	γ (kN/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	e
Min	1,5	0	4	66	27	54	27	32	17	92	14,9	2,67	0,866
Max	16,5	9	19	99,8	37	82	48	83	129	100	18,8	2,74	2,291
M	8,177	2,3	11,2	95,8	33	72	39	61	81	98	15,8	2,71	1,814
S	4,2	2,3	4,8	8,5	3	8	6	11	29	2,3	1,0	0,02	0,356
cv (%)			43	9	8	11	15	19	36	2	6,1	1	20
m-s	4,0	0	6,4	87	30,7	64,5	33	49,5	51,5	96	14,88	2,69	1,458
m+s	12,4	4,6	16,01	104	36,1	80,3	45	72,3	110	101	16,81	2,73	2,17

Nela, o significado dos símbolos é o seguinte: z, z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub>, representam respectivamente, a profundidade de colheita, a profundidade inicial da unidade e a profundidade final da unidade; %<#200 representa a percentagem passante no peneiro 200; w<sub>p</sub>, w<sub>L</sub> representam, respectivamente, o limite de plasticidade e o limite de liquidez; I<sub>p</sub> e I<sub>L</sub>, representam, respectivamente, o índice de plasticidade e o índice de liquidez; o teor em água é representado por w; o grau de saturação é representado por S<sub>r</sub>; G<sub>s</sub> representa a densidade das partículas sólidas; e representa o índice de vazios; e, finalmente, γ significa o peso volúmico do solo.

O tratamento estatístico destes dados consistiu na determinação, para cada grandeza, dos valores mínimo e máximo (min e max), do valor médio (m), do desvio padrão (s), do coeficiente de variação (cv) e dos limites do intervalo  $m \pm s$ .

A unidade  $al_1$  ocorre a profundidades máximas de 18,2 m, com espessuras variando entre 2,0 m e 18,2 m. De uma forma geral, a variabilidade apresentada pelas características acima tabeladas é reduzida, o que espelha presumivelmente, uma génese e litologias comuns em toda a área prospectada. A dispersão detectada reflecte, naturalmente, a influência das condições existentes no momento da amostragem. A muito baixa dispersão apresentada pelas grandezas de natureza

mineralógica (densidade das partículas sólidas, limite de plasticidade e limite de liquidez) é de assinalar. As grandezas que reproduzem a história recente e actual do solo (peso volúmico, índice de vazios e teor em água) apresentam dispersões inferiores a 20%. Por último, a dispersão mais elevada (36%) corresponde ao índice de liquidez e reflecte o facto de este se tratar de uma grandeza combinada.

No grupo das amostras classificadas como MH ou CH, as correspondentes a profundidades inferiores a 3,0 m (amostras 3032 da sondagem S2 a 2,5 m de profundidade e 2977 da sondagem S28, igualmente, a 2,5 m de profundidade), apresentam, algum contraste de parâmetros de natureza hidráulica e mecânica com as restantes amostras daquele grupo. Os solos a que se referem estas amostras encontram-se sujeitos a oscilações cíclicas de humidade que causam, no decurso dos anos, alterações no seu índice de vazios, as quais se reflectem nas características mecânicas. Apesar de se apresentarem praticamente saturadas no momento da colheita, exibem um estado de sobreconsolidação aparente que se manifesta numa consistência firme, a qual é genericamente confirmada pelos resultados dos ensaios de molinete e dos ensaios SPT.

Em resumo, para esta unidade e à excepção das zonas superficiais, podem apontar-se as seguintes características médias correspondentes a profundidades tipicamente inferiores a 3,0 m:

Espessura:	8.9 m
Profundidade do ponto médio:	8 m
%<#200:	96%
Classificação unificada:	CH ou MH
Limite de plasticidade:	33%
Limite de liquidez:	72%
Índice de plasticidade:	39%
Teor em água:	61%
Índice de liquidez:	81%
Grau de saturação:	98%
Peso volúmico:	15,8 kN/m <sup>3</sup>
Densidade das partículas sólidas:	2,71
Índice de vazios:	1,814

Relativamente à deformabilidade edométrica, à consolidação hidrodinâmica e ao comportamento hidráulico, os solos desta unidade apresentam as características descritas a seguir.

#### Índices edométricos

Os valores do índice de compressibilidade virgem  $C_c$  situaram-se entre 0,61 e 1,21 com valor médio próximo de 0,80, enquanto que os do índice de descarga-recarga  $C_r$  se situaram entre 0,09 e 0,16; os valores do quociente  $C_c / C_r$  situaram-se entre 4 e 9, com valores mais frequentes entre 6 e 7.

#### Tensão de pré-consolidação

Os valores de  $\sigma'_c$  estimados por meio de ensaios edométricos situaram-se entre 20 e 210 kPa. No entanto, a quase totalidade dos valores situa-se entre 50 e 135 kPa; o valor inferior de 20 kPa constitui um caso raro (“outlier”) e é referente à amostra 3032 (sondagem S2) de resultados genericamente contrastantes com os das restantes; as amostras colhidas a profundidades entre 6 e 8 m apresentam valores de  $\sigma'_c$  situados de entre 50 e 85 kPa.

#### Grau de sobreconsolidação

Com base no pressuposto da presença do nível freático a 4 m de profundidade e com o valor médio do peso volúmico de 15,8 kN/m<sup>3</sup> obtiveram-se estimativas do grau de sobreconsolidação OCR inferiores a 2 (solos normalmente ou fracamente sobreconsolidados) para a generalidade das amostras. Para as amostras 2977 e 3032, acima referidas, o valor máximo da estimativa de OCR obtida foi de 5, valor em consonância com os resultados dos ensaios de molinete e CPT.

#### Consolidação hidrodinâmica

Do ponto de vista da caracterização laboratorial da consolidação hidrodinâmica foram analisados os coeficientes referentes ao segundo ou terceiro escalões de ensaio edométrico, isto é, a incrementos relevantes de tensão vertical para a construção futura de aterros: valores incrementais entre 60 kPa e 100 kPa considerados a partir de uma tensão próxima da tensão vertical efectiva geostática estimada.

Os valores do tempo necessário para consumação de 90% da consolidação hidrodinâmica,  $t_{90,v}$ , situaram-se entre 15 e 65 min com valor médio de 36 min.

Os valores de  $c_v$  obtidos situaram-se entre  $3 \times 10^{-9}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s, com valor médio de  $5 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s; os correspondentes valores do coeficiente de permeabilidade variaram entre  $3 \times 10^{-11}$  e  $10^{-9}$  m/s com média de  $4 \times 10^{-10}$  m/s.

Foram conduzidos ensaios laboratoriais de consolidação radial e ensaios de dissipação de pressão intersticial durante paragens de penetração em ensaios CPTU – a qual é reconhecidamente determinada pela evolução do processo em planos horizontais – dada a presumível maior influência da permeabilidade horizontal no processo de consolidação hidrodinâmica acelerada por sistemas drenantes.

Os valores obtidos para  $t_{50,h}$  nos ensaios *in situ* de dissipação de pressão intersticial situaram-se entre 28 min e 40 min com um valor médio de 36 min e um coeficiente de variação de somente 12%; os valores correspondentes do coeficiente de consolidação radial  $c_h$  situaram-se entre  $7 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s e  $9 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, com um valor médio de  $7 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s e um coeficiente de variação de somente 13%.

Por sua vez, os ensaios edométricos radiais efectuados com as amostras 3014 (S26), 3083 (S35) e 3017 (S38) conduziram a valores de  $t_{90,h}$  de 115 min e de  $t_{50,h}$  de 80 min e 60 min. Correspondem-lhe valores de  $c_h$  de  $2 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $7 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s e  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s, apontando para um valor médio de  $1 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, cerca de 3 vezes superior ao registado na direcção vertical.

Da comparação entre os valores de  $c_h$  obtidos laboratorialmente e *in situ* deduz-se serem estes superiores em cerca de 5 vezes. Considera-se esta discrepância dentro da gama de valores habitualmente encontrados na prática, em que são frequentes valores superiores a três, chegando mesmo a alcançar uma ordem de grandeza.

Por último, do ponto de vista mecânico podem resumir-se as seguintes informações:

- os valores da resistência não drenada de pico  $s_{u,pico}$  situaram-se entre 15 a 85 kPa, com valores mais frequentes entre 20 e 40 kPa. Os valores mais elevados correspondem a posições acima do nível freático para as quais as estimativas de OCR foram superiores a três. Os valores da

resistência de pico após remeximento apresentam variação muito reduzida sendo bastante frequentes valores entre 5 e 10 kPa. Como reflexo, a sensibilidade  $S_t$  varia entre 2 e 6, com valores mais frequentes entre 2 e 4, podendo genericamente considerar-se esta unidade como pouco sensível;

- os perfis de  $V_s$  realizados situam-se entre os 95 e 170 m/s, sendo os valores mais frequentes próximos de 100 m/s.

### **Areia fina silto-argilosa – $al_2$**

#### **a) Distribuição espacial**

Este complexo ocorre em níveis em geral com espessura entre 2,0 e 4,5 m, tendo sido reconhecida a sua base a uma profundidade máxima de 23,5 m (S42). Este complexo está presente nas bacias das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho, bem como nos enchimentos aluvionares de alguns dos afluentes daquela última ribeira.

Na ribeira da Ota no alinhamento 1 (mais a montante) ocorre nas sondagens S3, S4 e S5 segundo níveis descontínuos, a diferentes profundidades e com espessuras observadas entre 0,6 e 2,9 m. Nos alinhamentos 2, 3 e 4 este complexo ocorre subjacente ao complexo  $al_1$ , constituindo níveis com elevada continuidade lateral. No alinhamento 2 este complexo foi reconhecido em quase toda a extensão transversal do vale, com excepção das zonas das margens, constituindo um nível com espessura de cerca de 2,5 m (S15, S16 e S17). Na sondagem S15 este complexo constitui a base das aluviões e na sondagem S17 foi identificada uma lentícula arenosa intercalada no complexo  $al_1$ . No alinhamento 3, este complexo não foi identificado na zona central do vale (S29) constituindo em ambos os lados Nascente e Poente do vale níveis descontínuos, com espessuras reconhecidas de 3,0 e 4,0 m, respectivamente. No alinhamento 4 este complexo forma na zona Poente do vale um nível delgado com cerca de 1,5 m de espessura, que aumenta de possança para Nascente, atingindo 10,5 m na sondagem S42.

Na ribeira de Alenquer, este complexo ocorre em dois níveis distintos, superficialmente formando lentículas com extensões e espessuras variáveis e, subjacente ao complexo  $al_1$  constituindo um nível contínuo presente em toda a

extensão transversal do vale, com excepção da zona da margem Norte, com possanças reconhecidas entre 1,0 e 5,0 m.

Na zona mais a montante da ribeira de Alvarinho, este complexo constitui a totalidade das aluviões, atingindo na sondagem S51, 3,5 m de espessura. Na zona do perfil 7, este complexo constitui um nível subjacente ao complexo  $al_1$ , com cerca de 2,5 m de espessura (S26). Na zona de confluência com a ribeira da Ota, este complexo foi apenas reconhecido na margem NE da bacia, estimando-se que apresente uma espessura de cerca de 4,0/5,0 m.

Este complexo constitui igualmente a totalidade (S19 e S34) ou parte (S35) das aluviões de alguns afluentes da ribeira de Alvarinho, atingindo, em regra, espessuras modestas, da ordem dos 2 m.

#### b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por areia predominantemente fina, siltosa e/ou argilosa, de cores cinzenta clara a escura, amarelada, esbranquiçada e acastanhada, por vezes micácea. Ocasionalmente, pode conter matéria orgânica e seixo fino sub-arredondado a arredondado. Na sondagem S19 foi identificado intercalado neste complexo um nível de areia média a grosseira entre as cotas (12,90) e (12,50). Na sondagem S1 ocorrem intercalados neste complexo dois níveis argilosos que se encontram às seguintes cotas entre (3,90) e (1,60) e entre (-0,60) e (-1,90). Nas sondagens S48 e S49 reconheceu-se um nível de argila carbonosa intercalado no complexo  $al_2$ , com cerca de 2,0 m de espessura.

#### c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 1 e 31 pancadas, com valores mais frequentes compreendidos entre 4 e 30, classificando-se as areias como soltas a medianamente compactas. Apesar de se terem registado valores de  $N_{SPT}$  de 4 (S28) em níveis relativamente profundos (> 10 m), verifica-se que as camadas deste complexo mais superficiais apresentam, em regra, valores de  $N_{SPT}$  mais baixos (na sondagem S50 obteve-se para o primeiro nível, a cerca de 2,0 m de profundidade, valores de  $N_{SPT}$  entre 2 e 3 e, para o segundo nível, a cerca de 12,0 m de profundidade, valores de  $N_{SPT}$  da ordem de 20).

Foi recolhida uma amostra em cada uma das sondagens S15, S16, S17, S28, S31, S47, S48 e S51. Os resultados referentes à única amostra ensaiada (amostra 3003

da sondagem S16 à profundidade 7,5 m) são os seguintes: classificação unificada MH, %<#200 de 98,8%,  $G_s$  de 2,70,  $w_p$  de 35,4%,  $w_L$  de 74,7%,  $I_p$  de 39,3%,  $w$  de 68%,  $S_r$  de 98%,  $I_L$  de 82%, índice de vazios de 1,871 e, finalmente,  $\gamma$  de 15,40 kN/m<sup>3</sup>. No entanto, estes resultados não permitem extrapolar características para o complexo.

### **Areia média a grosseira com seixo – $a/3$**

#### a) Distribuição espacial

O complexo  $a/3$  ocorre nas bacias aluvionares das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho. Este complexo foi também identificado nos enchimentos aluvionares de alguns dos afluentes da ribeira de Alvarinho.

Este complexo constitui geralmente a base dos depósitos aluvionares, formando um nível com elevada continuidade lateral de espessura variável. A base do complexo  $a/3$  constitui, em regra, a interface entre as aluviões e as formações miocénicas (substrato), definindo o seu andamento a topografia do vale fóssil das ribeiras mais importantes (Ota, Alenquer e Alvarinho). Assim, esta unidade ocorre primordialmente a profundidades elevadas, em regra superiores a 12,0 m, tendo sido reconhecida a sua base a uma profundidade máxima de 25,5 m (S47).

Na ribeira da Ota, este complexo ocorre na base das aluviões, estando presente nos alinhamentos 1 e 2, essencialmente, na metade Nascente da bacia que corresponde à zona mais profunda do vale fóssil, com espessuras reconhecidas entre 1,0 e 4,7 m e, de 2,5 m, respectivamente. No alinhamento 1 este complexo ocorre a uma profundidade máxima de 12,8 m [S1 cota (-5,10)] e no alinhamento 2 a uma profundidade máxima de 16,5 m [S17 cota (-13,50)]. No alinhamento 3 este complexo ocorre em quase toda a extensão transversal do vale, com excepção da zona junto à margem Poente, com espessuras entre 1,2 e 5,0 m. Este alinhamento mostra, tal como os anteriores, um maior aprofundamento do vale fóssil na zona Nascente da bacia, ocorrendo a sua base a uma profundidade máxima observada de 22,2 m [S30 cota (-19,70)]. No alinhamento 4 o complexo  $a/3$  foi reconhecido em toda a extensão transversal do vale fóssil, com espessuras reconhecidas entre 1,5 e 4,7 m, mostrando a sua base uma topografia plana sem variações laterais relevantes. A profundidade máxima observada foi de 23,2 m [S41 cota (-21,00)].

Na ribeira de Alenquer foram identificados dois níveis distintos, ocorrendo o primeiro na base das aluviões em toda a extensão transversal do vale fóssil, com excepção das zonas das margens e, o segundo na zona Norte da bacia entre as cotas (8,30) e (2,30) (S47). A base do primeiro nível define uma topografia aplanada para o vale fóssil desta ribeira. A profundidade máxima observada foi de 25,5 m [S47 cota (-15,70)].

Este complexo não foi identificado na zona de montante da ribeira de Alvarinho (na zona do alinhamento 8) tendo sido reconhecido na sondagem S26 (na zona do alinhamento 7) e na zona de confluência com a ribeira da Ota (S38 e S37). Na sondagem S26 a espessura reconhecida deste complexo foi de 2,0 m. Na zona do alinhamento 6 a espessura observada do complexo  $al_3$ , nas sondagens S37 e S38, foi de 1,5 e 2,0 m, respectivamente. O andamento da base deste complexo junto à foz desta ribeira mostra um vale fóssil assimétrico muito encaixado junto à margem direita, cuja base se situa a uma profundidade máxima observada de 21,0 m [S38 cota (-18,60)].

Este complexo ocorre também em camadas intercaladas nos depósitos dos complexos  $al_2$  (areia fina silto-argilosa) e  $al_4$  (argila e silte, por vezes, carbonosos) presentes nas bacias de alguns afluentes da ribeira de Alvarinho, com espessuras observadas de cerca de 0,5 m nas sondagens S19 e S35 e, da ordem dos 1,5 m na sondagem S33.

#### b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por areias médias a grosseiras com seixo fino a médio, sub-arredondado a arredondado, de cores amarela, alaranjada, amarela acinzentada, castanha e castanha amarelada. Nas sondagens S29 e S43 foram reconhecidos níveis de natureza silto-argilosa entre as cotas (-13,20) e (-13,70) e, (-16,00) e (-18,50), respectivamente.

#### c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 2 e >60 pancadas, com valores mais frequentes compreendidos entre 10 e 50, classificando-se as areias como medianamente compactas a compactas. No nível superficial reconhecido na sondagem S47 registaram-se valores de  $N_{SPT}$  entre 3 e 13 pancadas, indiciando encontrar-se o solo num estado de compactidade baixo a médio. A dispersão dos valores de  $N_{SPT}$  registados nesta unidade poderá ser devida à ocorrência de

elementos grosseiros nas areias deste complexo, bem como a dificuldades ocorridas durante as operações de limpeza do fundo dos furos previamente à execução dos ensaios SPT.

Os valores dos teores em água determinados nas amostras SPT situaram-se entre 5 e 20%. Foram colhidas amostras indeformadas nas sondagens S3, S26 e S47. Não foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização destes solos.

#### **Argila e silte, por vezes, carbonosos – $al_4$**

##### a) Distribuição espacial

Este complexo constituído por solos de granulometria fina, tem relativamente pequena expressão na área em estudo, ocorrendo nas bacias das ribeiras da Ota, de Alenquer e de Alvarinho, bem como nos enchimentos aluvionares de alguns dos afluentes daquela última ribeira.

Na ribeira da Ota no alinhamento 1 (mais a montante) este complexo ocorre superficialmente nas sondagens S2 e S4, com espessuras reconhecidas de 1,2 e 2,7 m, respectivamente e, entre as sondagens S1 e S2, segundo níveis descontínuos, a diferentes profundidades e com possanças observadas entre 1,3 e 2,3 m. No alinhamento 2 identificou-se um nível superficial entre as sondagens S15 a S17 com cerca de 1,5 m de espessura. No alinhamento 3 este complexo ocorre superficialmente na zona Poente da bacia, entre as sondagens S27 e S28, com espessuras observadas entre 1,7 e 2,2 m e, na zona Nascente, na sondagem S30, com cerca de 2,5 m de possança. Neste alinhamento o complexo  $al_4$  ocorre igualmente segundo níveis descontínuos, a diferentes profundidades, com espessuras observadas de 0,5 [S29 – cota (-13,20)] e (-13,70)] e de 2,0 m [S30 entre as cotas (-10,00) e (12,00)]. No alinhamento 4 este complexo ocorre superficialmente junto à margem direita, com 3,7 m de espessura (S39) e entre as sondagens S42 a S44, com possanças observadas variando entre 1,7 e 3,2 m. Reconheceram-se também níveis descontínuos, a diferentes profundidades, com espessuras observadas de 0,7 [S41 entre as cotas (-14,30) e (15,00)] e de 2,5 m [S43 entre as cotas (-16,00) e (18,50)].

Na ribeira de Alenquer este complexo ocorre superficialmente, sobretudo na metade Sul do vale, entre as sondagens S48 e S49, com espessuras observadas entre 2,7 e 3,2 m. Inferiormente ocorrem níveis descontínuos, a diferentes profundidades, com espessuras variáveis entre 1,0 (S49) e 5,5 (S50) m, presentes essencialmente na metade Sul da bacia.

Na ribeira de Alvarinho este complexo foi apenas reconhecido na sondagem S22 junto à margem esquerda daquela ribeira. Trata-se de um nível superficial com espessura observada de 1,2 m (S22).

Este complexo ocorre ainda nas aluviões de alguns dos afluentes da ribeira de Alvarinho, constituindo níveis com espessuras variáveis entre 1,0 (S33) e 3,5 m (S35).

#### b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por argila, por vezes, siltosa e/ou arenosa e por silte argiloso e/ou arenoso, de cores cinzenta escura, castanha, amarela esbranquiçada, laranja acastanhada, amarela alaranjada, cinzenta acastanhada e amarela esverdeada. Frequentemente, contêm matéria orgânica, por vezes, de aspecto fibroso e de cor negra, adicionando-se nestes casos ao nome do solo o qualificador carbonoso (teor em carbono orgânico superior a 1%). Alguns níveis contêm ainda fósseis e seixo fino.

#### c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 4 e 28 pancadas, tendo-se registado, nos níveis a profundidades inferiores a 6,0 m, valores de  $N_{SPT} < 8$  pancadas, o que permite classificar estes solos como medianamente consistente. Nos níveis reconhecidos a maior profundidade os valores mais frequentes encontram-se compreendidos entre 8 e 30 classificando-se os solos como duros a muito duros.

Os valores dos teores em água determinados nas amostras SPT situaram-se entre 9 e 22%. Não foram colhidas quaisquer amostras indeformadas em solos pertencentes a esta unidade.

### **6.1.3 – DEPÓSITOS DE TERRAÇO**

#### **Depósitos de terraço – Q**

##### a) Distribuição espacial

Este complexo constitui um afloramento com forma grosso modo triangular localizado a SW do alinhamento 1. Estratigraficamente, esta unidade ocorre sob às aluviões e sobrejacente as formações miocénicas que constituem o substrato. Este

complexo foi reconhecido nas sondagens S5 e S6, atingindo espessuras de 2,5 e 5,5 m, respectivamente.

b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por areia média a grosseira e seixo fino a grosseiro quartzosos, predominantemente sub-angulares a sub-arredondados, de cores alaranjada e castanha.

c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 10 e 26 pancadas, classificando-se estes solos como soltos a medianamente compactos.

## 6.2 – FORMAÇÕES DO SUBSTRATO

### **Areia siltosa de granulometria variável, por vezes, com seixo – M<sub>1</sub>**

a) Distribuição espacial

Os terrenos desta unidade afloram na área ocidental do empreendimento, encontrando-se geralmente cobertos por uma fina película de terra vegetal e, localmente, por aterros (S9 e S12). As formações deste complexo ocorrem em níveis, geralmente, com espessura entre 3,0 e 7,5 m, constituindo os terrenos predominantes, nos níveis mais superficiais presentes, na zona a Poente do alinhamento 8, onde se situam os areeiros.

Este complexo foi reconhecido igualmente sob os enchimentos aluvionares das ribeiras da Ota, Alenquer e Alvarinho.

Nas ribeiras da Ota e de Alvarinho este complexo ocorre geralmente em camadas descontínuas, a diferentes profundidades, com espessuras, em geral, entre 1,0 e 2,5 m. Na ribeira de Alenquer, entre as sondagens 48 e 49 (metade Norte da Bacia) o substrato sob as aluviões é constituído predominantemente por terrenos desta unidade.

b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por areias de granulometria variável, siltosas e/ou argilosas, com seixo fino e pontualmente médio (S21 e S24), de cores branca, alaranjada, amarela, acinzentada, acastanhada, avermelhada, amarela acinzentada

e amarela acastanhada. As camadas desta unidade podem passar lateralmente a materiais de granulometria mais fina (silto-argilosos).

c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 4 e >60 pancadas, com valores mais frequentes superiores a 60 pancadas, associados a penetrações entre 10 e 25 cm, classificando-se estes materiais como muito compactos, o que está de acordo com o facto de se tratar de solos sobreconsolidados. Nos níveis menos profundos reconhecidos nas zonas em que esta unidade aflora, estes solos apresentam menor grau de compactidade, com valores mais frequentes de  $N_{SPT}$  entre 25 e 50, classificando-se como medianamente compactos a compactos.

Foram colhidas amostras indeformadas nas sondagens S8, S12, S18, S23, S25, S27 e S34 a profundidades variáveis entre 2,5 e 24,5 m. A obtenção de amostras de qualidade em areias médias a grosseiras com pequena percentagem de finos revelou-se uma tarefa complexa e com sucesso relativamente reduzido.

Os resultados dos ensaios CH1 e CH5 permitem estimar que a velocidade de propagação das ondas de corte das formações deste complexo é da ordem dos 500 m/s.

**Argila e silte, por vezes, arenosos e com seixo –  $M_2$**

a) Distribuição espacial

Este complexo ocorre com maior frequência às profundidades em que se efectuou a prospecção, tendo sido reconhecido em 335 m de sondagem, enquanto que a unidade  $M_1$  foi apenas identificada em 180 m de sondagem.

O substrato sob os depósitos aluvionares das ribeiras da Ota de Alvarinho, bem como entre as sondagens S49 e S50, na ribeira de Alenquer, é constituído predominantemente por formações pertencentes a este complexo.

Esta unidade aflora na zona ocidental do empreendimento, subjacente a uma fina camada de terra vegetal, constituindo sequências estratigráficas com alternância sucessiva de níveis pertencentes aos dois complexos ( $M_1$  e  $M_2$ ). Esta unidade parece ser predominante ao longo do alinhamento 7, com níveis, geralmente, com espessuras entre 2,5 e 8,5 m. A espessura máxima reconhecida de um só nível deste complexo foi de 20,8 m, na sondagem S8.

## b) Descrição litológica

Este complexo é constituído por argila, por vezes, siltosa e/ou arenosa e por silte arenoso, frequentemente com seixo fino e pontualmente médio (S42), de cores amarela, castanha, cinzenta clara, amarela acastanhada, cinzenta-esverdeada e amarela alaranjada. Os materiais silto-argilosos do complexo  $M_2$  podem também passar lateralmente a litologias mais grosseiras.

## c) Caracterização geotécnica baseada nos resultados de ensaios

Os resultados dos ensaios SPT variam entre 4 e >60 pancadas, com valores mais frequentes superiores a 60 pancadas, associados a penetrações entre 4 e 28 cm, classificando-se estes materiais como rijos, o que está de acordo com o facto de se tratar de solos sobreconsolidados. Nos níveis menos profundos reconhecidos nas zonas em que esta unidade aflora, estes solos apresentam menor grau de consistência, com valores mais frequentes de  $N_{SPT}$  entre 15 e 50, classificando-se como muito duros a rijos.

Foram colhidas amostras indeformadas nas sondagens S3, S7, S8, S9, S12, S13, S14, S18, S20, S22, S23, S25, S33, S34, S40, S46 e S48 a profundidades variáveis entre 2,5 e 24,0 m.

Os resultados dos ensaios CH1, CH2 e CH3 permitem estimar que a velocidade de propagação das ondas de corte das formações deste complexo varia entre 400 e 850 m/s.

# 7 – Antecipação das principais condicionantes à implantação do Aeroporto

## 7.1 – PROBLEMAS DE NATUREZA HIDRÚLICA

A construção do Aeroporto prevê a execução de aterros de grande altura sobre a baixa aluvionar das ribeiras da Ota e Alvarinho e, marginalmente, a de Alenquer, o que conduz à necessidade de efectuar uma análise dos efeitos da execução das obras nos sistemas fluviais, não só do Aeroporto, mas também das que se integram em todo o sistema de acessibilidades, rodoviárias e ferroviárias.

Efectivamente, a implantação destas obras pode provocar os seguintes efeitos:

- i. aumento do caudal de ponta de cheia, a jusante dos aterros, em resultado da sua implantação em zonas que actualmente constituem áreas de inundação, que fazem uma laminação das cheias;
- ii. aumento do caudal de ponta de cheia, em resultado do aumento da área impermeabilizada que, de acordo com a informação disponível, poderá atingir valores da ordem da dezena de km<sup>2</sup>;
- iii. sobrelevação dos níveis de água nas ribeiras, a montante e ao longo dos taludes dos aterros, em resultado da sua construção e da remodelação do leito das ribeiras.

Todos estes aspectos devem ser objecto de uma análise cuidada que possibilite avaliar os reflexos sobre as condições do sistema de drenagem actual das obras de arte e restantes passagens hidráulicas existentes na AE1, EN3 e Linha do Norte e, eventualmente, noutros locais e caminhos.

Face ao exposto, considera-se necessário o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidráulicos que permitam dar resposta às duas questões principais:

- i. efeitos da introdução do Aterro do Aeroporto e das Obras de Acesso no regime de caudais de cheia e dos efeitos sobre as condições de escoamento existentes nas passagens hidráulicas da AE1, EN3 e Linha do Norte;
- ii. condições de escoamento dos caudais de cheia gerados nas bacias hidrográficas das ribeiras da Ota e de Alenquer, e ainda nas novas zonas impermeabilizadas;

- iii. efeitos das intervenções sobre as condições de drenagem natural dos campos marginais.

## **7.2 – PROBLEMAS DE NATUREZA GEOTÉCNICA**

Independentemente da solução de “layout” que vier a ser adoptada, a localização do Aeroporto na área em estudo suscita algumas questões dos pontos de vista da concepção, projecto e construção do empreendimento, sobre as quais seguidamente se tecem algumas considerações.

Estas foram já alvo de apreciação geral anterior [13] e [19], se bem que com base em informação substancialmente menos significativa.

### Topografia do local

A topografia do local resulta de uma depressão suave com cotas descendentes no sentido Poente-Nascente. A grande extensão da área envolvida – cerca de 13 km<sup>2</sup> – permite que, mesmo com declives suaves, ocorram cotas bastante díspares entre os valores representativos de (10,00) e (76,00), atingindo-se, embora de forma localizada, cotas entre (4,00) e (5,00) nos vales das ribeiras da Ota e de Alenquer. Os vales aluvionares ocupam uma percentagem significativa da superfície.

De acordo com um estudo preliminar facultado ao LNEC, as pistas desenvolver-se-iam entre as cotas 22 m e 26 m, a primeira, e 14 m e 17 m, a segunda. A pista nº1 – a poente – assentará presumivelmente de forma maioritária em plataformas resultantes de escavação e atravessará em aterro, o vale da ribeira de Alvarinho.

Por sua vez, a pista nº 2 desenvolver-se-á essencialmente em aterros, atingindo alturas próximas de 10 m. Foi, no entanto, recolhida informação actualizada que aponta para que se venha a privilegiar soluções que minimizem o recurso à ocupação dos vales das ribeiras de Alenquer e da Ota.

Devido a condicionantes relacionados com o cone de aproximação à pista, é possível que adicionalmente seja necessário proceder ao desmonte do Archino.

### Movimento de terras

É presumível que a pista nº 1 se desenvolva a cotas claramente superiores às da pista nº2. A regularização topográfica necessária à implantação dos alinhamentos de ambas as pistas – necessariamente condicionantes das cotas de implantação das infra-estruturas

acessórias – conduz à necessidade de se proceder a escavações e aterros com um saldo negativo de terras de vários milhões de metros cúbicos, cujo anulamento se fará necessariamente por recurso a manchas de empréstimo vizinhas, que importará caracterizar previamente de forma cabal.

Antecipa-se que os materiais pétreos de natureza calcária existentes nas pedreiras instaladas nos maciços jurássicos da região, designadamente nas proximidades de Alenquer, possuam características favoráveis à sua utilização como britas ou enrocamento. Adicionalmente, à excepção dos solos moles, considera-se que os solos provenientes de escavação possam ser utilizados como material de aterro.

Por sua vez, a construção dos sistemas drenantes obrigará ao recurso a materiais de granulometria escolhida.

Os trabalhos de escavação envolverão intervenções em zonas de características díspares quer em termos de topografia, quer sob os pontos de vista geotécnico e hidráulico.

### **7.3 – CONSTRUÇÃO DE ATERROS SOBRE OS SOLOS MOLES**

A construção de aterros interessará presumivelmente zonas em que as formações aluvionares possuem expressão significativa. As questões associadas à fundação de aterros nesta zona derivam essencialmente das características da unidade  $a/1$ , a qual é praticamente omnipresente nos vales aluvionares, apresentando possanças importantes.

Serão condicionantes para o desenvolvimento dos trabalhos, a cronologia de colocação de aterros e dos trabalhos hidráulicos e as técnicas de controle e melhoramento dos terrenos associadas aos sistemas de drenagem que vierem a ser adoptadas, as quais são naturalmente interdependentes.

Face ao tempo necessário à ocorrência de uma fracção considerável do processo de consolidação – seguramente não inferior a seis meses – a cronologia das operações de escavação/aterro terá que ser alvo de uma cuidada programação, de modo a otimizar simultaneamente o ritmo de construção e a segurança das obras de natureza geotécnica. Será crucial a antevisão fidedigna dos tempos de imobilização de cada parcela da área construída.

Para esse efeito, deverão ser tidos em conta os valores estimados para os coeficientes de consolidação na direcção vertical e em planos horizontais, neste último caso, em especial os obtidos “in situ”.

A informação disponibilizada pelos piezómetros instalados no final da furação das sondagens será de particular relevância para o conhecimento dos níveis piezométricos prévios à construção da obra. Dadas as dúvidas levantadas sobre o funcionamento destes aparelhos imediatamente após a sua colocação – derivadas essencialmente da utilização de aditivos na furação e que conduziram a operações de limpeza das ponteiros – considera-se que as leituras efectuadas durante os trabalhos de campo deverão ser usadas com a devida reserva.

Em documentos anteriores [13] e [19], manifestou-se a expectativa de que a presença de uma intercalação de cascalheira entre os solos superficiais das baixas aluvionares e as formações Miocénicas subjacentes introduzisse uma capacidade drenante na zona inferior daqueles solos, com vantagem para os projecto e dimensionamento e futuro desempenho daquelas medidas correctivas.

No entanto, dados os baixos valores do teor em água detectado nos solos grosseiros da unidade subjacente  $a/3$ , será de presumir não estar essa situação a ocorrer presentemente, o que não obsta a que tal venha a ocorrer no futuro sob acção compressiva.

Ainda relacionado com a deformabilidade e resistência das formações aluvionares mais superficiais, é antecipável no caso de edificações e obras de arte, se aí localizadas, o recurso a fundações por estacas atravessando os aterros em zonas restritas de modo a mobilizar os solos Miocénicos. Neste caso, no projecto e na construção das estacas deverá a ocorrência de atrito negativo no atravessamento dos solos aluvionares moles ser considerada.

#### Construção de aterros experimentais

Já que não constitui raridade os tempos de consolidação deduzidos de ensaios de laboratório serem consideravelmente superiores aos efectivamente registados em campo, podendo essa relação exceder uma ordem de grandeza, julga-se indispensável a construção de aterros experimentais nos quais se possam adoptar – para verificação cabal da sua eficiência – a maioria ou mesmo a totalidade dos seguintes procedimentos:

- definição da sequência de alteamento dos diversos aterros contemplando ou não a alternância entre aterros vizinhos;
- colocação de camadas sucessivas com espessura máxima dependentes das características dos solos;

- monitorização pormenorizada de deslocamentos e pressões intersticiais por recurso a levantamento topográfico de marcas superficiais, piezómetros de corda vibrante, inclinómetros e baterias de assentamentos;
- utilização de técnicas de melhoramento dos solos alternativas (cf. texto imediato).

É aconselhável seleccionar uma zona daquela unidade de possança representativa das que vierem a ser envolvidas na construção, para este efeito. De modo a alargar o tempo de observação, dever-se-á iniciar esta construção tão em breve quanto possível, dada a lenta evolução da dissipação de pressão intersticial induzida por acréscimo da tensão total confinante.

Não se antevê como necessária a construção de aterros experimentais em mais do que uma zona sobrejacente à unidade  $a/1$ , para a antecipação da problemática dos solos aluvionares moles, dado que, como referido no Capítulo 6, esta unidade apresenta reduzida variabilidade de características.

É indiscutivelmente vantajosa a caracterização geotécnica prévia e posterior à construção dos aterros experimentais e aplicação de eventuais métodos de melhoramento. O afastamento entre alinhamentos verticais de prospecção e o número de ensaios a realizar nesta área reduzida será naturalmente dependente do pormenor desejável nesta comparação.

#### Métodos de melhoramento dos solos

A variedade de métodos disponíveis para o melhoramento dos solos com diversos tempos de execução, custos e exigências técnicas, impõe a ponderação das vantagens e desvantagens relativas, sendo de especial utilidade testar as alternativas antecipadamente mais interessantes, no decurso dos trabalhos de aterro experimental. Deste modo, reduzir-se-á significativamente a incerteza associada à sua utilização, a qual poderá ser determinante no cumprimento do cronograma de trabalhos.

Dadas as dimensões em planta previsíveis para os aterros sobre a unidade  $a/1$ , considera-se praticamente obrigatório que o método ou métodos adoptados para melhoramento do solo facilitem a drenagem horizontal dos solos. Por outras palavras, não se deverá simplesmente recorrer à instalação de elementos portantes verticais – de que são exemplos as estacas – que não favoreçam o adensamento dos solos aluvionares moles sob o peso dos aterros sobrejacentes por drenagem e consolidação radiais.

Referem-se como possíveis métodos de melhoramento em associação ou não: (i) a pré-carga com aterro, (ii) a pré-carga por vácuo, (iii) a substituição de solos finos por solos grosseiros por compactação dinâmica, (iv) a construção de estacas de brita (vibro-substituição ou com reforço lateral por geossintéticos), (v) a construção de estacas de areia compactada (método SCP) e, finalmente, (vi) a instalação de drenos verticais de fita. A adopção de qualquer destes métodos deverá ser acompanhada do saneamento superficial e colocação de camada superficial drenante com ligação a sistemas de drenagem devidamente conectados com obras hidráulicas.

### Instrumentação geotécnica

Uma parcela não desprezável dos custos de construção dos aterros prender-se-á com a instrumentação e monitorização das grandezas geotécnicas atrás referidas, com especial realce para a pressão intersticial. Esta actividade será, seguramente, crucial para a minimização dos tempos de impedimento do uso para outros fins das áreas em tratamento.

A instrumentação a colocar deverá ter em consideração as localizações mais aconselháveis para o acompanhamento do processo de consolidação e a detecção de um eventual processo de rotura da fundação.

## 8 – Conclusões

O presente relatório constitui a síntese de um plano de trabalhos apresentado pelo LNEC à NAER, no qual se procedeu ao estudo da adequabilidade do local para o novo Aeroporto na Ota do ponto de vista geotécnico. Nele, é efectuada a sùmula da informação apresentada anteriormente em três Notas Técnicas e quatro Relatórios do LNEC e um Relatório final dos trabalhos da Keller.

Após a recolha de informação prévia a este estudo, procedeu-se à definição de um programa de ensaios que conduziu à definição, por um lado, suficientemente detalhada, e por outro económica, das características geotécnicas do local.

Foi possível mapear as unidades geotécnicas existentes no local, estimar valores para índices físicos e parâmetros para modelos interpretativos dos comportamentos mecânico e hidráulico com base em trabalhos de prospecção, ensaios de campo e de laboratório.

Antecipa-se que as informações coligidas no conjunto de relatórios acima referidos sustentem a tomada de decisões na fase de preparação de propostas por parte dos Consórcios concorrentes. Realça-se, que dado o viés sempre presente entre os modelos conceptuais interpretativos do comportamento em grande das obras e a realidade, ser muito conveniente dispor antecipadamente à construção de informação relativa a protótipos, como seja o aterro experimental, de modo a reduzir substancialmente as incertezas.

Tem-se como garantido que as vantagens económicas e na redução de prazos de execução resultantes do acesso a esta informação pelos Consórcios serão evidentes ao longo dos processos de concurso, projecto e construção.

Julga-se, no entanto, que na fase de realização do projecto dos diferentes tipos de obra, será necessário recolher informação mais detalhada em zonas localizadas, em especial as relativas à realização de escavações e fundações. Caso se revele necessário poder-se-á, ainda, proceder a ensaios laboratoriais com as amostras indeformadas sobrantes mediante especificação apropriada.

**VISTOS**

**AUTORIA**

O Chefe do Núcleo de Prospecção

Filipe Telmo Jeremias

Filipe Telmo Jeremias

O Chefe do Núcleo de Fundações

Investigador Auxiliar

Laura Caldeira

João P. Bilé Serra

O Chefe do Núcleo de Hidráulica de Estruturas

Investigador Auxiliar

Carlos Matias Ramos

O Chefe do Departamento de Geotecnia

Laura Caldeira

António Gomes Coelho

Investigador Principal

O Chefe do Departamento de Hidráulica

João Rocha

Carlos Matias Ramos

Investigador Coordenador

## 9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1990) – Novo Aeroporto de Lisboa. Ota. Estudo geológico e hidrogeológico.
- [2] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1993) – Estudos de localização do NAL. Infraestruturas. Estudo preliminar (Ref. 62).
- [3] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia. Relatório final global (Ref. 59).
- [4] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Materiais de construção (Ref. 69).
- [5] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Geologia e Hidrologia (Refs. 75,79 e 80).
- [6] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA – Estudos de localização do NAL. Águas. Relatório de Síntese (Ref. 115).
- [7] – ANA, Aeroportos e Navegação Aérea, DIA – NAL. Ota. Estudo geológico e hidrogeológico. Relatório (Ref. 142).
- [8] – *Anom.*, Análise preliminar de movimentação de terras. Configuração de pistas paralelas afastadas de 1 700 m (Ref. 42).
- [9] – Carvalho, A. M. Galopim (1968) – Contribuição para o conhecimento da Bacia Terciária do Tejo. Serv. Geol. de Portugal, Memória 5.
- [10] – Coelho, A. Gomes (1986) – Estudo por detecção remota do vale do Tejo e do sítio de Almorol com base em imagens MSS do Landsat. Relatório LNEC.
- [11] – DIA (1993) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia (Ref. 114).
- [12] – DIA (1994) – Estudos de localização do NAL. Estudos de Engenharia (Ref. 117).
- [13] – LNEC (1999) – Condições geotécnicas nas aluviões da Ota. Parecer Preliminar. Nota Técnica 21/99 – NF, LNEC.
- [14] – EPIA (1999) – Estudo Preliminar de Impacte Ambiental (Ref. 229).

- [15] – Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 Folha 30-D (Alenquer). Serv. Geol. de Portugal.
- [16] – Carta Neotectónica de Portugal na escala 1:1 000 000 (1988). Serv. Geol. de Portugal.
- [17] – Cartografia digital da área de implantação do empreendimento à escala 1:10 000.
- [18] – Fotografia aérea da zona de implantação do empreendimento à escala 1:15 000.
- [19] – LNEC (2000<sup>a</sup>) – Caracterização Geológico-Geotécnica do Local do Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. 1<sup>a</sup> Fase. Relatório 73/00 – NF.
- [20] – LNEC (2000<sup>b</sup>) – Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. Especificação de Ensaios Geotécnicos *in situ*.
- [21] – LNEC (2000<sup>c</sup>) – Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. Especificação de Trabalhos de Prospecção Geotécnica.
- [22] – Keller (2000) – Reconhecimento Geológico e Geotécnico na Zona de Implantação do Novo Aeroporto na Ota. Relatório Final Descritivo. Volumes I, II e III.
- [23] – LNEC (2001<sup>a</sup>) – Prospecção Geofísica no Local do Novo Aeroporto de Lisboa na Ota. 2<sup>a</sup> Fase. Relatório 207/01 – NP.
- [24] – LNEC (2001<sup>b</sup>) – Novo Aeroporto na Ota. Ensaios Laboratoriais de Caracterização Geotécnica. Relatório 256/01 – NF.
- [25] – LNEC (2001<sup>c</sup>) – Novo Aeroporto na Ota. Ensaios de Campo para Caracterização Geotécnica. Interpretação dos resultados. Relatório – NF.

## **ANEXO I – DESENHOS**

**ANEXO II – PERFIS INDIVIDUAIS  
DAS SONDAGENS**



**MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO SOCIAL**

**Laboratório Nacional de Engenharia Civil**

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

NÚCLEO DE FUNDAÇÕES

Proc. 053/01/13899

NÚCLEO DE PROSPECÇÃO

Proc. 054/1/14530

---

**NOVO AEROPORTO NA OTA**

**ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO**

**RELATÓRIO DE SÍNTESE**

**RELATÓRIO – NF/NP**

**Lisboa, Fevereiro de 2002**

---

Estudo realizado para a NAER – Novo Aeroporto, S. A.

---

**I&D  
GEOTECNIA**

NOVO AEROPORTO NA OTA. ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO.  
RELATÓRIO DE SÍNTESE

OTA NEW AIRPORT. GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL STUDY.  
GENERAL REPORT

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>- INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>- RECOLHA DA INFORMAÇÃO EXISTENTE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>- GEOLOGIA</b>	<b>5</b>
3.1	- ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL	5
3.2	- CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DO SÍTIO	6
3.3	- LITOESTRATIGRAFIA	11
3.3.1	- <i>Depósitos superficiais</i>	11
3.3.2	- <i>Formações Terciárias</i>	13
3.4	- ESTRUTURA GEOLÓGICA	13
3.5	- HIDROGEOLOGIA	15
3.6	- TECTÓNICA	15
<b>4</b>	<b>- RECONHECIMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO</b>	<b>17</b>
4.1	- OBJECTIVOS DO PROGRAMA DE PROSPECÇÃO	17
4.2	- PROGRAMA DE PROSPECÇÃO	19
4.2.1	- <i>Prospecção nas baixas aluvionares</i>	20
4.2.2	- <i>Prospecção nas formações miocénicas aflorantes</i>	28
<b>5</b>	<b>- CONDIÇÕES GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>31</b>
5.1	- INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SONDAGENS	31
5.1.1	- <i>Depósitos aluvionares e de terraço</i>	31
5.1.2	- <i>Formações miocénicas</i>	34
5.2	- PROSPECÇÃO GEOFÍSICA. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	35
<b>6</b>	<b>- CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS</b>	<b>37</b>
6.1	- FORMAÇÕES SUPERFICIAIS	37
6.1.1	- <i>Depósitos superficiais</i>	37
6.1.2	- <i>Depósitos aluvionares</i>	38
6.1.3	- <i>Depósitos de terraço</i>	49
6.2	- FORMAÇÕES DO SUBSTRATO	50
<b>7</b>	<b>- ANTECIPAÇÃO DAS PRINCIPAIS CONDICIONANTES À IMPLANTAÇÃO DO AEROPORTO</b>	<b>53</b>
7.1	- PROBLEMAS DE NATUREZA HIDRÚLICA	53
7.2	- PROBLEMAS DE NATUREZA GEOTÉCNICA	54
7.3	- CONSTRUÇÃO DE ATERROS	55
<b>8</b>	<b>- CONCLUSÕES</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>61</b>

## ANEXO I – DESENHOS

## ANEXO II – PERFIS INDIVIDUAIS DAS SONDAGENS



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Zona a E do Camarnal. Fig. 2 – Ribeira da Ota – trecho com direcção N-S. ....	7
Fig. 3 – Ribeira da Ota – trecho com direcção E-W. ....	8
Fig. 4 – Ribeira da Ota – zona de confluência com a ribeira de Alenquer. ....	8
Fig. 5 – Ribeira de Alenquer – vista de E para W. ....	9
Fig. 6 – Ribeira de Alvarinho – vista de SE para NW. ....	9
Fig. 7 – Canal na ribeira da Ota. ....	10
Fig. 8 – Inundação parcial da ribeira da Ota (Inverno de 2001). ....	10
Fig. 9 – Extracto da Carta Geológica na escala 1/50 000 (Folha 30D – Alenquer) com a localização da área de implantação do empreendimento. ....	12
Fig. 10 – Aspecto das formações miocénicas da unidade M <sup>1-4</sup> . ....	14
Fig. 11 – Pormenor de níveis arenosos com diferentes colorações; salienta-se a ligeira inclinação das camadas. ....	14



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Trabalhos de prospecção e ensaios realizados nas baixas aluvionares.....	22
Quadro 2 – Trabalhos de prospecção e ensaios efectuados nas formações miocénicas aflorantes.....	29
Quadro 3 – Complexos geotécnicos.....	32
Quadro 4 – Características laboratoriais do complexo al <sub>1</sub> .....	40



## ÍNDICE DE DESENHOS

Desenho 1 – Planta geológica e de localização dos trabalhos de prospecção da 2ª fase.

Desenho 2 – Perfil geológico-geotécnico 1.

Desenho 3 – Perfil geológico-geotécnico 2.

Desenho 4 – Perfil geológico-geotécnico 3.

Desenho 5 – Perfil geológico-geotécnico 4.

Desenho 6 – Perfil geológico-geotécnico 5.

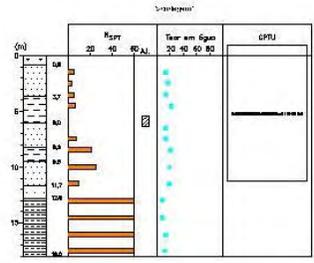
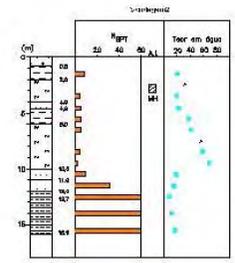
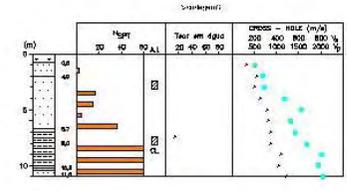
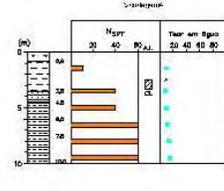
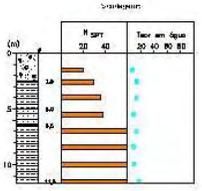
Desenho 7 – Perfil geológico-geotécnico 6.

Desenho 8 – Perfil geológico-geotécnico 7.

Desenho 9 – Perfil geológico-geotécnico 8.

Desenho 10 – Perfil geológico-geotécnico 9.

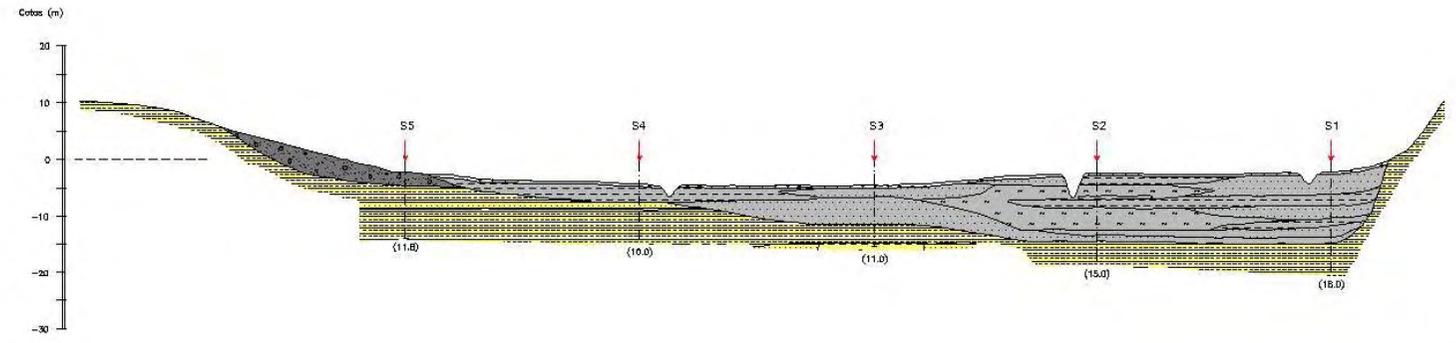
# **ANEXOS**



- FORMAÇÕES SUPERFICIAIS**
- Atenua (A)
  - Terra vegetal (V)
  - Complexo c1 - Argilas médias orgânicas muito moles a moles
  - Complexo c2 - Argilas finas alto-argilosas
  - Complexo c3 - Argilas médias a grossas, com seixos
  - Complexo c4 - Argilas e siltes, por vezes, carbonosas
  - Depósitos de terraço (T) - Argilas com seixos e cascalhos
- FORMAÇÕES DO SUBSTRATO**
- Complexo N1 - Argilas diluídas de granulometria variável, por vezes, com seixos
  - Complexo N2 - Argilas e siltes, por vezes, carbonosas e com seixos

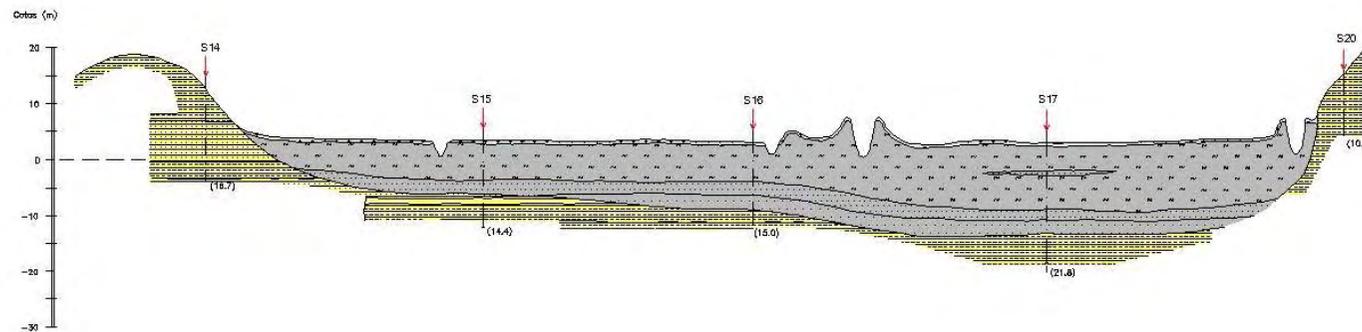
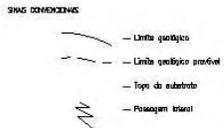
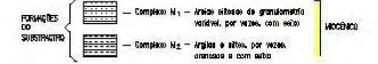
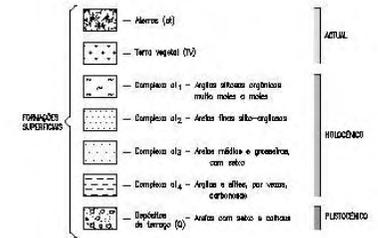
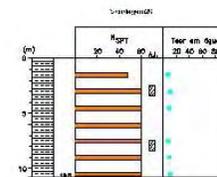
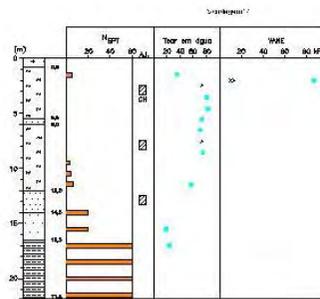
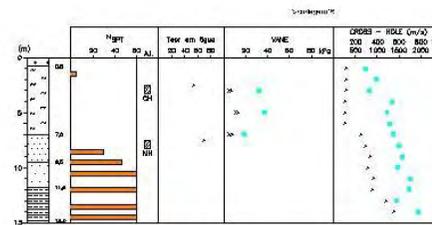
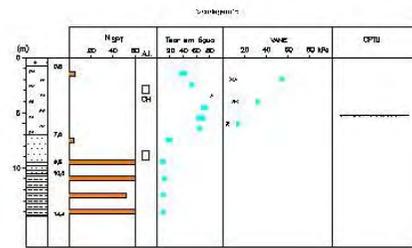
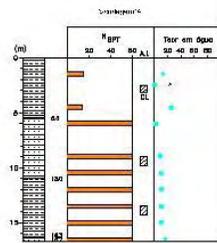
- SINAIS GEOTÉCNICOS**
- Limite geotécnico
  - Limite geotécnico provável
  - Tope do substrato
  - Passagem lateral

- SINAIS GEOTÉCNICOS**
- v (2) (SPT)
  - v (2) (Lst)
  - S<sub>u</sub> (PR) (sco)
  - S<sub>u</sub> (PR) (rem&us)
  - S<sub>u</sub> (PR) (arm&da op&e B vol&e)
  - V<sub>p</sub> (m/s)
  - V<sub>s</sub> (m/s)



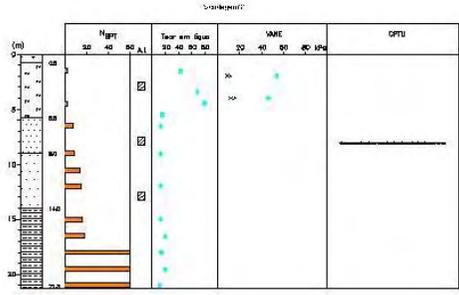
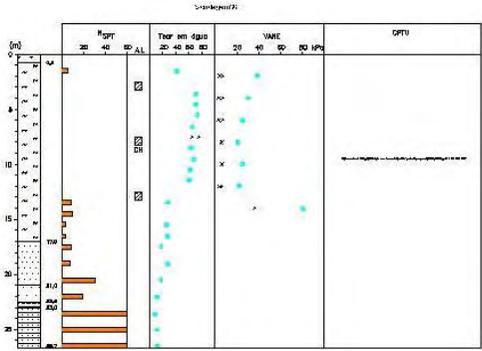
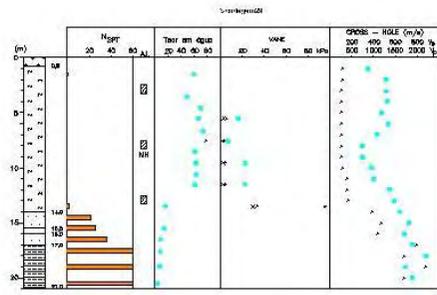
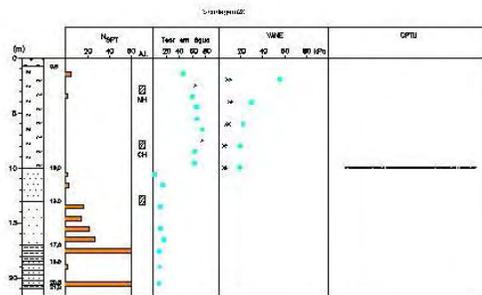
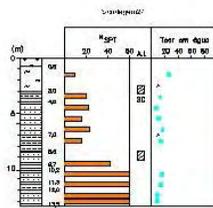
2024 102 Por: gcu.gcu.gcu.00104.1

LNED - 11 - 2022



228 21 10 0 20" gouge ou gouce ou 2

Linha 11 - 2011  
v. 1.010

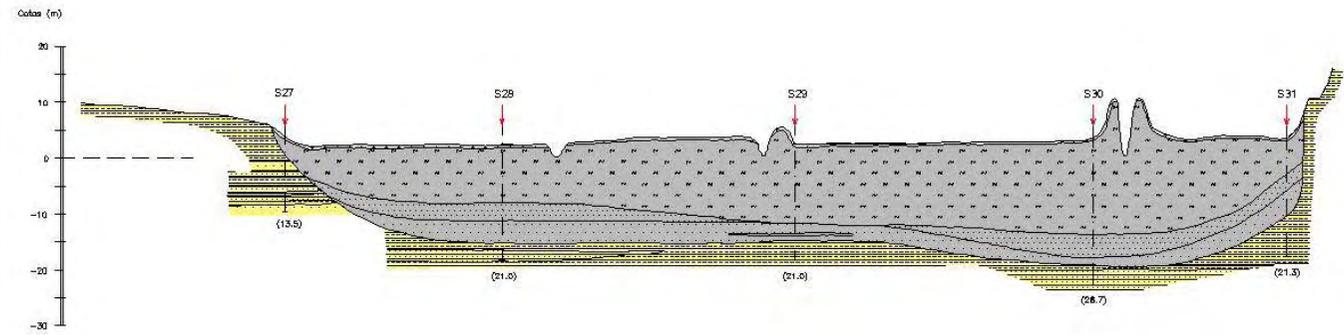


- FORMAÇÕES SUPERFICIAIS**
- Aluvial (al)
  - Terra vegetal (TV)
  - Complexo al<sub>1</sub> — Argilas silteosas orgânicas muito molés e molés
  - Complexo al<sub>2</sub> — Argilas finas silte-argilosas
  - Complexo al<sub>3</sub> — Argilas médias e grossas com silte
  - Complexo al<sub>4</sub> — Argilas e siltes, por vezes carbonáceas
  - Depósitos de terrço (D) — Areias com silte e calcáreas
- ACTUAL**
- PROJECCÃO**

- FORMAÇÕES SUBSTRATAS**
- Complexo N<sub>1</sub> — Areias silteosas de granulometria variável, por vezes, com silte
  - Complexo N<sub>2</sub> — Argilas e siltes, por vezes arenosas e com silte
- MÓDULO**

- SINAIS CONDIÇÕES**
- Limita geotécnica
  - Limita geotécnica provável
  - Topo de estratito
  - Passagem íntima

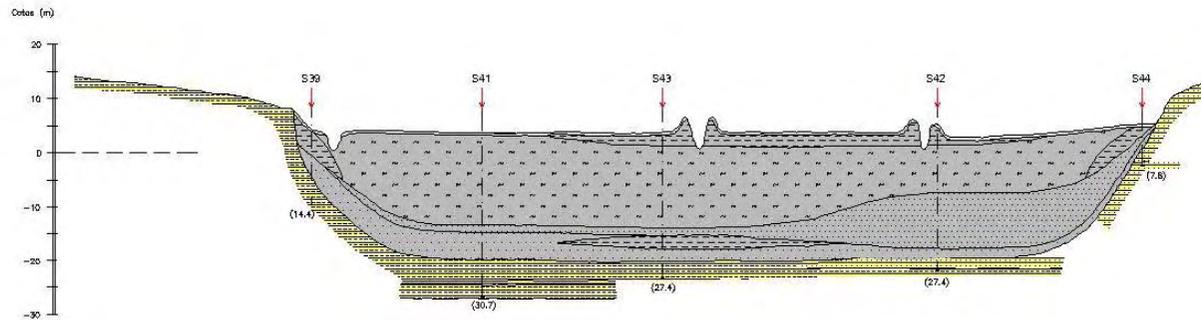
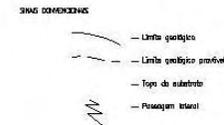
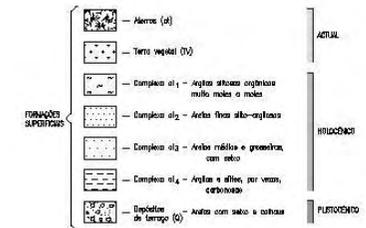
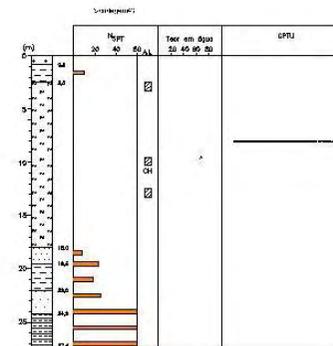
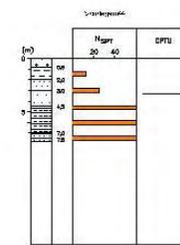
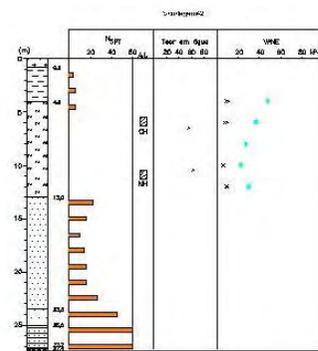
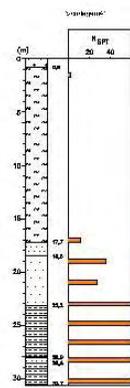
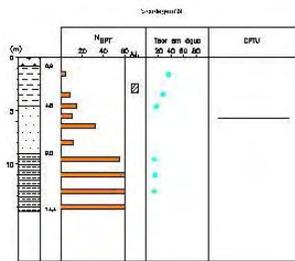
- SINAIS CONDIÇÕES**
- v (K) (SPT)
  - v (K) (Est)
  - S<sub>u</sub> (kPa) (Est)
  - S<sub>u</sub> (kPa) (média)
  - S<sub>u</sub> (kPa) (média x/3)
  - V<sub>p</sub> (m/s)
  - V<sub>s</sub> (m/s)



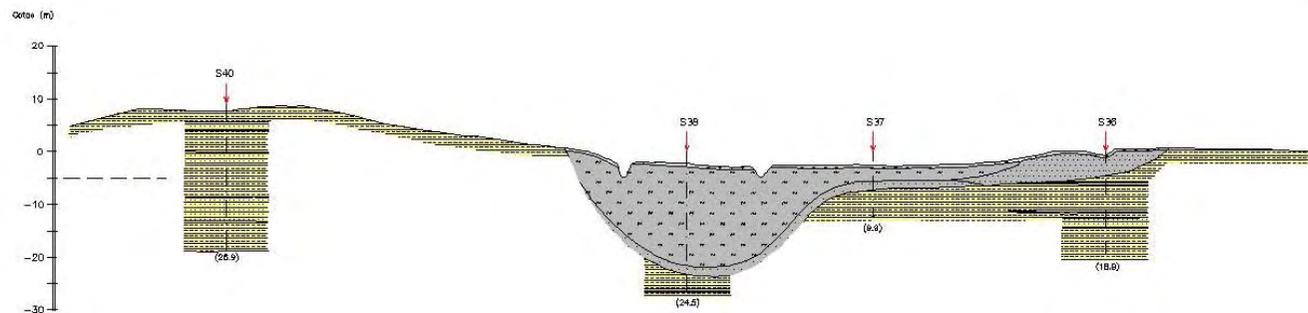
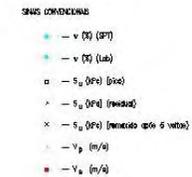
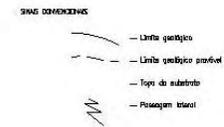
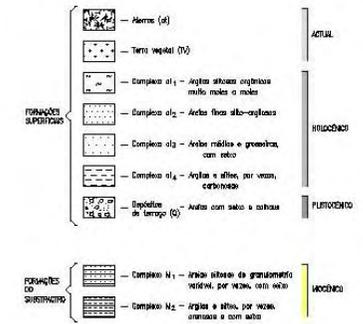
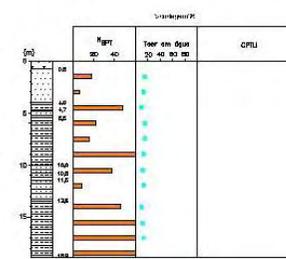
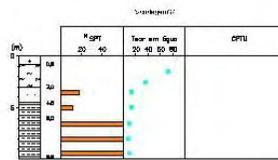
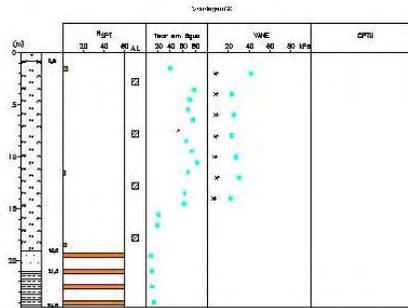
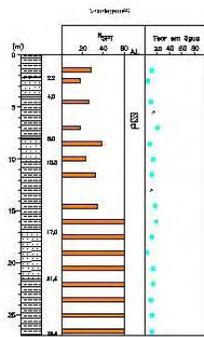
© 2011 K4 - Proj. geotécnico geotécnico

Linhas: H - 100%; K - 100%

LNED - Proj. 05/01/13899  
Obra 054/041/1195







2024 10 7 10:40:00

Rev. 1 - 2024

LNEC - Proc. 055/01/13839  
Obra 054/041/1196