



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Caracterização geotécnica (ensaio do penetrómetro dinâmico médio) em pormenor do campus do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Diana Isabel Cortinhas Rodrigues



2016



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Caracterização geotécnica (ensaio do penetrómetro dinâmico médio) em pormenor do campus do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Diana Isabel Cortinhas Rodrigues

1110790

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor João Paulo Meixedo, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Maria José Coxito Afonso

Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Sílvia Vieira Pinto Alves da Costa Spínola

Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Jorge Manuel Cabral Machado de Carvalho

Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente** (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, pela Licenciada **Diana Isabel Cortinhas Rodrigues**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 15 de Novembro de 2016 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.

Dedico esta tese à minha avó paterna

Agradecimentos

São devidos agradecimentos a todos que contribuíram de uma forma ou outra para a realização da dissertação, citando seguidamente aqueles que merecem o devido realce.

Em especial, agradecer, ao meu orientador Doutor João Paulo Meixedo, pela paciência, pela disponibilidade e pela ajuda dispensada durante a realização da dissertação.

Aos meus pais e à minha irmã. Para além de serem o meu principal pilar, foram incansáveis relativamente à disponibilidade de ajuda em qualquer que fosse o assunto, à disponibilidade de apoio sempre que precisei e ao companheirismo que sempre tiveram para comigo, independentemente de tudo.

Quero também agradecer especialmente ao meu namorado, João Azevedo, que sempre me acompanhou nos bons e maus momentos durante este percurso, disponibilizando-se sempre que possível para ajudar a realizar todos os ensaios em campo, bem como um ou outro aspeto abordado na dissertação. Também a calma que me transmitiu durante todo o processo foi crucial para o bom funcionamento do mesmo.

Ao meu colega/amigo Carlos Dias, companheiro nos ensaios de campo, mostrando sempre disponibilidade para me ajudar e auxiliar em tudo o que foi preciso. Foi quem mais me acompanhou na fase inicial da dissertação, até porque estávamos a fazê-lo em conjunto, a qual me proporcionou bastantes bons momentos.

Agradeço também ao meu colega Bruno Dias pela disponibilidade da sua ajuda, que sempre ofereceu para a realização dos ensaios de campo.

De uma forma particular aos meus amigos de Viseu: Rita, Ana Isabel, Jéssica, Sónia, Márcia, André, Diogo e a Sara, que me proporcionam sempre momentos muito bons, sendo os principais responsáveis por me alegrarem quando as coisas corriam menos bem.

À minha melhor amiga, Patrícia, que apesar de longe, esteve sempre presente e pronta a acalmar-me em situações de aperto.

Palavras-chave

Caracterização Geotécnica, Prospeção Geotécnica, Penetrómetro Dinâmico Médio

Resumo

Atualmente, qualquer que seja o projeto associado a uma obra de engenharia, requer o devido estudo do terreno que irá estar na base dessa mesma obra. Este estudo é conseguido através da prospeção geotécnica, que se divide em dois grandes grupos: prospeção geofísica e prospeção mecânica. Dentro de cada um destes grupos, são várias as metodologias associadas a ensaios de campo e/ou laboratório possíveis de se considerar a fim de se obterem os resultados pretendidos. No caso desta dissertação, foi abordado, de forma pormenorizada, o ensaio do penetrómetro dinâmico médio (PDM) incluído no grupo da prospeção mecânica. O PDM tem como principal objetivo a obtenção do índice de resistência à penetração que determinado solo oferece, podendo este ser relacionado com outro tipo de grandezas para que se conheça o comportamento geomecânico do terreno. Após descrita em pormenor toda a metodologia relacionada com este ensaio, seguiu-se a demarcação de ensaios a realizar em toda a extensão do campus do ISEP, com o objetivo final de fornecer um contributo importante à futura definição da carta geotécnica de pormenor daquele campus. Numa fase posterior e a fim de se obter a evolução da resistência à compressão em profundidade, foram realizados vários perfis que incluem o máximo de furos alinhados entre si. Discutiu-se os seus resultados e apresentou-se uma sugestão generalizada para a dita caracterização geotécnica do campus do ISEP. Foi ainda proposta a realização de modelação geoestatística, com o intuito de se perceber como cada um dos zonamentos considerados, se comportam a partir de uma superfície moldada. Posto isto, e para finalizar, são tidas em consideração algumas das principais conclusões sobre a validade do ensaio para este tipo de trabalhos.

Keywords

Geotechnical Characterization, In Situ Geotechnical Investigations, Dynamic Penetrometer Medium

Abstract

Nowadays, any engineering related project requires the previous study of the terrain where it will be located. The study is made by the geotechnical exploration, which is divided in two major groups: geophysical exploration and mechanical exploration. Within those groups there are many methodologies related to field and/or laboratories probes that are possible to consider in order to acquire the best results. In this dissertation, it was made a pormenorized aproach to the dynamic probing medium (DPM) which is included in the mechanical prospection group. The main goal of DPM is the obtainment of the penetration resistance index that a certain soil offers. This can be related with another orders of magnitude in order to study the geomechanical reaction of the terrain. After all the related methodology was described, it was made the demarcation of the tests to be performed within ISEP campus, with the final target of contribute to the future definition of the pormenorized geotechnical letter of this campus. In an advanced phase, in order to obtain the compressive strength in depth, there were made various profiles that include the maximum aligned drills within them. Their results were discussed and it was presented a generalized suggestion to the geotechnical caracterization of ISEP campus. It was also proposed to carry out three-dimensional geostatistical modeling in order to understand how each of the zoning, behave as a molded surface. To sum up, some of the main conclusions related to the probing validity to this kind of works, are put to consideration.

Índice

1. Introdução	3
1.1. Objetivos	5
1.2. Descrição geral da dissertação	5
2. Metodologias.....	11
2.1. Definição do penetrómetro dinâmico	11
2.2. Descrição do ensaio.....	13
2.3. Campo de aplicação	19
2.4. Vantagens e desvantagens.....	20
3. Revisão bibliográfica	23
3.1. Estado da arte.....	23
3.2. Prospeção Mineira vs Prospeção Geotécnica	41
3.3. Prospeção Geotécnica	42
3.3.1. <i>Prospeção mecânica</i>	45
3.3.2. <i>Prospeção geofísica</i>	45
3.3.3. <i>Ensaio de campo/ In situ</i>	47
3.4. Modelação geoestatística	48
3.4.1. <i>Enquadramento Histórico</i>	48
3.4.2. <i>Resumo introdutório à geoestatística</i>	48
4. Avaliação do índice de resistência do campus do ISEP através dos ensaios de campo	55
4.1. Apresentação da zona estudada	55
4.1.1. <i>Enquadramento geográfico</i>	55
4.1.2. <i>Enquadramento geológico</i>	56
4.2. Introdução aos ensaios.....	59
4.3. Apresentação dos ensaios	62
4.4. Exemplo da obtenção dos resultados	64
4.5. Apresentação dos perfis obtidos.....	68
4.6. Caracterização e análise dos perfis obtidos	71
4.6.1. Perfil A-A'	73
4.6.2. <i>Perfil B-B'</i>	74

4.6.3.	<i>Perfil C-C'</i>	76
4.6.4.	<i>Perfil D-D'</i>	77
4.6.5.	<i>Perfil E-E'</i>	78
4.6.6.	<i>Perfil F-F'</i>	79
4.6.7.	<i>Perfil G-G'</i>	81
4.6.8.	<i>Perfil H-H'</i>	82
4.6.9.	<i>Perfil I-I'</i>	83
4.6.10.	<i>Perfil J-J'</i>	85
4.6.11.	<i>Perfil K-K'</i>	86
4.6.12.	<i>Perfil L-L'</i>	87
4.6.13.	<i>Perfil M-M'</i>	89
4.6.14.	<i>Perfil N-N'</i>	90
4.6.15.	<i>Perfil O-O'</i>	91
4.6.16.	<i>Perfil P-P'</i>	93
4.6.17.	<i>Perfil Q-Q'</i>	94
4.6.18.	Apresentação dos mapas gerados.....	95
4.7.	Análise/Discussão dos resultados	98
5.	Conclusão	105
6.	Desenvolvimentos futuros	111
7.	Bibliografia	115

Índice de figuras

Figura 1 – Esquematização do penetrómetro dinâmico médio	13
Figura 2 – Preparação do terreno e colocação da ponteira cónica no mesmo	15
Figura 3 – Colocação adequada do motor, do pilão e do pedal para o começo do ensaio	16
Figura 4 – Introdução da vara na ponteira cónica e do batente guia	16
Figura 5 – Início da cravação da vara através de sucessivos golpes originados pelo pilão	17
Figura 6 – Introdução de uma nova vara para dar continuidade ao ensaio	17
Figura 7 – Extração das varas recorrendo a equipamento apropriado	18
Figura 8 – Colocação de todas as varas no seu devido lugar para o transporte até ao local do próximo ensaio	18
Figura 9 – Esquema resumido das subdivisões da prospeção geotécnica	44
Figura 10 – Esquematização dos métodos geofísicos	46
Figura 11 – (A) Localização geográfica do distrito do Porto; (B) Localização geográfica do ISEP ...	55
Figura 12 – Enquadramento geotécnica regional da faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (Zona Ossa Morena de Portugal) no maciço ibérico	56
Figura 13 – Mapa geológico de Portugal	57
Figura 14 – Origem dos ensaios realizados	59
Figura 15 – Demarcação de todos os furos relativos aos ensaios, na planta do campus do ISEP ..	63
Figura 16 – Exemplo de boletim do ensaio de campo PDM	64
Figura 17 – Exemplo de um gráfico de índice de resistência do solo à penetração	67
Figura 18 – Disposição espacial dos perfis considerados	69
Figura 19 – Perfil longitudinal A-A'	72
Figura 20 – Perfil longitudinal B-B'	74
Figura 21 – Perfil longitudinal C-C'	75
Figura 22 – Perfil longitudinal D-D'	76
Figura 23 – Perfil longitudinal E-E'	77
Figura 24 – Perfil longitudinal F-F'	78
Figura 25 – Perfil longitudinal G-G'	80
Figura 26 – Perfil longitudinal H-H'	81
Figura 27 – Perfil longitudinal I-I'	82

Figura 28 – Perfil longitudinal J-J'	84
Figura 29 – Perfil longitudinal K-K'	85
Figura 30 – Perfil longitudinal L-L'	86
Figura 31 – Perfil longitudinal M-M'	88
Figura 32 – Perfil longitudinal N-N'	89
Figura 33 – Perfil longitudinal O-O'	90
Figura 34 – Perfil longitudinal P-P'	92
Figura 35 – Perfil longitudinal Q-Q'	93
Figura 36 – Compilação dos mapas referentes aos 4 zonamentos em 3D Wireframe	95
Figura 37 – Compilação dos mapas referentes aos 4 zonamentos em 3D Surface	96
Figura 38 – Esboço geral da caracterização do campus do ISEP, no que se refere à espessura relativa de cada camada	99

Índice de quadros

Quadro 1 - Características dos vários penetrómetros	12
Quadro 2 - Vantagens do ensaio do penetrómetro dinâmico	20
Quadro 3 - Desvantagens do ensaio do penetrómetro dinâmico	20
Quadro 4 - Fases da prospeção geotécnica e respetivas funções	43
Quadro 5 - Resumo das diferenças entre prospeção geotécnica direta e indireta	44
Quadro 6 - Ensaio in situ.....	47
Quadro 7 - Relação entre os alinhamentos com os perfis	69
Quadro 8 - Apresentação dos perfis	71

Índice de anexos (ver CD-ROM)

Anexo I – Boletins dos ensaios de campo

Anexo II – Gráficos de resistência à penetração do solo

Anexo III – Imagens AutoCAD dos perfis geotécnicos interpretativos

Anexo III-I – Perfis A-A'; B-B'; E-E'; F-F'

Anexo III-II – Perfis C-C'; I-I'; J-J'; L-L'; N-N'

Anexo III-III – Perfis D-D'; G-G'; H-H'; K-K'

Anexo III-IV – Perfis M-M'; O-O'; P-P'; Q-Q'

Lista de abreviaturas

CBR – California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)

CPT – Cone Penetrometer Test (Ensaio de Penetração de Cone)

CPTU – Piezocone Penetration Test (Ensaio de Penetração de Piezocone)

DEG – Departamento de Engenharia Geotécnica

DMT – Dilatometric Marchetti Test (Ensaio Dilatométrico)

DP (PD) – Dynamic Penetration (Penetrómetro Dinâmico)

DPH (PDP) – Dynamic Penetration Heavy (Penetrómetro Dinâmico Pesado)

DPL (PDL) – Dynamic Penetration Light (Penetrómetro Dinâmico Leve)

DPM (PDM) – Dynamic Penetration Medium (Penetrómetro Dinâmico Médio)

DPSH (PDSP) – Dynamic Penetration Super-Heavy (Penetrómetro Dinâmico Super-Pesado)

EC7 – Euro Código 7

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

NF – Nível Freático

NO – Noroeste

RDA – Resistência Dinâmica Aparente

SPT – Standard Penetration Test (Ensaio de Penetração Padrão)

ZG – Zonamento Geotécnico

ZG1 – Zonamento Geotécnico 1

ZG2 – Zonamento Geotécnico 2

ZG3 – Zonamento Geotécnico 3

ZG4 – Zonamento Geotécnico 4

M – Massa do pilão (kg)

h – Altura da queda do pilão (cm)

s – Secção da ponteira cônica (cm²)

(M + p) – Total do conjunto: massa do pilão e massa do conjunto do equipamento excluindo o pilão (kg)

pv – Peso de uma vara (kg)

Nv – Número de varas

pn – Penetração (cm)

1 - Introdução

1. Introdução

A presente dissertação foi realizada e concretizada no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Estágio/Projeto, fazendo esta parte do 2º ano do curso Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, de forma a obter o grau de Mestre.

Seguindo a linha de investigação do tema apresentado, “Caracterização geotécnica em pormenor do campus do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)”, é importante realçar que na verdade o estudo que foi feito e descrito seguidamente é considerado como um pequeno passo para que mais tarde seja possível a concretização de um grande projeto, nomeadamente a carta geotécnica de pormenor do campus do ISEP. Este projeto tem vindo a tomar proporções satisfatórias, uma vez que já foram tomadas algumas iniciativas de forma à sua conclusão. Para isso, são necessários estudos cada vez mais consistentes e rigorosos do local e também um cruzamento de várias metodologias possíveis de se aplicarem para esse mesmo efeito. Posto isto, segue-se então uma pequena contribuição para o projeto através da prospeção.

De uma forma geral pode-se admitir a existência de dois tipos de prospeção, a mineira e a geotécnica. Ambas consistem no mesmo princípio, conhecimento do subsolo, mas direcionadas para propósitos diferentes, a primeira referida para reconhecimento de georrecursos e a segunda, reconhecimento do terreno.

Seguidamente será exposta uma pequena introdução à prospeção geotécnica, já que será o tema principal da dissertação.

Atualmente e com o decorrer do tempo, afigura-se cada vez mais a necessidade do estudo e análise do solo para qualquer obra a realizar, pois uma série de numerosos acidentes têm vindo a ocorrer em grandes obras de engenharia, o que mostra uma inadequada perceção dos princípios até então adotados, conseguindo assim através deste, reduzir os mesmos. Este tipo de estudos é realizado antes da obra como também durante e após a mesma, de forma a avaliar as condições do local e existir um controlo a longo prazo da situação da obra e do edificado.

Através da prospeção geotécnica é possível então obter o dito estudo recorrendo a várias metodologias e realização de ensaios de prospeção, tendo estes um papel fundamental no projeto geotécnico, já que permitem a determinação das características e propriedades mecânicas dos

solos, de forma a prever, tanto quanto possível, o seu comportamento, sendo estes dois parâmetros diretamente proporcionais, ou seja, quanto melhor e maior a caracterização conseguida melhor é a previsão do comportamento.

Dentro da prospeção geotécnica, existem técnicas disponíveis para se obter os objetivos descritos anteriormente, nomeadamente os ensaios laboratoriais e de campo/*in situ*.

Os dois grandes grupos referidos anteriormente são servidos por diversos ensaios com um objetivo bem definido, sendo esse, diferente entre todos. No entanto quando é possível e necessário, acontece inúmeras vezes o cruzamento de informações provenientes de dois ou mais ensaios de forma a relacionar essa mesma informação, a fim de se obter um estudo mais completo e o mais verídico possível. O cruzamento é, em grande maioria, realizado através de correlações que existem, obtendo diversas grandezas necessárias para determinado estudo, as quais não eram possíveis de se obterem através de um só tipo de ensaio.

Após realizados os ensaios e devida análise dos resultados obtidos, torna-se possível então a conclusão acerca das características geotécnicas que ditam o comportamento mecânico do solo que se pretende avaliar, seja em situação de construção, reabilitação, entre outros aspetos que o justifiquem.

Numa fase posterior são aliadas duas áreas distintas, a geotecnia e a estatística, resultando assim a geoestatística. Esta resume-se a variadas técnicas e métodos que têm como principal objetivo a verificação da distribuição de frequência dos dados a analisar, neste caso as cotas referentes ao aparecimento de cada zonamento, interpretando-os de forma a entender uma aparente aleatoriedade dos dados, mas com uma possível estruturação espacial, representando assim uma base da estimativa de correlação dos dados. Para isto, recorreu-se ao *software* Surfer 9.0.

O Surfer caracteriza-se por ser um motor que leva à interpolação de determinado conjunto de dados convertidos uniformemente, e possíveis modelações para os mesmos, podendo assim ser utilizado em diversas áreas. Irá transformar os dados de interesse a uma análise, inseridos no programa, em variadas redes a fim de se obterem mapas (usando algoritmos matemáticos para gerar as curvas) de dispersão-tendência de forma a existir perceção da correlação desses mesmos dados. Todos os aspetos dos referidos mapas podem ser personalizáveis, bem como modificáveis virtualmente para a devida apresentação que se pretenda. O mais importante é saber verificar o significado do resultado obtido para que o mapa, entendido como modelo, possa ser útil para a explicação do fenómeno em estudo e principalmente para a sua previsão em situações futuras.

1.1. Objetivos

A dissertação terá como ideia base a realização de uma campanha de sondagens com recurso ao ensaio de campo Penetrómetro Dinâmico Médio (PDM), propriedade do Laboratório de Geologia e Materiais de Construção (LGMC) do ISEP. Apesar da realização dessa campanha de prospeção, e com o intuito de cobrir a maior área possível do local de estudo, duas outras campanhas anteriormente realizadas foram também consideradas, já que apresentavam resultados de ensaios efetuados em zonas em que atualmente não era possível aceder, uma vez que já se encontram edificadas. O cruzamento de todos os dados obtidos é fulcral, tendo assim como principal objetivo desta mesma dissertação, a definição e caracterização da capacidade resistente dos solos existentes no campus do ISEP.

A caracterização passa realmente pela análise de cada um dos ensaios obtidos, mas de forma a ser possível uma avaliação em maior escala, opta-se pela realização de perfis geotécnicos (explicados e detalhados posteriormente) que resultam do cruzamento dos vários ensaios a considerar. Os perfis são obtidos através do alinhamento dos ensaios, adquirindo orientação vertical, horizontal e até mesmo diagonal, sendo, portanto, ponderado o número de golpes que foram necessários, para que se desse a penetração da vara e, agrupado de forma a obter-se os vários zonamentos. Zonamentos estes que fazem parte do principal objetivo do estudo realizado na dissertação.

Apesar da geoestatística estar em pequeno plano na dissertação, esta tem também um papel fundamental no que diz respeito aos objetivos da mesma, passando pelo facto de se obter uma modelação da superfície de cada zonamento, a fim de se perceber como é que estes se comportam quando avaliados desta forma.

Realça-se um outro objetivo, neste caso secundário, mas não menos importante, sendo ele a realização de uma carta geotécnica do campus do ISEP a longo prazo, como repetido anteriormente. Para tal, é necessário que trabalhos como estes sejam levados a cabo.

1.2. Descrição geral da dissertação

No primeiro capítulo é introduzido o tema da dissertação, o enquadramento do estudo e da realização da mesma, os objetivos principais que se pretende atingir, e as metodologias/procedimentos adotados ao longo de todos os trabalhos tanto em campo como na fase de análise dos resultados.

No segundo e terceiro capítulos, apresentou-se a revisão bibliográfica com o intuito de descrever a diferença entre a prospeção mineira e a prospeção geotécnica. Posteriormente caracterizou-se a prospeção geotécnica, dividindo-a nas suas possíveis vertentes tais como prospeção geofísica, prospeção mecânica e ensaios *in situ*. Ainda dentro do segundo capítulo, e por fim, é caracterizado em pormenor o ensaio anteriormente referido e utilizado, isto é, o penetrómetro dinâmico, referindo o seu campo de aplicação, vantagens, desvantagens, entre algumas das suas particularidades.

O quarto capítulo apresenta o trabalho experimental que se realizará, bem como os seus objetivos, incluindo os principais materiais e métodos adquiridos e adotados. Também dentro deste, será citado o planeamento do trabalho de campo com a respetiva execução das sondagens já estipuladas.

O quarto capítulo divide-se ainda em 6 subcapítulos. O primeiro tem como objetivo a apresentação da zona estudada, referenciando de uma forma muito superficial e geral o enquadramento geográfico e geológico-geotécnico, apenas com o intuito de se perceber o seu comportamento no que toca a estas duas particularidades. No segundo subcapítulo são introduzidos todos os ensaios que fazem parte da dissertação, distinguindo e justificando assim a origem dos mesmos. Também faz parte do segundo subcapítulo, o esclarecimento das dificuldades e decisões que tiveram que ser tomadas à medida que se iam realizando os ensaios.

Seguidamente são apresentados os ensaios, através de uma imagem geral da localização dos mesmos para que haja uma melhor visualização e perceção da área que os mesmos ocupam, apresentando posteriormente o boletim de anotação do número de golpes, a par da explicação dos cálculos e respetivas fórmulas que são necessários realizar a fim de se obter as tensões admissíveis finais, bem como o gráfico gerado que tem como objetivo a interpretação do índice de resistência à penetração. Após todas as apresentações realizadas no que diz respeito aos ensaios, segue-se então a apresentação dos perfis obtidos através de uma breve explicação justificativa da realização dos mesmos, e da decisão do traçado de cada linha de perfil. Obtida a definição dos perfis a realizar, são então cruzados os ensaios que fazem parte de determinado perfil, num programa específico de desenho, resultando assim a sua apresentação em imagem. Seguindo-se assim a geoestatística, com o objetivo de se obter mapas através da modelação tridimensional de cada zonamento considerado para que seja analisada a concordância entre os mesmos. Finalmente, e no último subcapítulo segue a análise e discussão crítica de cada um dos perfis obtidos e de cada mapa gerado.

O quinto capítulo ditará todas as conclusões importantes retiradas ao longo de toda a execução prática e teórica dos trabalhos, discutindo e referindo sobre qual será a importância e contribuição do PDM para este tipo de trabalhos.

No sexto capítulo são então apresentadas as perspectivas e sugestões para futuras pesquisas relacionadas com a caracterização geotécnica do ISEP, de modo a obter-se a carta geotécnica do mesmo.

O sétimo capítulo refere toda a bibliografia a que foi necessário recorrer para a realização da dissertação bem como outras fontes de informação com o mesmo intuito.

2 - Metodologias

2. Metodologias

2.1. Definição do penetrómetro dinâmico

Folque (1986) admite que os ensaios de penetração *in situ* têm sido genericamente utilizados para a execução de projetos de fundações, estabilidade de taludes e outras obras geotécnicas. Destes, destacam-se dois ensaios penetrométricos, sendo eles o Standard Penetration Test (SPT) e o Penetrómetro Dinâmico (PD).

Depois de uma extensa pesquisa, recolha e tratamento bibliográfico, o estudo irá focar-se no ensaio do penetrómetro dinâmico, descrito seguidamente, uma vez que se trata da metodologia escolhida para a presente dissertação e logicamente recairá essencialmente neste tipo de ensaio.

Existe uma diversidade bastante alargada tanto de penetrómetros que se possam empregar no mercado, como de teorias e regras para interpretação dos seus resultados, constituindo, por vezes, uma difícil seleção para os técnicos familiarizados com os reconhecimentos geotécnicos.

No presente caso e para o trabalho em questão foi então selecionado o penetrómetro dinâmico, uma vez, que como Terzaghi referiu no ano de 1927 “A ideia básica é esta: primeiro inventar um ensaio simples, cujos resultados dependam da consistência do material e logo correlacionar esse coeficiente obtido pelo ensaio, com a capacidade de suporte do solo”.

O penetrómetro dinâmico trata-se de um ensaio *in situ*, que se caracteriza por ser utilizado quando se pretende efetuar trabalhos de reconhecimento e análises da litologia presente num dado local, bem como as propriedades geomecânicas dos solos e, a partir de fórmulas e correlações, a resistência que esses mesmos solos oferecem à penetração (Campbell y O’Sullivan, 1991). Apesar deste tipo de equipamento, ao contrário do SPT, não fornecer amostras dos solos atravessados, por outro lado permite uma visualização em pormenor e contínua da variação das resistências à penetração com a profundidade, obtendo-se uma boa imagem dessa variação e consequentemente uma definição rigorosa das zonas de menor e de maior compressibilidade do terreno.

Este equipamento opera em qualquer tipo de terreno devido às várias opções de penetrómetros que existem. O EC7 (ENV 1997-3) de 1999 e, mais recentemente, a EN ISO 22476-

2, refere quatro tipos de penetrómetros dinâmicos: leve (DPL), médio (DPM), pesado (DPH) e super-pesado (DPSH) (MARTINS & MIRANDA, 2003), sendo apresentadas as características de cada um no quadro 1.

Quadro 1 - Características dos vários penetrómetros
(Adaptado de: MARTINS & MIRANDA, 2003)

	DPL (Leve)	DPM (Médio)	DPH (Pesado)	DPSH (Super pesado)
Profundidades atingidas				
(m)	8	20	20 a 25	>25
Dispositivo de cravação				
Massa do pilão (kg)	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 0,5
Altura de queda (mm)	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	750 ± 20
Batente				
Diâmetro (mm)	100 <d< 0,5	100 <d< 0,5	100 <d< 0,5	100 <d< 0,5
Massa (kg)	6	18	18	30
Cone de penetração				
Área da base (cm ²)	10	10	15	20
Diâmetro da base (mm)	35,7 ± 0,3	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	51 ± 0,5
Varas				
Massa (kg/m)	3	6	6	6
Diâmetro (mm)	22	32	32	32
Energia específica por golpe				
(kJ/m ²)	50	150	167	238

Independentemente de todas as características que definem cada um dos diferentes penetrómetros, o equipamento é basicamente o mesmo, variando apenas algumas destas tais como: a massa, a altura de queda, o diâmetro dos cones e a energia de penetração, conforme se pode observar no quadro 1.

Resumidamente, este equipamento é composto por um conjunto de varas, um pilão, um cone e um dispositivo de medição.

O equipamento utilizado pertence ao LGMC e opera de acordo com a Norma EN ISO 22476-2:2003, apresentando as seguintes características:

- Diâmetro da ponteira (dp) – 35mm;
- Secção da ponteira (S) – 9,621cm²;

- Diâmetro das varas (dh) – 20mm;
- Peso das varas (p) – 2,420kg;
- Massa do pilão (M) – 29,654kg;
- Altura da queda do pilão – 20cm.

A figura 1 diz respeito a uma esquematização do princípio base do ensaio a ter em consideração, o PDM.

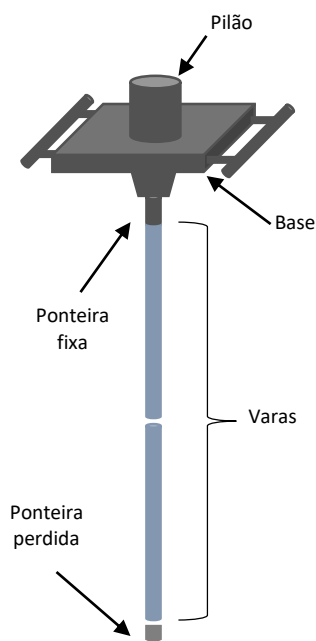


Figura 1 – Esquematização do penetrómetro dinâmico médio

Relativamente ao custo do ensaio, este irá depender essencialmente do tipo de penetrómetro a utilizar, da dimensão da malha das sondagens e das profundidades que são atingidas.

2.2. Descrição do ensaio

Após definido qual o tipo de penetrómetro a utilizar, o equipamento é transportado para o local, através dos devidos meios de transporte, onde se fará o estudo/ensaio, posicionando-o sempre que possível na vertical.

O local deve ser devidamente preparado, ou seja, limpo e ausente de pedras ou outro tipo de objetos que para além de danificarem o equipamento, poderão comprometer o próprio ensaio, adulterando os resultados obtidos.

O ensaio é iniciado através da colocação de uma ponteira cónica, descartável, no terreno e posterior aplicação somente de uma vara metálica. A penetração inicia-se a partir do momento em que é acionado o pilão, e esta fase termina quando penetrada a primeira vara, 1m de profundidade, ou seja, a ponteira será cravada no terreno por acção de uma força em queda livre aplicada através de um cilindro metálico, e assim transmitida às varas continuamente.

A continuidade do ensaio é garantida através da colocação de uma nova vara na que já se encontra enterrada, ajustáveis por meio de roscas, na sua parte superior. O ensaio é interrompido cada vez que existe a necessidade de acrescentar varas, isto é, cada vez que é ultrapassado 1m de perfuração, realizando este processo da forma mais cuidadosa possível uma vez que poderá influenciar os resultados.

A resistência à penetração é conseguida e relacionada de acordo com o número de golpes necessário para se conseguir cravar determinado comprimento da vara nos solos atravessados em profundidade, podendo esta ser de 10cm ou 20cm, registando-se assim esse mesmo número num boletim próprio. Considera-se essa força necessária como parâmetro do índice de resistência à penetração dos solos.

Salienta-se ainda o facto de, quando a camada é composta por material de maior resistência, o número de golpes necessário para alcançar determinada profundidade, é maior do que quando a camada é composta por um solo mais brando.

Na fase final do ensaio e quando o número de golpes necessário para penetrar determinada distância é superior a 60, define-se como “nega”. No entanto deve insistir-se, de forma a garantir que realmente é encontrado o “firme” e não qualquer obstáculo que possa surgir. Após realizadas essas mesmas contagens, e se realmente se verificar o contínuo exagero de golpes, dá-se então por terminado o ensaio (MARTINS, MIRANDA, 2003).

No momento da remoção do equipamento, a mesma deverá ser o mais cuidadosa possível de forma a não perder qualquer vara, pois estas, poderão após dada uma folga, escapar e deslizar pelo furo realizado não se conseguindo, recuperar.

Posto isto, é de notar a importância da presença de pelo menos 2 operários para efetuar o ensaio, visto que o mesmo se realiza com recurso a pouca mão-de-obra. No entanto, e enquanto o mesmo decorre, há necessidade de manter sempre o equipamento na vertical, acionar a queda da massa para a penetração e contar/anotar o número de golpes necessárias.

Finalizado o ensaio, todos os dados são compilados numa folha de cálculo em Excel, para que numa fase posterior, se consiga obter de forma simplificada o gráfico anteriormente referido que irá relacionar o número de golpes com a profundidade. Com isto torna-se fácil interpretar os

níveis de resistência à penetração do solo presente em profundidade, aferindo a caracterização geológica e geomecânica dos mesmos.

Contudo, a evolução deste método de prospeção tem permitido o estabelecimento de muitas correlações com outro tipo de ensaios, especialmente no que toca à construção e caracterização por pavimentos, conseguindo assim a aplicação de modelos matemáticos em alternativa a processos mais complexos, dispendiosos e demorados para o mesmo efeito.

Seguidamente serão apresentadas as figuras 2 a 8, referentes aos ensaios realizados no ISEP, estando as mesmas ordenadas por momento de execução, de forma a obter uma perceção das fases constituintes da realização dos ensaios.



Figura 2 – Preparação do terreno e colocação da ponteira cónica no mesmo



Figura 3 – Colocação adequada do motor, do pilão e do pedal para o começo do ensaio



Figura 4 - Introdução da vara na ponteira cônica e do batente guia



Figura 5 – Início da cravação da vara através de sucessivos golpes originados pelo pilão



Figura 6 – Introdução de uma nova vara para dar continuidade ao ensaio



Figura 7 - Extração das varas recorrendo a equipamento apropriado



Figura 8 – Colocação de todas as varas no seu devido lugar para o transporte até ao local do próximo ensaio

Alguns cuidados a ter:

- O equipamento deve sempre manter-se na posição vertical durante todo o ensaio, de modo a garantir que o furo não possua qualquer inclinação nem desvios superiores a 2%;
- A força de impacto deverá ser constante de forma a não provocar movimentos nas varas;
- Todas as ligações entre as varas, a ponteira cónica e os restantes componentes deverão estar asseguradas ao nível da estabilidade;

- O documento com os passos referentes à execução de todo o ensaio, deve sempre acompanhar, em campo, o mesmo;
- Deve dar-se especial atenção, na fase final do ensaio, ao comportamento da massa cilíndrica na altura em que são acionados os golpes e, interpretar o mesmo, para que posteriormente as conclusões sejam o mais rigorosas possível;
- Deve registar-se todos os factores conhecidos ou supostos que, durante o ensaio, possam ter influência de qualquer maneira nos valores de resistência de penetração, tal como a inclinação das varas.

2.3. Campo de aplicação

Como referido anteriormente o penetrómetro dinâmico pode ser aplicado em variados tipos de solos graças à sua diversidade e versatilidade, sendo substancialmente requerido quando o estudo recai sobre solos de cariz mais brandos.

No entanto, e uma vez que poderá ocorrer uma falsa “nega”, como já explicado, torna-se indispensável a realização de outro tipo de ensaios e metodologias complementares, principalmente sondagens mecânicas e ensaios SPT. Se além disso ao lado de cada sondagem com SPT se realizar também um ensaio DPH, poderão correlacionar-se os resultados deste, com os do SPT. Fica-se assim com uma imagem completa do terreno, da sua resistência e deformabilidade às várias profundidades (MARTINS, MIRANDA, 2003). Tal acontece quando o estudo é direccionado a obras de engenharia com uma estrutura um pouco mais robustas tais como: pontes, túneis, edifícios com uma estrutura fora daquilo que é comum tanto a nível de altura como de envergadura, entre outras.

No caso de trabalhos mais simples, o ensaio torna-se bastante indicado quando se pretende obter qualquer estudo geotécnico indispensável à realização de obras de menor porte, que as anteriores referidas. Refere-se assim o caso de dimensionamento de fundações a pequenas e grandes profundidades, identificação de terrenos homogéneos, controlo e manutenção das várias camadas pertencentes a determinado pavimento, controlo e estabilidade de taludes, zonamento geotécnico a partir dos índices de resistência, caracterização geológica e geotécnica (indireta) de determinada zona, e finalmente o caso de se pretender prever a evolução a longo prazo de solos que poderão sofrer instabilidade quando sujeitos a qualquer alteração originada pela natureza.

2.4. Vantagens e desvantagens

De forma a uma melhor comparação e percepção de quais são as vantagens e as desvantagens desta metodologia, nos quadros 2 e 3 são apresentadas de forma resumida, as mesmas.

Quadro 2 - Vantagens do ensaio do penetrómetro dinâmico

Vantagens
Fácil mobilização, transporte e manipulação do equipamento;
Simple obtenção, interpretação e leitura dos resultados;
Opera em quaisquer profundidades e em locais de difícil acesso;
Custo da operação relativamente baixo;
Realiza um vasto número de leituras num curto espaço de tempo, podendo reduzir-se assim possíveis erros;
Pelo facto de ser um ensaio simples, pode ser usado como testes de rotina;
Possibilidade de se correlacionarem com outro tipo de ensaios (SPT), descartando métodos mais caros e complexos.

Quadro 3 - Desvantagens do ensaio do penetrómetro dinâmico

Desvantagens
Não é possível a recolha de amostras;
Permite apenas a medição direta de um parâmetro (índice de resistência);
O ensaio deve ser complementado, calibrado e atualizado tendo em conta que os parâmetros avaliados por correlação se encontram em constante atualização;
Podem pôr em causa a veracidade dos valores obtidos no caso de execução de furos muito próximos;
O ensaio pode ser comprometido no caso de aparecimento de obstáculos que não o firme;
Por ser um equipamento portátil e que opera sem estar devidamente fixado ao solo, poderá apresentar incertezas de execução e obtenção dos resultados, devendo então ser controlado o posicionamento de todo o conjunto e assegurar-se a verticalidade dos furos antes e durante o ensaio.

3 – Revisão bibliográfica

3. Revisão bibliográfica

3.1. Estado da arte

Carlos A. Tupia Cordova, Jorge Alva Hurtado - “Evaluacion de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetracion dinâmica” (2001).

Nesta apresentação, simples e curta, os autores começam por explicar quais os seus objetivos com a investigação realizada.

Inicialmente começam por explicar o ensaio CBR (ensaio de compactação dos solos), descrevendo a sua metodologia e o seu procedimento. Posto isto são apresentados os resultados obtidos pelo ensaio, bem como o gráfico com a curva de penetração que relaciona a pressão que fora exercida, com a penetração conseguida no solo.

De seguida, os autores fazem referência ao penetrómetro dinâmico, apresentando-o, descrevendo-o e esquematizando-o, para uma melhor perceção da funcionalidade do equipamento. Como no anterior, igual se verifica a descrição das várias fases da realização do ensaio. Após obtidos os valores correspondentes ao ensaio referido, são mencionadas as formas de apresentação dos resultados, bem como a sua evolução, apresentando 3 possíveis gráficos para esse mesmo efeito. No final e compilando-os, é facilmente perceptível o diagrama de resistência das várias camadas atravessadas pelo equipamento.

Numa fase seguinte, foram compilados os resultados referentes aos ensaios de campo e aos ensaios realizados em laboratório, sendo ambos resumidos numa tabela, tendo em conta a profundidade a que diz respeito cada camada/amostra.

Num próximo tópico e de forma a completar todo este processo, os autores apresentam as fórmulas matemáticas e correlações existentes e utilizadas, relativas aos ensaios realizados, sendo posteriormente apresentados.

Segue-se a avaliação das propriedades do solo através do ensaio de penetração dinâmica em conjunto com vários projetos, nos quais são descritos resumidamente os seus objetivos e referidos os cálculos e métodos que ambos utilizaram para o efeito.

Na fase final, e como em todos os outros trabalhos, os resultados foram sujeitos a uma análise pormenorizada de forma a conseguir obter as conclusões pretendidas.

Depois de analisar toda esta investigação, penso que para uma fase futura, seja importante e necessário, recorrer novamente a este trabalho uma vez que as correlações que os autores referem, adequam-se à investigação e tipo de trabalho que estou a realizar.

Anelise Beatriz Cardoso Alves, Dissertação – “Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrómetro dinâmico de cone” (2002).

A dissertação começa por referenciar uma breve introdução ao método que será utilizado, relacionando-o ainda com outros factores e curiosidades. Justifica também, os motivos pela qual a autora optou pelo método do penetrómetro dinâmico de cone, frisando os seus objetivos específicos e gerais.

Seguidamente é apresentada a revisão bibliográfica, mencionando essencialmente as situações mais complicadas que a autora espera encontrar ao longo da sua pesquisa. Posto isto, a mesma irá aprofundar um pouco mais o assunto dos métodos existentes para o controlo da compactação dos solos, como também algumas das características do penetrómetro dinâmico de cone. Começa então, por uma pequena definição do ensaio, seguida do seu historial de aparecimento e utilização. Numa fase seguinte, é apresentado o equipamento a utilizar neste ensaio, bem como o próprio ensaio, descrevendo-o um pouco mais pormenorizadamente. O capítulo encerra com aquela que é a fase final do ensaio, a interpretação dos resultados tendo em conta os modelos matemáticos, e correlações adequadas e aplicadas ao mesmo.

O terceiro capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia de condução da pesquisa e do trecho estudado, sendo então dividido em duas componentes: a metodologia de campo e de laboratório. Em ambas, existe uma descrição rigorosa sobre em que consiste cada uma delas e quais os métodos, propriamente ditos, utilizados. Segue-se então uma breve caracterização do trecho de terreno que foi sujeito ao estudo realizado, descrevendo e apresentando o mesmo.

Na apresentação e análise dos resultados, e numa fase inicial, os resultados que se conseguiram obter através dos ensaios realizados em laboratório são descritos, sendo eles: ensaios de caracterização, compactação e CBR. Seguidamente, são analisados alguns parâmetros de interesse através da relação entre os parâmetros referentes ao teor em humidade e massa específica aparente seca, com o índice de penetração obtido em campo, e também em laboratório,

e os resultados obtidos em campo com a apresentação da correlação entre o DN e o módulo de resistência para cada grupo, ou seja, para cada amostra sujeita ao ensaio e, depois desta, ao conjunto dos dados.

Depois da análise dos resultados e interpretação dos mesmos, segue então a apresentação de uma proposta para o controle, a partir de uma metodologia, da compactação com o emprego do DCP, frisando os objetivos do mesmo, os equipamentos que serão necessários para o caso, o próprio procedimento do ensaio e por fim a obtenção dos gráficos de interesse. No final é então esclarecido o critério a ter em conta para a aceitação ou rejeição do serviço proposto, sendo assim posteriormente, aplicada a proposta.

Finalmente, são apresentadas as conclusões que a autora pôde retirar da sua pesquisa e do estudo da mesma, citando algumas das recomendações que a mesma achara importante para que todo este processo seja efetuado com o maior sucesso possível.

Concluo assim que a dissertação está bastante bem-apresentada e estruturada, ajudando a perceber um pouco mais sobre aqueles que são os conceitos dos ensaios de penetração. Apesar disso, será um trabalho que irei consultar mais tarde uma vez que apresenta todos os passos a ter em conta da interpretação dos resultados, bem como as correlações existentes para este método de forma muito clara e perceptível.

Júlio B. Martins, Tiago F.S. Miranda, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
– “Ensaio de Penetração nos Solos Graníticos da Região Norte de Portugal. Algumas
Correlações.” (2003).

Como referido no título, este trabalho está na génese da realização de vários ensaios de penetração nomeadamente: SPT, DPH, PDL e CPT.

Na primeira fase os autores descrevem pormenorizadamente cada ensaio, referindo as características do mesmo, a sua metodologia, e também algumas vantagens, desvantagens e curiosidades, que na minha opinião, são importantes para perceber a relação e utilização de vários métodos para o mesmo local.

Seguidamente é feita uma breve referência sobre a localização dos ensaios nas várias zonas em estudo, bem como uma caracterização dos solos aí presentes. Caracterização esta que passa inicialmente pela geologia, que já se sabe à partida por conhecimentos adquiridos, e posteriormente por uma análise de alguns parâmetros mecânicos e geomecânicos.

No tópico 4, são então apresentadas as correlações dos resultados que existem para as várias combinações dos ensaios anteriormente referidos, explicando cada uma delas para que se consiga chegar à conclusão pretendida. Também nesta fase, são apresentadas algumas fórmulas de cálculo para obtenção de certos valores que caracterizam alguns dos parâmetros a conhecer, relacionando-as sempre com outras conclusões obtidas.

Finalmente, os autores apresentam conclusões e relações dos valores que foram obtidos para os diferentes parâmetros geomecânicos, comparando-os. Nesta fase algumas das teorias mais antigas são consideradas, para que se possa perceber da melhor forma o comportamento daqueles solos, bem como as suas características.

Relativamente a este trabalho, consegui perceber um pouco mais sobre o ensaio do penetrómetro dinâmico pois os autores referem pormenores importantes que terei em conta. Também algumas das correlações poderão ser úteis um pouco mais à frente, pois os autores mencionam algumas daquelas que são utilizadas neste tipo de ensaio, descrevendo-as e caracterizando-as de forma explícita.

Neusa Maria Bezerra Mota, Tese de Doutoramento em Geotecnia – “ensaio avançado de campo na argila porosa não saturada de Brasília: interpretação e aplicação em projetos de fundação” (2003).

Numa primeira fase, a autora faz questão de realizar uma pequena introdução relativamente à evolução dos ensaios de campo, que possam ser eventualmente utilizados em solos com média qualidade geotécnica. Juntamente a esta introdução, é apresentado o objetivo do trabalho e estudo realizado.

O segundo capítulo, relata o histórico da evolução, e algumas das características gerais dos ensaios de campo anteriormente referidos, nomeadamente os procedimentos de execução de cada um, equipamentos utilizados, principais utilizações na engenharia geotécnica e devida recolha de dados, para que posteriormente as interpretações dos mesmos sejam facilitadas. A par destes tópicos referidos, são especialmente tidos em conta as metodologias que farão com que seja possível a obtenção da estratigrafia e classificação dos solos que fazem parte do perfil estudado, bem como a previsão do comportamento geomecânico dos materiais constituintes desse mesmo subsolo. Ainda dentro do mesmo tema, é utilizado e explicado os vários programas que serão requisitados para analisar os parâmetros de interesse, a fim de se obter dados específicos relativos à previsão da capacidade de carga.

Relativamente ao capítulo 3, este descreve as principais particularidades (tipo de material, parâmetros de investigação e procedimentos) do programa que foi utilizado para analisar qualquer tipo de influência negativa, e também o comportamento das fundações a alguns metros de profundidade que possa existir aquando da execução do ensaio.

Seguidamente, são então apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados e a relação dos mesmos, com a variação de humidade, tendo como principal objetivo a sua interpretação, concluindo sobre a sua viabilidade. Também o mesmo foi realizado para os métodos de extrapolação, com o mesmo efeito.

São assim apresentados os parâmetros de resistência e o módulo de elasticidade de cada solo estudado, utilizando os programas referidos anteriormente, concluindo-se assim sobre o perfil estratigráfico pormenorizado e os parâmetros referentes. Os mesmos parâmetros são também estudados numa fase seguinte, mas através de procedimentos de classificação dos solos por meio dos ensaios CPT e DMT, comparando-os no final com as classificações mais simples, através da análise granulométrica e dos limites de Atterberg. Toda esta análise tem como objetivo final aferir sobre a potencialidade dos ensaios de campo, para a previsão do comportamento dos solos.

Finalmente, são então expostas algumas das conclusões que a autora achou relevantes referir, bem como algumas sugestões para o futuro desta área.

Concluo assim, que realmente, e uma vez que se trata do tratamento de dados através de métodos experimentais e de programas, não é a informação que mais se adequa à dissertação que irei realizar, passando um bocado ao lado da mesma.

**Colin Jones, Technical Information Note - “Dynamic Cone Penetrometer tests and analysis”
(2004).**

O primeiro e segundo capítulo deste relatório, rege-se por uma pequena introdução sobre o penetrómetro dinâmico de cone, descrevendo-se muito na sua generalidade e referindo algumas das suas particularidades. Refere ainda, a utilização de um *software* onde são analisadas e estipuladas as diferentes camadas do terreno consoante a sua resistência, para que se possa obter conhecimento sobre a obra que poderá surgir à superfície. Destina-se essencialmente à engenharia aplicada a estradas ou redes de comunicação.

No terceiro capítulo, faz-se uma breve citação a questões de saúde e segurança, ou seja, a manobras de cuidado que os operadores terão que realizar, aquando da utilização e manipulação do equipamento.

Seguidamente, o autor refere as operações e registos de dados. Cita alguns dos cuidados e normas iniciais que se deverão ter em conta. Inicia-se assim o ensaio, mantendo o equipamento na vertical sempre que possível, lendo os resultados de 10 em 10cm e anotando o número de golpes necessários que que esses mesmo 10cm de vara penetrem no solo, variando assim consoante a resistência que o terreno oferece à penetração. Depois de concluído, o equipamento terá que ser removido de forma muito cuidadosa a fim de não se perderem as varas no furo. Posto isto, são então mencionadas algumas relações a ter em conta para o conhecimento do tipo e resistência do material, bem como algumas dicas de funcionamento da máquina aquando atravessado por algumas irregularidades.

Nos últimos capítulos, é então apresentada a interpretação dos dados obtidos através da realização dos ensaios. Os mesmos são compilados e analisados numa folha de cálculo, usando o *software* anteriormente referido, que irá estabelecer as camadas de resistência de cada pavimento para depois se puder construir.

Concluo assim que o presente relatório não faz referência ao estudo que irei realizar uma vez que é muito técnico, e refere apenas, os ensaios direccionados à construção de estradas.

Estudo geológico – geotécnico para a implantação do «Quartel dos Bombeiros Voluntários de Cabanas de Viriato» (Agosto de 2008).

A primeira fase do relatório consiste numa pequena introdução sobre o trabalho a realizar, referindo a metodologia utilizada para o efeito.

Seguidamente foi realizado o enquadramento geológico, de forma a perceber melhor que terrenos estavam na génese daquele que é o local em estudo.

A campanha de prospeção inicia-se após o conhecimento geral dos solos, optando assim pela utilização do ensaio de penetrómetro dinâmico, neste caso, o super-pesado. As várias características do ensaio foram descritas, nomeadamente do equipamento, e também do modo como o ensaio foi executando, acabando então por se resumir toda a informação necessária nos boletins adequado para o efeito.

A interpretação dos resultados foi conseguida utilizando correlações e conhecimentos acerca dos valores obtidos em campo, não esquecendo alguns dos conhecimentos adquiridos anteriormente.

Por fim são tomadas algumas considerações finais, tendo em conta as condições e soluções das fundações.

Concluo assim que este relatório apresenta ser um relatório técnico e, portanto, não existe muita informação a nível de descrições e explicações pormenorizadas das metodologias, logo não houve muita informação que consegui retirar.

Carla Susana Rocha Barbosa de Bessa, Universidade da Beira Interior – “CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS MACIÇOS ATRAVÉS DE ENSAIOS “IN SITU”” (2009)

Como iniciação à dissertação, a autora optou por descrever e explicar a importância que os ensaios “in situ” têm vindo a revelar na área da Engenharia dedicada à construção, já que cada vez mais são a melhor opção para o conhecimento e caracterização dos terrenos. Seguidamente são apresentados os objetivos da dissertação, a metodologia empregada bem como toda a estrutura da mesma.

Na fase seguinte foram apresentadas as diferentes classificações dos ensaios e técnicas de prospeção conhecidas até então. Posto isto, as mesmas foram resumidas e expostas num gráfico, onde são perceptíveis as subdivisões dos mesmos, consoante diversos critérios. Depois de esquematizadas, a autora realizou uma pequena introdução a cada uma das subdivisões.

Seguidamente, e dando relevância a todos os ensaios que poderão ser aplicados numa campanha de prospeção, os mesmos e as suas respetivas técnicas, foram apresentadas e caracterizadas em pormenor, passando essencialmente pela introdução a cada método. Posteriormente são apresentados, dentro dos ensaios *in situ*, todos os possíveis de realizar, dividindo-os segundo o parâmetro a tomar conhecimento, nomeadamente: resistência, deformabilidade, permeabilidade e penetração. Posto isto, e para cada um dos grupos, foram apresentados os ensaios que mais se adequam a cada caso, passando inicialmente por uma pequena introdução ao método em questão. Seguidamente foi descrito o procedimento de execução do ensaio, e referidas as devidas precauções a tomar. Por fim, foram apresentados todos os métodos de cálculo e correlação existentes, a utilizar, após obtidos os valores em campo.

O capítulo seguinte caracteriza-se pela descrição e caracterização do local onde se pretende efetuar o estudo, relatando o procedimento de execução adotado. Posteriormente, a análise dos dados é iniciada, levando ao devido tratamento da informação através de modelações e correlações existentes.

No final, a autora conclui sobre os trabalhos por ela realizados, caracterizando de forma pormenorizada, a zona em estudo no que toca a parâmetros mecânicos.

Analisando toda a dissertação, a mesma pode ser dividida em três fases no que diz respeito à organização da informação. Na fase inicial, foi crucial algumas das suas citações para o

melhoramento de aspetos introdutórios relacionados com a prospeção geotécnica, nomeadamente com os ensaios *in situ*, uma vez que são referenciados enumeras vezes. Numa segunda fase, relativa à descrição de todos os ensaios, e referindo o do penetrómetro dinâmico, foi importante analisar o que a autora citou, pois, como na fase anterior, houve bastante informação que veio completar e expor melhor a percepção de muitos dos conceitos utilizados nesta mesma fase. Finalmente, a terceira parte, pode ser bastante importante a nível de correlações e modelos matemáticos que possam ser usados numa fase mais futura para, como neste caso, se chegar a conclusões acerca da caracterização e parametrização mecânica dos solos/rochas existentes na zona de estudo.

Estela Grassi Nogueira, Dissertação – “Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para a construção de aterros no trecho sul do Rodoanel – SP” (2010).

Primeiramente, a autora realiza uma pequena reflexão sobre o porque de os ensaios e técnicas dos solos terem vindo a ser bastante utilizadas, obtendo-se como resposta o facto de as obras no subsolo serem cada vez mais uma realidade. Nesta mesma fase, também são referidas algumas justificações sobre aquele que será o assunto base da dissertação, objetivos principais, bem como a estruturação da mesma, apresentando um breve resumo por capítulos.

O segundo tema, recai na revisão bibliográfica realizada, e por tal são introduzidos alguns dos temas que serão cruciais no entendimento e processo do trabalho. A autora começa então por aludir à técnica de aterros de sobrecarga temporária para melhoramento dos solos, ditando algumas das suas características, em que meios e circunstâncias é aplicada, objetivo da sua utilização, vantagens, desvantagens, curiosidades e alguns procedimentos a deter aquando a sua utilização. O tema referido é bastante descrito em pormenor, passando ainda pela maneira como são tratados os dados neste caso. Outra técnica de melhoramento, recai na aplicação de aterros de sobrecarga temporária a partir de drenos verticais, explicada e caracterizada de igual forma à técnica anteriormente referida, tal como numa fase seguinte a autora faz com o ensaio de palheta – Vane Test, ensaio de resistência à penetração tipo SPT e tipo PDL. De seguida, são apresentados e caracterizados outro tipo de métodos para melhoramento dos solos moles, nomeadamente: Jet Grouting e Vibrocompactação. Numa próxima fase, a autora descreve ainda o efeito do amolgamento no adensamento dos solos através destes últimos ensaios referidos.

Após descrição dos ensaios possíveis de serem realizados para o trabalho em questão, segue-se a descrição da obra a partir de uma pequena introdução sobre algumas características a reter da mesma, e também do local onde se pretende implementar. Apesar disso, o objetivo era

numa determinada zona e após uma explicação geral, obter-se uma descrição mais em pormenor daquele que será o local de interesse, caracterizando-o geológica, geotécnica e geograficamente. Na mesma sequência, foi então estudado e ponderado o número de ensaios e, posteriormente, o local onde os ensaios iriam ser realizados, de forma a obter uma melhor distribuição, para que a visualização final da situação e condição de resistência, fosse a mais precisa e facilitada possível. Após realização dos ensaios PDL, as informações recolhidas foram compiladas com o intuito de se chegar à conclusão de que material estava presente no local em estudo. O mesmo foi elaborado para os ensaios Vane Test.

Seguidamente a autora procedeu a uma breve realização de um programa de instrumentação, sendo este de extrema importância, pois tem como intuito controlar, após execução, o local utilizado para os ensaios a nível de adensamento dos solos.

No seguimento da situação, é então referida a técnica a utilizar para melhorar a deformabilidade das camadas dos solos moles na região de interesse, iniciando-se assim, a partir de uma breve introdução, essa mesma técnica. Posteriormente, e de forma mais pormenorizada é então apresentada a mesma, a sua metodologia de cálculo, e finalmente os resultados obtidos para cada placa aplicada através de várias metodologias de conclusão.

No tópico seguinte, são apresentadas algumas formas que existem para que os solos ganhem resistência através da solução de consolidação profunda radial. São então descritas ao longo deste tópico todas as correlações que se aplicaram para a obtenção dos resultados, bem como a combinação dos ensaios PDL e SPT. Também o mesmo foi realizado para uma solução de mistura, descrevendo de forma muito clara, a execução do método, bem como a análise dos dados.

No final, a autora retira as conclusões que achava importantes no que toca aos vários parâmetros geomecânicos estudados, ajudando a percepção dos mesmos através de algumas sugestões.

A dissertação encontra-se bastante completa no que toca à descrição dos métodos e técnicas utilizadas pela autora, sendo que a distribuição da informação e a sua organização é uma mais-valia para quem pretende reter alguma informação da mesma. Penso que a análise desta dissertação será determinante, uma vez que ajudará mais tarde na parte da correlação de dados, e de também tentar seguir um pouco a estrutura do trabalho, já que se revelou ser bastante interessante.

Pablo Fernando Sanchez, Roberta Bomfim Boszczowski, Luiz Alkimin de Lacerda, Rafael Dorigo Loyola – “Estudo da viabilidade do uso do penetrómetro dinâmico leve (PDL) para projetos de fundações de linhas de transmissão em solos do Estado do Paraná” (2010).

O relatório é iniciado com uma breve introdução, que descreve o principal objetivo pretendido com este tipo de trabalhos, recorrendo ao ensaio do penetrómetro dinâmico.

Segue-se então a apresentação dos dois ensaios de penetração, STP e PDL, descrevendo um pouco o método e objetivo de cada ensaio.

O terceiro capítulo rege-se pela avaliação do PDL, já que irá ser o ensaio a realizar, em laboratório, em três tipos de solos. Estes mesmos solos são sujeitos a algumas condições específicas, uma vez que o ensaio é realizado em laboratório, e facilmente se manipula as condições de trabalho de acordo com aquilo que se pretende. Descreve-se então o modo como o ensaio foi realizado, apresentado posteriormente, os resultados obtidos na forma de gráficos, interpretando-os em paralelo com algumas das correlações que se podem realizar com os resultados obtidos dos ensaios SPT.

Termina assim o relatório, com algumas conclusões referentes ao estudo da viabilidade da utilização do equipamento do penetrómetro dinâmico, através da comparação dos seus resultados com o ensaio SPT.

Tal como referido, aquando a análise de um outro relatório, a informação que realmente interessará, será na parte das correlações existentes e tratamento dos resultados, uma vez que não são descritos em pormenor quaisquer factos relacionados com o próprio ensaio.

Telma Carreira Pereira, Relatório do Projeto – “Uma contribuição para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de materiais granulares compactos, com recurso a penetrómetro dinâmico ligeiro” (2010).

O relatório começa por introduzir o tema da avaliação do estado e resistência dos solos que poderão servir de apoio e de fundação das infraestruturas a construir, através do ensaio do penetrómetro dinâmico. Também nesta fase é apresentado o principal objetivo que levou a autora à realização deste trabalho.

Numa segunda fase, são tomadas algumas considerações sobre o historial, execução e algumas curiosidades sobre os diferentes métodos de ensaios *in situ*, que poderão ser utilizados para se obter a caracterização dos solos, privilegiando aqueles cuja sua interpretação e utilização

têm vindo a ser cada vez mais correlacionados com os dados obtidos a partir do ensaio de penetração, PDL.

Seguidamente, a autora apresenta a sua pesquisa bibliográfica com o intuito de se resumir e, consequentemente melhorar a percepção sobre as várias propostas conhecidas que relacionam os resultados obtidos através da realização do ensaio PDL, com outro tipo de grandezas e parâmetros que possam ser importantes para o reconhecimento e caracterização dos solos, nomeadamente com o módulo de deformabilidade e o índice CBR.

O quarto capítulo caracteriza-se por um breve descrição e caracterização de algumas plataformas ferroviárias um pouco antigas, utilizando assim os dados obtidos para proceder ao estudo que tem como intuito relacionar de forma explícita, os resultados oferecidos pelo PDL com a compactidade dos solos, com o índice CBR e com o módulo de deformabilidade conseguido através de um dos ensaios de carga em placa. Posteriormente, e a partir de todos os dados obtidos e referidos anteriormente, procede-se à análise dos resultados e utilização de correlações para um melhor relacionamento com as grandezas em estudo.

Numa outra fase, são revelados estudos que foram desenvolvidos para um projeto de investigação que se encontrava em curso, durante a qual se conseguiu acompanhar a compactação das camadas de solos, que foram constituídos em laboratório através de um modelo experimental, realizado com o objetivo de avaliar a relação entre os resultados do PDL e do módulo de deformabilidade.

Finalmente, a autora realiza um resumo de todo este estudo, citando as principais conclusões retiradas, apresentando também quais os métodos relativos a um possível desenvolvimento nesta área.

Concluo assim que realmente mostra ser um relatório bastante competente no que toca à descrição de todos os ensaios e trabalhos realizados pela autora, conseguindo obter uma melhor percepção sobre realmente a execução do ensaio de penetração na sua generalidade, retirando também algumas ideias sobre quais os parâmetros e grandezas que podem ser apontadas através de correlações e modelações possíveis de utilizar.

Dissertação de Mestrado de Carlos Eduardo Sales Alves Filho, Universidade Federal de Ouro Preto – “Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização de penetrómetro dinâmico leve.” (2010).

Numa primeira fase o autor faz referência a quais são os objetivos da sua pesquisa e trabalho, estruturando a mesma. De seguida apresenta e caracteriza o penetrómetro dinâmico leve, realizando uma pequena introdução acerca do mesmo e citando as características do equipamento que utilizou, comparando-o com o CPT/CPTU. Refere ainda neste tópico, qual a metodologia e fórmulas a que recorreu para obter conhecimento sobre qual a resistência da ponteira cónica, mencionando e explicando todos os parâmetros que necessitou. Posteriormente são apresentadas todas as correlações existentes e utilizadas para o tratamento dos dados, explicando e apresentado todos os pormenores relacionados com os dados que obteve em campo e aqueles que conseguirá retirar a partir destes.

O capítulo 3 inicia-se com uma introdução sobre aquele que é o ensaio SPT, descrevendo o mesmo, salientando algumas das suas características e possíveis correlações com outros dados. O mesmo se verifica, um pouco depois, relativamente ao ensaio CPT e CPTU. Ainda no mesmo capítulo o autor apresentou as diferentes formas existentes para a classificação dos solos, tanto através da granulometria como de outros parâmetros, bem como novas correlações de dados, mas agora para os obtidos no ensaio CPT/CPTU.

No seguinte capítulo, é apresentada a forma como o autor conseguiu a obtenção dos parâmetros geotécnicos anteriormente descritos, por meio de todos os ensaios, e devidas correlações tal como a resistência ao cisalhamento das argilas, ângulo de atrito, módulo de deformabilidade e o conhecimento sobre as tensões no local.

Continuamente, é apresentado o estudo e investigações, comparando os ensaios *in situ* PDL e SPT com os ensaios de laboratório, nomeadamente os triaxiais. Numa primeira fase o autor faz uma pequena introdução sobre o sítio onde foi realizada a pesquisa, como também apresenta a campanha de prospeção do local. Ainda nesta fase, são apresentadas resumidamente todas as correlações que foram sendo realizadas ao longo do trabalho, distinguindo-as, consoante cada zona do terreno.

Concluo que esta dissertação possui informações bastantes precisas no que toca às correlações existentes, uma vez que na minha opinião estão bastante explícitas e descritas ao pormenor, sendo uma boa ferramenta de trabalho para o caso do meu estudo, numa fase mais avançada.

Jorge Manuel Carvalho Ribeiro, Dissertação – “Avaliação e correlação de parâmetros físicos e mecânicos de um solo residual granítico” (2011).

Numa fase inicial, o autor faz uma breve introdução àquele que é o objetivo da avaliação dos solos quando estamos perante obras de engenharia, citando um pouco mais à frente os seus objetivos gerais. Ainda nesta fase, irá fazer referência a alguns tópicos necessários mencionar, para um melhor conhecimento acerca dos solos, tal como uma breve definição dos mesmos tanto para o quotidiano como para a engenharia, as fases que fazem parte da constituição do solo, a sua própria formação (também para os residuais) e os métodos mais usuais para o mesmo. Seguidamente são abordadas então, as classificações que podem estar na génese do conhecimento de um solo para determinada obra de engenharia, introduzindo assim várias classificações possíveis para o efeito. De forma a terminar esta fase, é descrito em pormenor a evolução das propriedades mecânicas do solo, quando estes começam a estar demasiado expostos a factores que poderão fazer alterar o seu estado normal, facto este bastante importante de obter conhecimento aquando da realização de uma obra.

O tópico que se sucede, é então relacionado com as propriedades básicas a serem analisadas quando realizado um estudo relacionado com o solo, tal como as grandezas físicas existentes e os parâmetros geotécnicos, dando realce aos acontecimentos que mais se verificam nos solos, a consolidação e deformação, descrevendo-os e mostrando as fórmulas de conhecimento de parâmetros relacionados com os mesmos.

Segue-se então a descrição dos métodos de amostragem e a própria amostragem em si. Inicialmente é realizada uma breve referência sobre o que se pretendem com a amostragem, em que a mesma é descrita e introduzida de uma forma muito breve, tal como os tipos de amostragem que poderão ocorrer, bem como as vantagens e desvantagens da mesma. Neste mesmo tópico são ainda referidas as possíveis classificações e etapas da amostragem, distinguindo e caracterizando cada uma delas em pormenor.

Na segunda fase da dissertação, nas técnicas e metodologias, o autor apresenta aqueles que serão os seus métodos de investigação, começando então pela apresentação e descrição dos equipamentos, neste caso, aqueles que farão parte do ensaio CPTU. Segue-se a apresentação em pormenor do ensaio, seguindo o seu equipamento, os procedimentos e normas que serão necessárias de serem cumpridas neste caso, e por fim, a correção dos dados que terá que se ter em conta, uma vez que se trata de um ensaio *in situ*. Refere-se ainda a localização do elemento poroso para obtenção de dados, e alguns aspetos a ter em conta quando se realiza o ensaio tal como, a velocidade de cravação, a inclinação, o desgaste que o equipamento irá sofrer, a classificação dos

solos e os parâmetros geotécnicos a analisar (ângulo de atrito interno e efetivo, coesão não drenada, deformabilidade, entre outros). Nestes últimos referidos, e numa fase posterior, serão caracterizados todos os parâmetros e índices de forma pormenorizada, mencionando ainda as formulas a que se recorre quando se pretende obter o conhecimento dos mesmos. Da mesma forma que foi efetuado para o caso do DMT, SPT e PDL. Dentro do mesmo conceito, são então apresentados, alguns dos ensaios laboratoriais que poderão ser usados como complemento aos ensaios *in situ*. Os anteriores serão caracterizados e descritos convenientemente, citando tudo o que se relacionar e mostrar ser importante para o caso em estudo.

O terceiro tópico faz referência à apresentação dos resultados obtidos tanto em campo como em laboratório, começando assim pela apresentação e descrição da obra, que está na génese do estudo, referindo a geologia local e a localização geográfica. Seguidamente é então apresentado o plano de prospeção, realizando uma breve descrição e apresentação dos dados obtidos a partir dos mesmos.

Posteriormente é apresentada a discussão dos resultados e orçamentos, cruzando todos os dados obtidos dos ensaios realizados.

Finalmente, o autor apresenta as conclusões e considerações que achou importante referir, de modo a facilitar a percepção de quais as dificuldades e erros que poderão ocorrer aquando da investigação.

Concluo assim, que esta dissertação será bastante útil na fase de corelacionamento de tratamento de dados, já que apresenta de forma muito pormenorizada, todas as fases deste estudo.

Anabela Quintela Nunes Veiga, Dissertação – “Caracterização geotécnica dos terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria” (2011).

Inicialmente são então apresentados os objetivos estipulados, e aos quais a autora pretende responder, bem como a metodologia recorrida para que tal fosse possível.

No segundo capítulo, é referida e descrita a importância de se caracterizar geológica e geotecnicamente os terrenos, apresentando assim um breve resumo da evolução ao longo dos anos da cartografia geotécnica.

Numa fase posterior e ainda dentro da caracterização, são apresentados algumas das curiosidades geológicas, bem como a caracterização da zona em estudo, neste caso dos terrenos de Leiria, realizando assim um enquadramento geográfico e geológico. A nível geológico, esta

mesma caracterização passa não só pelos terrenos em profundidade, como também pelas unidades que afloram naquela zona, distinguindo-se através das respetivas idades. Também a caracterização geomorfológica e hidrogeológica foi realizada, com o intuito de se poder conhecer um pouco mais acerca do que era o objeto de estudo, através essencialmente das características de natureza litológica e enquadramento sísmico.

No quarto capítulo, são aclaradas sobre quais serão as metodologias aplicadas, com recurso a ensaios de campo, para que seja possível obter conhecimento sobre a liquefação dos solos e os seus eventuais riscos. Todos os ensaios de campo a utilizar foram descritos e caracterizados devidamente e em pormenor, de forma a perceber melhor o porque de se recorrer a tal método. O mesmo foi realizado para os ensaios de laboratório, já que são um complemento bastante importante para a caracterização *in situ*.

Seguidamente são então reunidos, compilados e apresentados os resultados de todos os ensaios realizados, bem como a sua interpretação lógica, de forma a obter os parâmetros geomecânicos de interesse, caracterizando o terreno presente em função da idade e tipo de material. A par desta caracterização, também foram correlacionados alguns dos resultados para que produto final apresentasse o máximo de veracidade possível.

Procedeu-se assim, à avaliação da liquefação numa zona onde tal se verificou com bastante frequência.

Numa fase final todos os dados retirados a partir da realização da prospeção através dos ensaios foram organizados, de forma a obter uma espécie de base de dados geológicos e geotécnicos, para que num período mais futuro se possam ser utilizados, facilitando assim o trabalho a quem poderá estudar o mesmo.

Finalmente, são então apresentadas no último capítulo, as conclusões mais essenciais para a percepção de todo o método de realização e investigação do estudo, realizando ao mesmo tempo, uma previsão para o comportamento do terreno perante uma possível sobrecarga emposta por alguns tipos de obras.

Concluo assim que realmente esta dissertação aparenta ser bastante útil para uma fase posterior, uma vez que relaciona bastantes dados com outros do mesmo género, a fim de se retirar conclusões melhoradas sobre os parâmetros geomecânicos a avaliar.

Tese de Daniel Romero, Instituto Tecnológico de Sonora – “Usos y aplicaciones del penetrómetro de cono CN-973” (2012).

O trabalho consiste, de uma forma geral, na descrição, como o próprio nome indica, dos usos e aplicações do penetrómetro de cone. Numa primeira fase, na parte introdutória, o autor descreve teoricamente os penetrómetros referindo a existência de vários tipos, sendo aplicado para determinado caso aquele que oferece melhores condições a nível de facilidade de trabalho, execução do ensaio e também de leitura e interpretação dos resultados, referindo as vantagens e desvantagens deste tipo de equipamentos. Nos tópicos seguintes faz referência ao objetivo da tese, realizando de alguma forma, o planeamento e justificação da mesma, sendo este, adquirir conhecimento da resistência do solo para posteriormente se puder aferir se este oferece condições de construção de edifícios, mencionando por fim as dificuldades que foram encontradas.

A segunda parte desta tese, relata a história dos ensaios *in situ* até então, salientando aquando da introdução do penetrómetro no mercado. Após isto, o autor faz referência de forma mais pormenorizada ao penetrómetro, descrevendo-o de forma explícita. Seguidamente são apresentados os vários penetrómetros existentes, sendo eles: penetrómetro dinâmico e dentro deste, o penetrómetro dinâmico de cone, o penetrómetro estático, e finalmente o penetrómetro de cone CN-973. Em todos, o autor faz uma breve caracterização dos mesmos, passando também pela explicação da execução, obtenção, apresentação e leitura dos resultados.

Na parte referente aos métodos e materiais, o autor faz uma breve descrição de como manipular o equipamento no início do ensaio bem como, posteriormente, a descrição da realização do mesmo, mas neste caso, com maior detalhe e precisão. Também é de salientar os erros que poderão estar na génese de possíveis alterações nos resultados, descrevendo assim as medidas a adotar para que se possam evitar de alguma forma. Seguidamente, e em laboratório são apresentadas as metodologias, ou melhor, as normas seguidas para a classificação do solo que se pôde encontrar no local do estudo.

Numa fase final o autor apresenta as correlações a que necessitou de recorrer, apresentado assim nos resultados e discussões, todos os dados adquiridos direta e indiretamente neste trabalho, a fim do objetivo principal, que foi então a caracterização dos solos.

Concluo assim que realmente esta tese apresenta muitos pontos a favor, ao nível da caracterização dos penetrómetros na sua generalidade, pois descreve-os de forma pormenorizada apresentando também as suas vantagens e desvantagens para o mercado. No entanto, a parte da discussão dos resultados não se revela importante, pois o equipamento é diferente daquele que é

o penetrómetro dinâmico, não apresentado a mesma metodologia de aplicação nem de tratamento dos resultados.

Centro Escolar de Porto de Mós – “Relatório Geológico-Geotécnico” (2014).

O relatório faz referência a ensaios realizados numa dada área estudada, neste caso com o objetivo de construir o centro escolar de Porto de Mós.

Posto isto, numa primeira fase é descrito qual o ensaio a realizar, DPSH, e o número de furos previstos para que seja possível a fundação de um edifício.

Seguidamente, e de forma a ter um conhecimento mais aprofundado da zona, foi realizado o enquadramento geológico do local recorrendo a cartas geológicas, conseguindo obter assim uma ideia geral dos solos já lá existentes. Também nesta fase é realizada uma breve referência no que diz respeito à sismicidade já conhecida do local, tendo em conta a carta de isossistas de Portugal.

Dá-se início então à descrição do ensaio já referido, iniciado com uma pequena introdução ao mesmo, seguida de uma explicação sobre o método aplicado para a execução do DPSH. Torna-se importante de referir quais as correlações utilizadas neste caso, sendo por isso, utilizados os equivalentes aos ensaios SPT, já que ambos são idênticos. De seguida são também apresentadas algumas tabelas cujos valores se referem a parâmetros geomecânicos a serem estudados, a partir de valores obtidos nos ensaios realizados.

Numa fase final são então compilados todos os dados que foram capazes de se obter, concluindo a partir destes, sobre aquela que é a caracterização dos terrenos que irá fazer de suporte a este centro escolar. É de referir que todos os ensaios são devidamente apresentados nos anexos do relatório, bem como as curvas realizadas respeitantes aos mesmos.

Pode então concluir-se que o relatório se encontra um pouco deficiente no que diz respeito ao ensaio propriamente dito, no entanto penso que é de valorizar e estudar a parte de como a entidade recolhe, organiza e conclui sobre todos os dados obtidos.

Pedro Miguel Ferreira Couto, Dissertação – “Estudo de soluções de contenção periférica em função das condicionantes de execução” (2014)

Numa primeira fase, é introduzido o tema das contenções periféricas citando essencialmente a importância do estudo das mesmas.

Seguidamente, o autor, faz uma breve referência sobre qual a importância que as contenções periféricas possam ter, aquando da realização de obras em profundidade e os riscos que possam estar na sua génese.

Numa terceira fase, são descritos e caracterizados os trabalhos preliminares que foram executados, procedendo assim, posteriormente, a uma identificação geral dos tipos de solos que se podem encontrar em qualquer zona onde se tenha o objetivo de se construir. Posto isto segue-se então os ensaios *in situ* que serão fulcrais para a identificação, caracterização e classificação geológica e geotécnica dos terrenos.

Seguidamente, são referidas algumas das técnicas que têm como objetivo melhorar os solos, realizando assim uma análise com maior rigor daquelas que são mais utilizadas para o efeito de contenção periférica. Posteriormente, o autor realiza uma espécie de identificação de estruturas auxiliares para as contenções periféricas citando assim, nas suas principais características, o campo e devido motivo de aplicação, realizando por fim uma pequena comparação entre as várias descritas.

Numa fase mais avançada, e agora sim, são identificadas as possíveis contenções periféricas que poderão ser utilizadas em obras de engenharia, e as que são utilizadas com mais regularidade pelos peritos. A par disto, também são referidos os equipamentos utilizados para cada tipo de contenção, os respetivos métodos construtivos, possíveis problemas de execução das contenções e, o campo de aplicação correspondente a cada.

Finalmente, e nos últimos capítulos, são então resumidos e apresentados todos os valores referentes à escolha da contenção, para que se possa concluir sobre a sua aplicação em obra, não esquecendo algumas das conclusões mais importantes a considerar.

Posso então concluir que a dissertação passa um pouco ao lado daquilo que é o trabalho que irei realizar, uma vez que a maior parte faz referência a contenções periféricas e, portanto, não possui uma descrição ao pormenor do PDL, nem de correlações possíveis a utilizar.

Jaime A. Santos, Instituto Superior Técnico – Apresentação de: “Fundações de estruturas – Ensaio de campo”

A apresentação realizada pelo autor é relativamente curta, apesar de possuir bastantes conceitos relacionados com alguns dos ensaios de campo existentes. Numa primeira fase, introduz o ensaio SPT, realizando uma breve referência ao mesmo, bem como ao método de execução do ensaio. Ainda relativamente a este ensaio, apresenta algumas correlações a que se possa recorrer,

tanto as mais antigas como as mais atuais e usuais pelos realizadores dos ensaios. Os modelos matemáticos também não são descartados, tomando atenção aos fatores corretivos a utilizar.

Numa segunda fase é apresentado de uma forma muito superficial o ensaio do penetrómetro dinâmico, referindo algumas das suas características, tais como os vários PD's existentes, bem como o seu método de execução. De igual modo, neste caso, também o autor faz referência às correlações relativas ao ensaio, bem como às em comum aos dois ensaios anteriormente referidos.

Outro ensaio apresentado é o CPT/CPTU, tendo como base o mesmo método de apresentação dos anteriormente mencionados.

No final, e após obtidos todos os valores dos devidos ensaios, são apresentadas as correlações que dizem respeito aos parâmetros que se conseguiram obter com os mesmos.

Também o ensaio de corte rotativo merece destaque, apesar de não existir qualquer explicação nem caracterização pormenorizada do mesmo, apenas são referidos os métodos de obtenção dos respetivos parâmetros.

Concluo assim que a informação mais relevante, e aquela que possivelmente poderá ser utilizada para o meu projeto, será apenas relativa às correlações não só entre os ensaios, como as que de cada ensaio.

3.2. Prospeção Mineira vs Prospeção Geotécnica

A prospeção mineira tem como objetivo encontrar novos depósitos de minério. Torna-se então necessário definir o seu conteúdo em extensão e em minério antes de qualquer outro tipo de trabalho, de modo a garantir que o depósito é economicamente viável, não só a curto prazo como também a longo prazo. Após o início da produção, é utilizada também a prospeção mineira para localizar e delinear quaisquer extensões que possam existir.

Neste caso, e uma vez que se pretende conhecer qual o minério em questão e respetivas quantidades com base nas suas propriedades físicas, é usual recorrer-se a alguns dos métodos geofísicos tais como o magnético, gravimétrico, condutividade elétrica, a radioatividade e também o sísmico.

Se, por outro lado, existir mineralização a profundidades consideráveis, ou seja, em locais de difícil acesso, a prospeção mecânica, precisamente as sondagens, podem ser a melhor solução, quantificando-se assim a presença do mineral.

A prospeção geotécnica pode ser realizada através dos mesmos métodos referidos na prospeção mineira e de um vasto conjunto de operações que têm como intuito averiguar e

determinar a constituição, as características geológicas, geomecânicas e/ou outras propriedades do solo presente num dado local, uma vez que neste caso interessa obter o conhecimento sobre a questão do mesmo estar apto ou não, para receber uma dada obra de engenharia.

Para além dos métodos anteriormente referidos, a prospeção geotécnica passa por um reconhecimento em profundidade não só geológico, como também se torna de extrema importância tomar conhecimento sobre o comportamento do solo/rocha quando se pretende alterar demasiado o seu estado natural. Para tal, recorre-se à prospeção mecânica e geofísica, resumindo-se essencialmente a ensaios laboratoriais e *in situ*. Na primeira, são incluídas sondagens com extração de amostras para posteriormente serem submetidas, em laboratório, a estudos e análises. Na prospeção geofísica, não são recolhidos quaisquer tipos de amostras, mas ambas visam a determinação dos valores correspondentes aos vários parâmetros mecânicos que são necessários ter em conta em determinada obra.

3.3. Prospeção Geotécnica

A prospeção geotécnica caracteriza-se por estar inteiramente envolvida no ato do conhecimento do terreno, mais especificamente caracterizado por um campo que constitui um vasto conjunto de operações com o intuito de averiguar a constituição, características mecânicas e outras propriedades do solo e do substrato do local de interesse para um dado trabalho de engenharia, que irá constituir a base de suporte de uma certa obra ou estrutura a realizar, e por isso, sujeito a variados ensaios, a fim de conhecer se este é ou não capaz. Com exceção para os casos em que se considera suficiente o reconhecimento superficial e existem afloramentos que o permitem, é necessário proceder a um reconhecimento em profundidade, o qual é realizado com recurso às técnicas mais indicadas e disponíveis de prospeção mecânica e/ou de prospeção geofísica, as quais indicarão características respeitantes à extensão, profundidade e espessura das camadas, litologia e compacidade das mesmas, profundidade do nível freático e do *bedrock*, grau de alteração do material, bem como propriedades físicas e hidráulicas dos maciços.

Como referido anteriormente, a prospeção geotécnica está incluída num determinado projeto, sendo este o primeiro passo a ter-se em consideração para o mesmo. Por tal, por motivos de segurança, e de forma a existir um acompanhamento rigoroso numa obra, a prospeção não só irá atuar no início do projeto, como também nas várias fases incluídas neste, tais como: estudo prévio ou viabilidade, anteprojecto, projecto, construção, e em todo o acompanhamento da mesma.

Os diferentes tipos de trabalho a realizar, terão uma estrutura idealizada, a fim de uma melhor organização dos dados e aplicação do conhecimento dos mesmos. Organização esta, que passa por três fases apresentadas no quadro 4.

Quadro 4 - Fases da prospeção geotécnica e respetivas funções

Fases da prospeção geotécnica				
Estudo prévio	Anteprojecto	Projecto	Construção	Observação
Estudo geológico e geotécnico				
Reconhecimento	Campanha preliminar de prospeção e ensaios	Campanha complementar de prospeção e ensaios	Acompanhar o processo da obra	Interpretação dos resultados de observação
Finalidade				
Reconhecimento geológico e geotécnico da superfície	Prospeção Geotécnica (Zonamento Geotécnico)	Zonamento geotécnico com significado para a prospeção	Confrontação das situações reais (Relatório final)	Vigilância durante o projecto

Existem variadas formas para se obter a amostra do terreno pretendido. Todo este processo, implica métodos destinados à própria prospeção, uns mais complexos que outros, mas todos utilizáveis e imprescindíveis.

As técnicas de prospeção poderão apresentar-se perante dois tipos:

- Os que permitem o exame visual do terreno quer em valas, poços, furos e galerias acessíveis ao homem, sistemas de vídeo, recolha de amostras com trado, sondas de percussão e/ou rotativas e dispositivos de amostragem adequados;
- Os que não recolhem amostras, mas são ensaios de penetração “in situ” como o penetrómetro dinâmico leve, estático, SPT, pressiómetro, os ensaios de corte rotativo, os ensaios de carga em placa ou em estaca, os ensaios de permeabilidade e de compactação e os ensaios geofísicos.

Por seu lado Vallejo (2002), divide-a em três grupos:

- Sondagens geotécnicas, valas e poços;
- Sondagens geofísicas;
- Ensaios “in situ”.

Adaptando esta última classificação e não desprezando a que Coelho (1996) defende, é apresentada a figura 9 com o objetivo de resumir a informação.

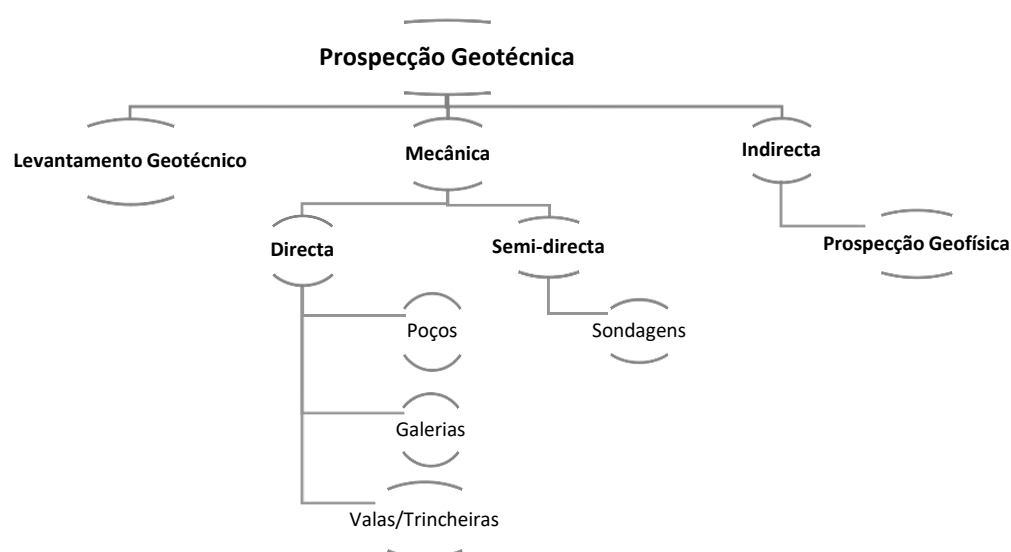


Figura 9 - Esquema resumido das subdivisões da prospeção geotécnica

O primeiro referido é então o levantamento geotécnico, de seguida a prospeção mecânica, subdividida em direta ou semi-directa e, finalmente, a prospeção indirecta que se caracteriza pela prospeção geofísica.

A escolha do método de prospeção ideal para ser utilizado numa dada obra, tem em conta quatro parâmetros: finalidade e proporção da obra, características do terreno, parâmetros que se quer conhecer e por fim, todos os custos envolventes.

O quadro 5 irá reconhecer, de uma forma muito superficial, as diferenças da prospeção direta e indirecta.

Quadro 5 - Resumo das diferenças entre prospeção geotécnica direta e indirecta

	Direta	Semi-directa	Indirecta
Definição	Permite a observação direta do subsolo, ou através de amostras colhidas ao longo de uma perfuração	Processo que fornece informações sobre as características do terreno, sem possibilitarem, a colheita de amostras ou informações sobre a natureza do solo	As propriedades geotécnicas dos solos são estimadas indirectamente pela observação à distância ou através de métodos específicos
Exemplos	- Escavações - Sondagens	Ensaio “in situ”	- Sensoriamento remoto - Ensaio geofísicos

3.3.1. *Prospecção mecânica*

Como o próprio nome indica, a prospecção mecânica, recai na utilização de meios mecânicos que resultam da necessidade de penetrar no maciço. Esta penetração serve para esclarecimento das características do maciço tais como a possança das camadas geológicas e/ou depósitos de cobertura e respetiva atitude, profundidade de alteração do maciço encontrado, características de fracturação e regime hidrogeológico, localização de contactos, falhas, filões ou outros tipos de elementos estruturais, a colheita de amostras para a realização de ensaios de laboratório, a observação de superfícies de deslizamento, a deteção de zonas de subsidência, a determinação *in situ* de certas características dos maciços tais como permeabilidade, resistência e deformabilidade, a execução do tratamento de terrenos, a observação do interior de maciços através de métodos fotográficos ou endoscópios e a determinação do seu estado de tensão.

Os métodos de prospecção mecânica são divididos em duas categorias, direta e semi-directa, sendo distinguidas seguidamente.

O tipo de prospecção direta caracteriza-se por escavações manuais ou por meio mecanizado, com o objetivo de expor e permitir uma observação direta do subsolo, com a possibilidade da colheita de amostras. Inclui assim a realização de poços, galerias, valas e/ou trincheiras.

Caracterizam-se por serem operações de prospecção semi-direta, as que consistem na abertura de furos de pequeno diâmetro executados, em geral, a partir da superfície, denominadas por sondagens. A sua profundidade, assim como o método a utilizar, dependem do tipo e dimensão da obra e da natureza do maciço sendo que a furação pode ser realizada através de trado, rotação ou percussão.

A principal diferença entre estes dois conceitos, prospecção direta e indireta, reside no facto de na primeira o técnico ter acesso direto aos materiais, já que se encontram a profundidades de escavação de dimensões razoáveis, enquanto na segunda o técnico só tem acesso aos materiais na superfície, após a evacuação dos mesmos, o que obriga a uma grande variedade de técnicas e equipamentos para obtenção desse objetivo.

3.3.2. *Prospecção geofísica*

A prospecção indireta, ou geofísica, caracteriza-se por abordar um conjunto de técnicas que investiga o interior da Terra, estimado indiretamente a partir das variações detectadas em parâmetros físicos significativos (condutividade, resistividade elétrica, magnetismo, densidade, etc.), que terão como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades, naturais ou não.

A maior parte do nosso conhecimento terrestre, abaixo das profundidades que se podem atingir por intermédio de furos e sondagens, é proveniente de observações geofísicas, sendo, portanto, estes os métodos, os que mais contribuíram para o conhecimento da distribuição espacial dos materiais e estruturas que compõem o nosso planeta.

A maior vantagem que estes métodos apresentam em relação aos mecânicos, recai no fato da investigação das estruturas subsuperficiais ser realizada através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se como métodos não destrutivos. Os levantamentos geofísicos não dispensam a utilização complementar de sondagens, mas, quando aplicados racionalmente, podem otimizar a necessidade de fazer furos, economizando.

Dentro deste tipo de prospecção, existe uma série de métodos que se podem utilizar e adequar às propriedades físicas do local em estudo, sendo estes apresentados na figura 10.

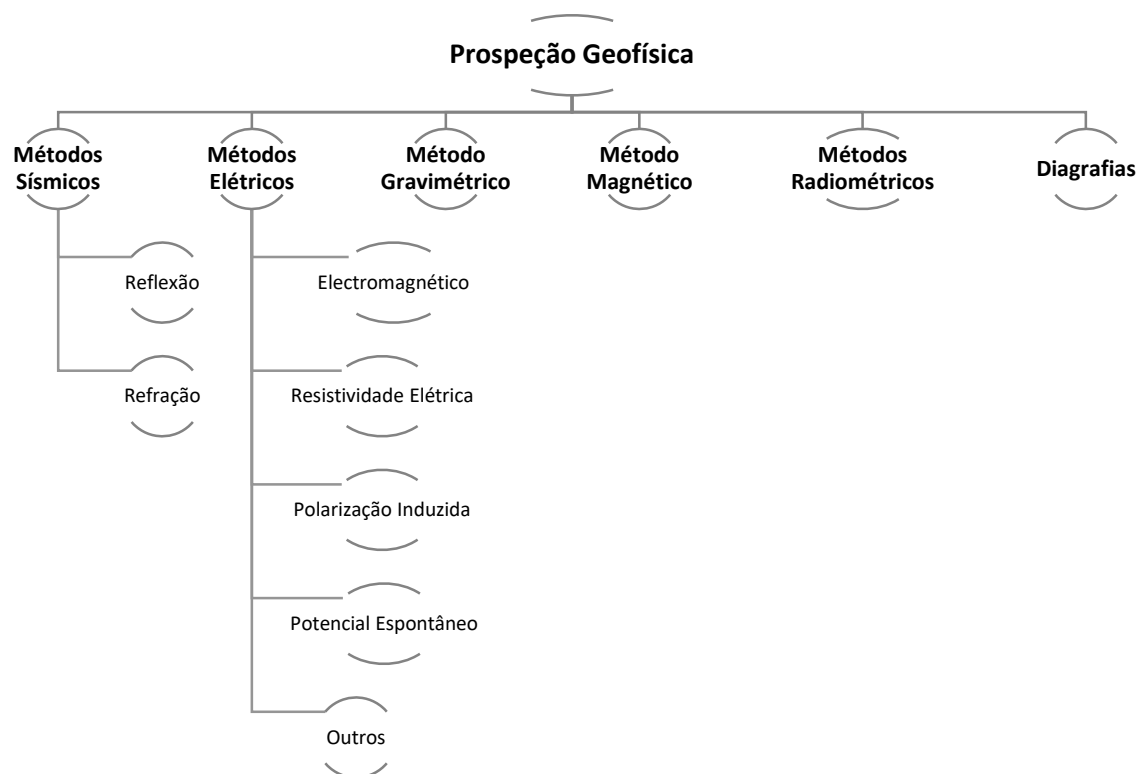


Figura 10 - Esquematização dos métodos geofísicos

Apesar da divisão já apontada anteriormente, é possível ainda diferenciá-los relativamente à maneira como a energia contacta o solo. Portanto, os que usam os campos naturais da Terra e, aqueles que requerem a introdução no solo de energia gerada artificialmente.

Os métodos que se caracterizam pela utilização dos campos naturais são: o gravítico, o magnético, o elétrico e o eletromagnético. Têm, pois, a funcionalidade de localizar perturbações locais que podem ser provocadas por estruturas geológicas não conhecidas.

Os métodos com injeção de energia, artificiais, envolvem geração de campos elétricos ou eletromagnéticos e de ondas sísmicas, cuja propagação e percurso no solo fornecem informação sobre a distribuição das fronteiras geológicas e litológicas em profundidade.

Geralmente os métodos com energia natural tendem a fornecer informação sobre as propriedades da Terra até profundidades significativamente elevadas e são, logisticamente mais fáceis de aplicar quando comparados com os métodos de energia artificial.

3.3.3. Ensaio de campo/ *In situ*

A prospeção geotécnica, na maioria das vezes, encontra-se acompanhada de ensaios realizados *in situ*. Alguns autores classificam os métodos de investigação a partir dos ensaios *in situ* em função da sua investigação, ou seja, método direto e indireto ou então em função do efeito que provocam no maciço, destrutivos ou não destrutivos.

Para além de individualmente, os ensaios podem ainda serem realizados em simultâneo. Existe ainda situações em que um só tipo de ensaio não é suficiente e, portanto, recorre-se à combinação e correlação de vários, dos parâmetros obtidos em cada. Os referidos ensaios, têm como objetivo ajudar numa melhor caracterização dos maciços ou local a estudar, estando estes associados a trabalhos de prospeção que vulgarmente são realizados com a finalidade de completar determinado zonamento geotécnico para determinada obra de engenharia.

Os ensaios podem sofrer uma divisão referente ao tipo de material a que se destinam, como também ao tipo de parâmetro que se pretende conhecer. No quadro 6 são apresentados os possíveis e conhecidos ensaios.

Quadro 6 - Ensaio *in situ*

	Tipo de material	
	Solos	Rochas
Resistência	SPT ou DP(L,M,H,SH) CPT/CPTU Molinete	Martelo de Schmidt Carga pontual (PLT)
Deformabilidade	Carga em placa Pressiómetro Ménard	Dilatómetro (DMT) Carga em placa
Permeabilidade	Lefranc	Lugeon

A escolha do método é condicionada maioritariamente pelo tipo de solo em que se vai realizar o ensaio, e também pelos os parâmetros pretendidos. Dentro destes últimos, tende-se ainda a optar pelo método menos dispendioso, mais rápido e menos complexo.

3.4. Modelação geoestatística

3.4.1. *Enquadramento Histórico*

Daniel Krige, principal responsável pelo aparecimento do conceito da geoestatística, era Engenheiro de Minas.

O conceito surgiu devido a trabalhos prestados por Krige para a sua tese de mestrado, em que o mesmo se deparou com o facto de que a informação obtida através da variância era escassa quando se pretendia explicar a variabilidade referente à concentração de ouro nas minas de Witwatersrand (1951).

Houve então a necessidade de combater esta escassez, conseguindo-a ao considerar a distância e a localização geográfica de cada uma das amostras de ouro, e verificar a sua interdependência espacial com o intuito de se perceber como seria a distribuição das concentrações desse mesmo minério.

Mais tarde, nos anos 60, o matemático e geólogo Georges Matheron teorizou o conceito já referido, baseando-se em Krige, desenvolvendo assim a teoria das variáveis regionalizadas, apadrinhando de “krigagem” a técnica de interpolação com o uso de médias móveis, solidificando assim a geoestatística.

Matheron não conseguiu determinar a variância da função que define o modelo aplicado nos seus trabalhos, facto crucial para impedir que a geoestatística não fosse aceite como um ramo da estatística propriamente dita, até ao final dos anos 80, obrigando assim ao seu desenvolvimento fora desta área.

No entanto e mais precisamente no início dos anos 90, dá-se a aceitação da geoestatística como um dos 3 principais ramos da estatística espacial, sendo este largamente aplicado a variadas e tão distintas áreas, focando a hidrologia, hidrogeologia, geologia, geoquímica, geografia, ambiente e a geotecnia.

3.4.2. *Resumo introdutório à geoestatística*

Após conhecimento dos factos anteriormente referidos, importa salientar que os métodos geoestatísticos estão aptos para desenvolver modelos que visam o comportamento de determinada situação em estudo, aproximados à realidade, com a capacidade ainda de prever de forma continua fenómenos naturais complexos que poderão ocorrer em determinadas áreas, ou seja, a modelação geoestatística é a conceção de um processo aleatório que consiste na seleção de um número restrito de parâmetros que, conjuntamente com algumas hipóteses de partida, permitem a inferência espacial.

A técnica das médias móveis, e em função da área de determinada amostragem, admite a obtenção de uma matriz de covariância espacial a fim de se tomar conhecimento acerca de vários parâmetros: o peso das diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados a estudar, o estado de vizinhança a considerar na dedução geoestatística e o erro associado ao valor estimado.

Os modelos geoestatísticos considerados para que se consiga obter a modelação de determinada superfície tridimensionalmente, baseiam-se essencialmente em métodos de interpolação tais como: krigagem, médias móveis, triangulação por interpolação linear, mínima curvatura, polinómio local, vizinho próximo e inverso da potência da distância. A krigagem será o método a considerar para a modelação tridimensional apresentada nesta dissertação apresentada numa fase posterior.

Segundo Souza et al. (2011), a interpolação é um processo que permite construir um novo conjunto de dados a partir de outro com dados pontuais conhecidos, ou seja, é um método que possibilita proceder à reconstituição aproximada de uma função apenas conhecendo alguns pontos da malha. O processo de interpolação é constituído por duas fases: a primeira diz respeito à definição de um relacionamento dos dados iniciais com a vizinhança e a segunda, à definição de qual o método mais eficaz e capacitado para o cálculo dos valores desconhecidos.

Por fim, e para uma melhor compreensão do uso da geoestatística na dissertação, importa referir a teoria das variáveis regionalizadas uma vez que se caracteriza por ser um dos conceitos importantes da krigagem.

Entende-se por variável regionalizada qualquer função numérica com uma distribuição espacial que varia de um lugar para outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função determinística (Blais & Carlier, 1968).

Em suma, esta teoria apresenta funções com o intuito de representar valores de variáveis aleatórias que sejam o alvo do estudo, descrevendo quantitativamente as suas variáveis espaciais, estando, portanto, associadas a uma componente aleatória (uma gama de valores observados) e a uma componente estrutural (uma variação espacial dos valores observados). Isto obriga a que haja uma dependência espacial entre todas as amostras e os valores estimados para cada local, tendo em conta a função da distância entre os mesmos, ou seja, as variáveis regionalizadas são assim dependentes das posições espaciais relativas.

- **Krigagem**

A krigagem caracteriza-se por ser um método de interpolação que utiliza a geoestatística, como já referido, tomando em consideração as funções aleatórias e as características espaciais de auto-correlação das variáveis regionalizadas. Nestas últimas, deve existir sempre que possível uma

certa continuidade espacial, permitindo assim que os dados obtidos por amostragem de certos pontos, possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido. No caso de a variável não possuir continuidade espacial, não há qualquer legitimidade matemática para que se possa estimar e/ou interpolar através da krigagem.

O processo de krigagem é idêntico ao da média ponderada distinguindo-se apenas pela análise variográfica a partir de um variograma, utilizando distâncias ponderadas e estimação por médias móveis, único meio disponível para se verificar a existência, ou não, de continuidade espacial e, se houver, quais os parâmetros que melhor caracterizam o comportamento regionalizados. Uma vez modelado o variograma é possível verificar o nível de anisotropia dos dados e definir os pesos para cada amostra.

As vantagens para a utilização desta metodologia são bastantes, uma vez que se considera este, como um dos métodos mais eficazes para o tratamento de dados, sendo citadas seguidamente.

Uma das maiores vantagens da krigagem passa pelo fornecimento:

- Dos parâmetros adequados de amostragem: nº de amostras, distribuição e densidade;
- Dos parâmetros: tamanho da área, forma (circular ou elipsóide) e, se elipsóide, orientação do eixo principal;
- Dos parâmetros adequados da malha: tamanho das células, forma e orientação;
- Da natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, importância relativa da influência espacial vs casual;
- Da previsibilidade da variação espacial da variável avaliada.

Se o variograma for apropriado tem as seguintes vantagens:

- Evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados;
- Permite a determinação das melhores estimativas;
- Permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada;
- Fornece precisão e contornos suaves;
- Interpolador exato: o valor estimado para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição;
- Estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados;
- Modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais;

- Calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizadas para quantificar um intervalo de valores e calcular intervalos de confiança.

4 – Avaliação do índice de resistência do campus do ISEP através dos ensaios de campo

4. Avaliação do índice de resistência do campus do ISEP através dos ensaios de campo

4.1. Apresentação da zona estudada

4.1.1. *Enquadramento geográfico*

A zona em estudo, cidade do Porto, localiza-se no Noroeste (NO) da Península Ibérica e de Portugal Continental.

O distrito do Porto corresponde ao núcleo da província tradicional do Douro Litoral, o qual se encontra limitado a Norte com o distrito de Braga, a Leste com o distrito de Vila Real, a Sul, Viseu e Aveiro e a Oeste com o Oceano Atlântico.

Dentro deste grande distrito, encontra-se a freguesia de Paranhos pertencente ao município do Porto, tendo esta um património valioso no que diz respeito ao Ensino Superior, pois apresenta o maior polo da cidade do Porto, o Polo Universitário da Asprela.

Este polo, que contempla para além de muitos, o campus do ISEP, que como referido anteriormente, irá ser objeto de todos os trabalhos realizados, cujo objetivo é a caracterização em pormenor deste campus, e, portanto, realizados em totalidade no interior das suas instalações.

Na figura 11 é possível obter uma melhor perceção da localização do ISEP relativamente a Portugal, e também à zona Norte.

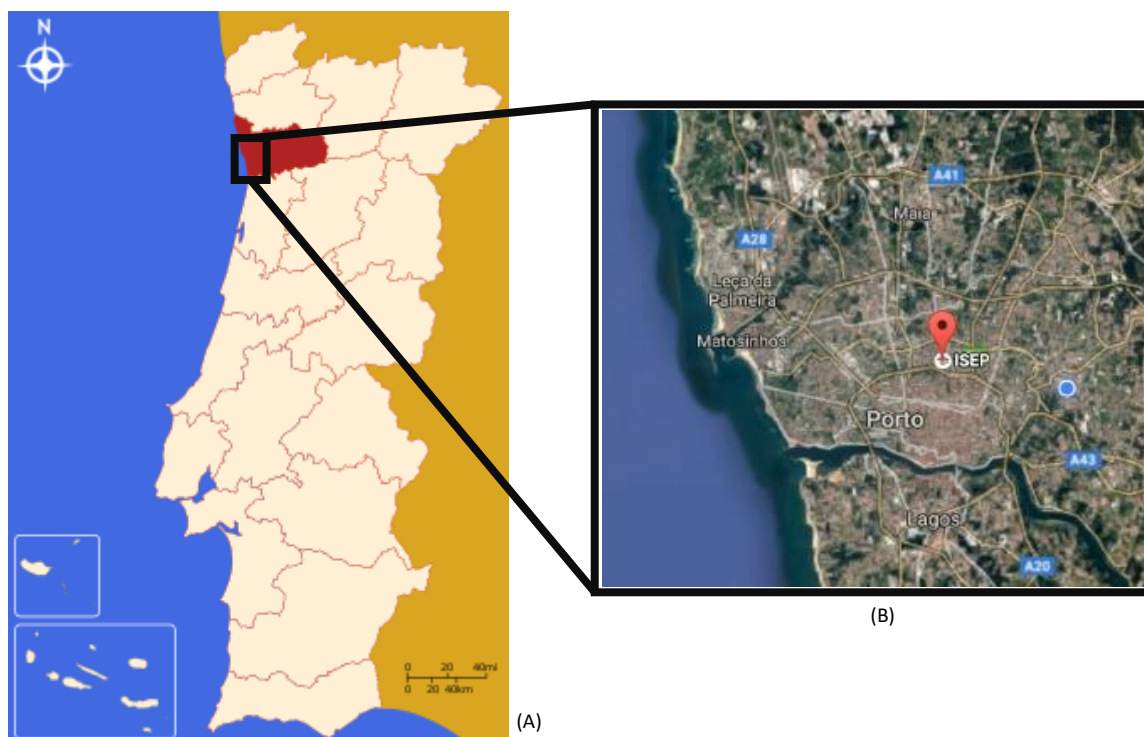


Figura 11 - (A): Localização geográfica do distrito do Porto (**Fonte:** https://pt.wikipedia.org/wiki/Distrito_do_Porto);
(B): Localização geográfica do ISEP (**Fonte:** Google Maps)

4.1.2. Enquadramento geológico

A área urbana do Porto encontra-se implementada num domínio do complexo do Maciço Ibérico, na zona da Ossa Morena, fazendo esta, fronteira com a zona da Central Ibérica (Ribeiro et al. 2007) junto da fronteira a Oeste da zona de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (Chaminé et al. 2003, Ribeiro et al. 2007).

Generalizando, esta região é composta por três tipos de formações litológicas: as formações sedimentares de cobertura, as formações metamórficas e as formações de origem ígnea. Deste conjunto, o mais expressivo é sem dúvida o das formações de origem ígnea e, em particular, o das rochas graníticas de idade hercínica ou varisca (340 aos 270Ma) (Noronha 2005).

Na figura 12 é possível observar o enquadramento geotécnico regional da faixa acima referida.

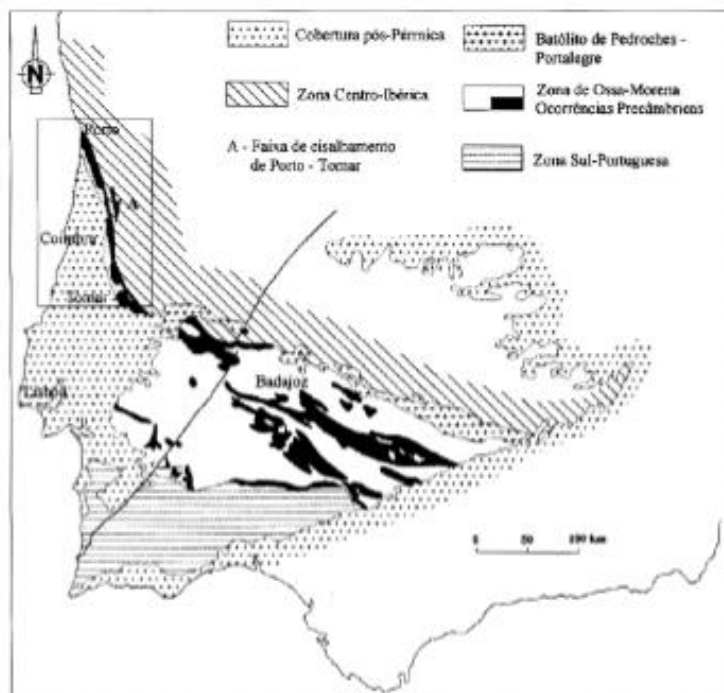


Figura 12 - Enquadramento geotécnico regional da faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (Zona Ossa Morena de Portugal) no Maciço Ibérico
(Fonte: Chaminé et al 2003)

Geologicamente, a região compreende ainda um substrato cristalino da zona oriental e um complexo de gnaisses e micaxistos na região ocidental, fortemente deformado com uma complexa história tectonometamórfica do Proterozóico superior/Paleozóico.

Segundo a classificação dada pela Carta Geotécnica do Porto, o granito do Porto caracteriza-se essencialmente por ser um granitoide de grão médio a grosso, de duas micas, cinzento, podendo este apresentar um tom amarelado quando se encontra com algum grau de alteração. O mesmo encontra-se, geralmente, meteorizado em diferentes graus, desde rocha sã a solo residual, exibindo condições geotécnicas muito variáveis, resultante especialmente da arenização e caulnização, as quais podem atingir profundidades superiores a 100m.

Pode ainda dizer-se, que esta mesma zona se encontra envolvida por terrenos metamórficos pertencentes ao complexo xisto-grauvácio e metamórfico da Foz do Douro.

A figura abaixo, 13, retrata o tipo de formações geológicas presentes em todo o terreno de Portugal Continental, e, com maior precisão, o local do estudo realizado.

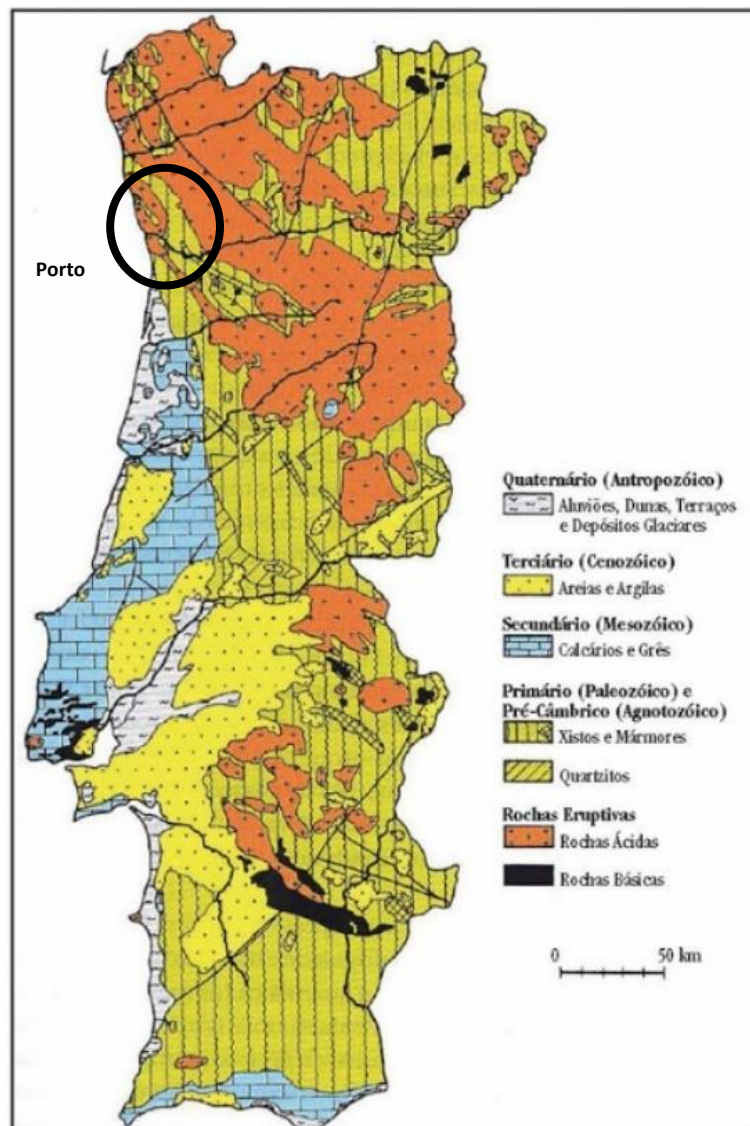


Figura 13 – Mapa geológico de Portugal
(Fonte: <http://geo-12.blogspot.pt/2012/02/carta-geologica.html>)

Em termos geomorfológicos, a região do Porto apresenta uma plataforma litoral caracterizada por uma superfície ligeiramente inclinada a Oeste, culminando a cerca de 120m acima do nível do mar por uma série de colinas (250-300m a.n.m.). A plataforma é cortada pelo Rio Douro num vale de encostas altas e inclinadas, que constituem a chamada zona Ribeirinha (Afonso 2010, Carrington da Costa 1958; Chaminé et al. 2003a, b). Existem evidências ubíquas de atividade neotectónica, tais como falhas geológicas abundantes (principalmente inversas), que afetam os depósitos mais elevados desta plataforma litoral, e os níveis marinhos parecem ocorrer a diferentes altitudes, desenvolvendo-se um padrão irregular com uma ligeira inclinação de Norte para Sul.

4.2. Introdução aos ensaios

Na fase inicial da realização dos trabalhos, neste caso, dos ensaios *in situ* do penetrómetro dinâmico, terá que se ter em consideração o tipo de solo e/ou rocha que se poderá encontrar. A par disto e uma vez que a operação acontece nas instalações de um instituto dedicado ao ensino superior, muitos pormenores devem ser apreciados e tidos em conta, pois como se trata de um ensaio em profundidade, a probabilidade de intercalar qualquer tipo de obra ou instalação nas suas profundezas (mesmo que pequena) torna-se bastante elevada.

Tal facto obriga a um estudo e/ou conhecimento dessas mesmas possíveis interações. Posto isto, foram recolhidas em campo, com a ajuda de técnicos conhecedores, todas as informações relativas a caixas de energia enterradas, instalações elétricas, armazenamento e depósitos de gases, condutas de água indispensáveis para a rega, parques de estacionamento instalados a relativas profundidades, bem como qualquer outro tipo de impedimento que não os mencionados anteriormente para a realização dos ensaios.

Após obtidas as informações acima referidas, torna-se então possível a ponderação da disposição dos ensaios a realizar, tendo em conta o principal parâmetro: obtenção de uma malha dispersa, mas concisa, ao longo de todo o campus de forma a conseguir cobrir toda a área de interesse. Desta forma os ensaios foram marcados considerando os seguintes aspetos: as distâncias dos ensaios devem ser ponderadas entre os 20 e os 30m; o aproveitamento de todas as zonas e espaços aparentemente relvados; e definição de um alinhamento mais ou menos certo entre os ensaios, para que numa fase posterior a realização dos perfis seja facilitada.

No entanto, nem todos os ensaios avaliados nesta dissertação foram realizados de própria autoria, sendo alguns dos ensaios, adaptados de 3 trabalhos executados no passado.

O primeiro a ser considerado foi relativo a uma dissertação realizada anteriormente, da colega Rosa Vinagre, dando a possibilidade de completar o leque de furos a realizar, uma vez que atualmente naquele local já se encontram edifícios estruturados, sendo impossível assim de se obter conhecimento do terreno através dos ensaios. No mesmo seguimento, e impedindo a realização do PDM no local, foram fornecidos pelo Engenheiro João Paulo Meixedo, os trabalhos relativos à construção das Box's do Departamento de Engenharia Mecânica. Por fim, e recordando a unidade curricular de Prospeção Geofísica e Sondagens lecionada pelo mesmo docente, no segundo ano da Licenciatura de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, a qual nos proporcionou a dada altura uma aula de campo para a demonstração do ensaio, foram então aproveitados os dados referentes ao mesmo, uma vez que naquele local, não haveria hipótese de se realizar um novo

ensaio nos tempos de hoje, devido igualmente à existência de infraestruturas recentemente implementadas.

Na figura 14 é então observável o conjunto de furos considerados para a dissertação presente, mencionando e distinguindo-os através das diferentes origens referidas no parágrafo acima descrito.



Figura 14 - Origem dos ensaios realizados

Dando início aos trabalhos, alguns problemas foram surgindo devido a várias condições (naturais ou não) do local estipulado inicialmente para a realização dos furos, referindo os mesmos seguidamente.

A distância entre os furos 11 e 12 sofreu uma ligeira alteração, tal como a localização do furo 26, devido ao facto da presença de grandes árvores que possuíam raízes portentosas. Sendo assim, não era de todo viável, a realização do ensaio naquele mesmo sítio, tendo sido necessário o afastamento dos mesmos.

Igualmente se deparou o mesmo problema aquando da realização do conjunto de furos do 17 ao 22 e do 27 ao 29, incluindo e aumentando neste caso, a agravante da inclinação, já que o terreno apresentava ser um talude, obrigando assim a escolha de um local o mais plano possível de forma a facilitar o ensaio, bem como a diminuir a possibilidade de erro.

Ainda referente aos furos 27, 28 e 29 e incluindo o conjunto de furos do 13 ao 16, notou-se também a dificuldade de executar o ensaio perto da zona de estacionamento, tendo sido necessária a execução de várias tentativas até se conseguir obter valores minimamente aceitáveis.

Relativamente à realização dos conjuntos de furos de 23 a 25 e de 30 a 33, esta foi muito bem deliberada e ponderada, já que os referidos se encontravam muito perto de zonas onde a probabilidade de intercalar qualquer tipo de cano de água, redes elétricas e de gases, era de elevado risco, ajustando obviamente todos eles, de forma a garantir que nenhuma das referidas situações, acontecesse. A realização dos dois últimos conjuntos de furos era realmente indispensável, visto que toda a linha exterior do campus se encontrava bem caracterizada ao contrário da zona interior, isto porque as zonas em que realmente existia terreno relvado são bastante escassas e, se os mesmos não fossem realizados, era, de todo, impossível a caracterização do interior do campus do ISEP, pois não existiam qualquer tipo de dados referente ao mesmo.

Ponderou-se ainda a execução de mais um furo entre o 22 e o 23, tendo sido realizadas duas tentativas. No entanto, tal não foi possível, uma vez que nos foi informada a presença de um parque de estacionamento há largos anos naquele mesmo local, o que se veio a confirmar aquando das tentativas, já que a máxima profundidade obtida era de 20cm, conseguindo-se observar o betuminoso a olho nu.

Importa referir um aspeto bastante importante, estando este ainda relacionado com as dificuldades que foram sentidas no trabalho de campo, nomeadamente com facto dos trabalhos em campo, ou seja, os ensaios, terem sido os principais responsáveis pela ocupação de maior parte do tempo concedido para a execução de toda a dissertação, necessitando ainda de dois ou três meses para que a campanha fosse terminada. Tal facto acontece devido a vários propósitos, sendo estes citados seguidamente.

Inicialmente, e porque os ensaios não foram realizados por pessoal técnico e entendido na área, houve a necessidade de perceber como realmente o ensaio se processava, com a ajuda do Engenheiro João Paulo Meixedo, para que posteriormente a execução dos ensaios fosse o mais autónoma possível, não dependendo de técnicos.

A aprendizagem relacionada com o manuseamento do material e todo o processo correto do seu transporte, torna-se importantíssima, uma vez que se trata de um equipamento bastante robusto, mas frágil ao mesmo tempo, dispensando assim algum tempo e ocupando maior parte da fase inicial dos trabalhos de campo.

Relativamente ao manuseamento do equipamento que faz parte do ensaio PDM, este não era possível de ser realizado apenas com o recurso a duas pessoas, e, portanto, mostrava-se ser necessária a presença de pelo menos mais um colaborador, dependendo assim a realização do ensaio consoante a disponibilidade de colegas que se voluntariassem para ajudar.

Para além de, como referido anteriormente, ter que existir um estudo prévio do terreno em si, e de todas as estruturas que se encontram enterradas, este mesmo estudo é realizado em

conjunto com os técnicos conhecedores de todas estas instalações e, portanto, nem sempre se encontravam disponíveis, tendo que adiar assim a execução dos ensaios, uma vez que não era, de todo, viável a mesma sem o devido conhecimento do terreno.

Por outro lado, e pelo facto da campanha ter sido realizada principalmente na altura de transição entre o inverno e a primavera, é de salientar a coincidência entre a realização dos ensaios com as fortes chuvadas que se fizeram sentir nesta mesma altura. Este último impedimento é bastante influenciável no que toca à concretização dos furos, já que não é possível executar o tipo de ensaio PDM nas condições referidas, perdendo assim muito tempo no decorrer de todos os trabalhos.

4.3. Apresentação dos ensaios

Após o término da execução de todos ensaios, com as devidas alterações a que foram sujeitos, segue-se a demarcação dos mesmos em pormenor, não só para que a leitura seja facilitada, mas também para que haja uma perceção mais detalhada de todos os pontos onde se atuou, concluindo assim o trabalho de campo.

Nesta etapa, e já numa fase de trabalhos de gabinete, com a ajuda do programa informático *AutoCad* e também com todas as anotações acerca da localização real de cada furo, tendo como referência a distância do mesmo a locais já definidos nesse mesmo programa, foi possível obter-se a configuração de todo o campus a partir desse mesmo ficheiro. Rapidamente se nota a má perceção da localização dos furos entre todos os elementos presentes no ficheiro, tornando-se bastante difícil prosseguir com os trabalhos no que diz respeito à distinção dos mesmos para a demarcação dos perfis, tal como o alinhamento que os furos apresentam, pois, a escala é bastante reduzida.

Para além do ficheiro possuir todos os detalhes acima descritos incluídos no projeto do ISEP, também são várias as anotações relativamente a curvas de nível, cotas, entre outros valores que facilmente se confundiam com os furos realizados.

Apesar do referido, a imagem obtida não foi descartada, não só pelo facto de apresentar todos os conteúdos referentes ao instituto, a qual dava a conhecer os locais em pormenor de qualquer ponto do mesmo, sendo fulcral para perceber onde era possível a execução do ensaio PDM, mas também por ser uma mais-valia no que toca à delimitação dos trabalhos e conhecimento real das distâncias entre os furos, para que, posteriormente, esta seja utilizada na elaboração dos perfis, a fim de se obter a máxima veracidade dos resultados.

No entanto houve a necessidade de arranjar alternativas à marcação dos ensaios numa planta que permitisse uma boa visualização de todo o Campus, e posterior percepção do alinhamento que todos os perfis iriam tomar, sendo este um aspeto importante para a consideração dos perfis.

Posto isto, recorreu-se ao Google Earth, tornando-se possível a extrapolação através de uma imagem nítida e perceptível, do campus do ISEP e também de todas as concessões à sua volta, para que o efeito relativo à presença de todos os elementos do mesmo fosse verificado, delimitando obviamente os locais de interesse.

Posteriormente, e com o intuito de garantir a fácil observação do alinhamento dos furos, a imagem retirada do Google Earth, foi sujeita ao programa informático *Photoshop*.

Com isto não só foi possível compilar todos os furos numa única imagem, como também uma possível edição livre da mesma, sempre que se desejar.

Sendo assim, a figura 15 mostra então a compilação final de todos os furos, já com a sua localização real e definitiva, implementada em toda a área do campus do ISEP.

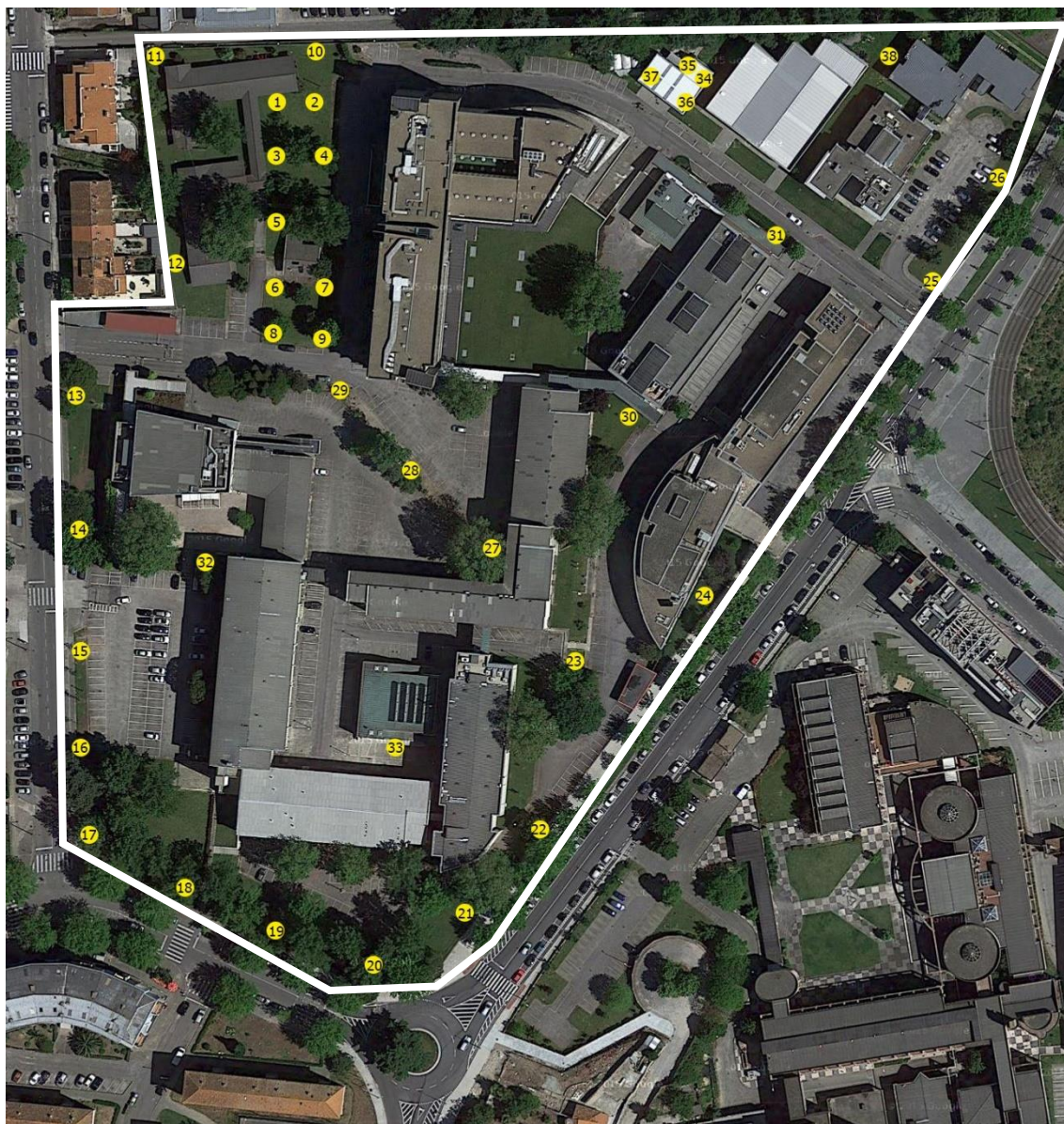


Figura 15 – Demarcação de todos os furos relativos aos ensaios, na planta do Campus do ISEP
(Fonte: Adaptado de Google Earth)

4.4. Exemplo da obtenção dos resultados

Após a orientação relativamente à localização de todos os ensaios, e preenchido o boletim de campo referente a cada um deles, segue então a organização dos dados numa folha de Excel fornecida pelo Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção.

A folha de Excel é de igual estrutura do boletim de campo, tendo a primeira como único objetivo facilitar o cálculo dos parâmetros em estudo, bem como a posterior obtenção do gráfico que relaciona a profundidade com o número de golpes.

Uma série de dados é considerada na folha de cálculo, necessários para a aquisição dos valores finais das tensões admissíveis, em que alguns desses dados são adquiridos em campo e outros calculados através de uma expressão matemática referida adiante, neste documento.

A figura 16 apresenta um excerto do boletim/folha de cálculo, servindo apenas como exemplo para a explicação que se dará, a fim de se compreender a inserção e obtenção de todos os valores resultantes.

Importante é de referir que os boletins alusivos a todos os ensaios serão apresentados no CD-ROM, nomeadamente no anexo I.

LGMC
LABORATÓRIO GEOTÉCNICA E
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

160 ANOS
1932 2022

isep

Instituto Superior de
Engenharia do Porto

ENSAIOS DE CAMPO - PDM

Obra: Dissertação de Diana Rodrigues

Realizado por: Diana Rodrigues

Verificado por: João Paulo Meixedo

PENETRAÇÃO DINÂMICA MÉDIA (PDM 30)

Ensaio nº F1

Data: 8/03/2016

Prof. (m)	Nº de Varas	Nº de Golpes (N)	K	Rda N x K (Kg/cm²)	Tensões Admissíveis (Kg/cm²)
--------------	-------------------	------------------------	---	--------------------------	------------------------------------

Prof. (m)	Nº de Varas	Nº de Golpes (N)	K	Rda N x K (Kg/cm²)	Tensões Admissíveis (Kg/cm²)
--------------	-------------------	------------------------	---	--------------------------	------------------------------------

0,10	1	2	3,84	7,67	0,25
0,20	1	10	3,84	38,37	1,27
0,30	1	10	3,84	38,37	1,27
0,40	1	14	3,84	53,72	1,77
0,50	1	28	3,84	107,44	3,55
0,60	1	30	3,84	115,12	3,80
0,70	1	35	3,84	134,30	4,43
0,80	1	31	3,84	118,96	3,93
0,90	1	28	3,84	107,44	3,55
1,00	2	40	3,65	146,07	4,82

5,10	6		3,06	0,00	0,00
5,20	6		3,06	0,00	0,00
5,30	6		3,06	0,00	0,00
5,40	6		3,06	0,00	0,00
5,50	6		3,06	0,00	0,00
5,60	6		3,06	0,00	0,00
5,70	6		3,06	0,00	0,00
5,80	6		3,06	0,00	0,00
5,90	6		3,06	0,00	0,00
6,00	7		2,94	0,00	0,00

Figura 16 – Exemplo de boletim do ensaio de campo PDM

A primeira coluna faz então referência à profundidade a que a vara foi sujeita, sendo considerado para esta, intervalos de 10cm, como referido aquando da aclaração do método a aplicar neste trabalho.

Seguidamente é apresentado o número de varas sujeitas à penetração em determinada profundidade, sendo que o mesmo aumenta em 1 cada vez que é ultrapassado 1m de terreno perfurado, uma vez que o comprimento de cada vara é de exatamente 1m.

A terceira coluna corresponde ao número de golpes, um dos parâmetros a conhecer mais importante, isto porque dita o número que foi necessário contabilizar para que a vara fosse penetrada por completo em cada 10cm, igualmente referido anteriormente. Também será este o parâmetro utilizado para a concretização do gráfico responsável pela tradução de uma forma superficial sobre a evolução do índice capacidade de resistência do solo à penetração em profundidade, correspondente ao furo a realizar.

Relativamente à coluna seguinte, o K está diretamente relacionado com o tipo e número de varas, sendo utilizado para o cálculo da Resistência Dinâmica Aparente (RDA). O seu valor é obtido através da fórmula 1.

$$K = \frac{M^2 \times h}{s \times (((M + p) - pv) + (pv \times Nv))} / pn$$

Fórmula 1 – Fórmula aplicada para obtenção do parâmetro K

onde:

M – Massa do pilão (kg)

h – Altura da queda do pilão (cm)

s – Secção da ponteira cônica (cm²)

(M + p) – Total do conjunto: massa do pilão e massa do conjunto do equipamento excluindo o pilão (kg)

pv – Peso de uma vara (kg)

Nv – Número de varas

pn – Penetração (cm)

O RDA, apresentado na quinta coluna, corresponde à resistência dinâmica aparente como já referido, crucial para o conhecimento das tensões admissíveis finais, obtendo-se através da multiplicação do número de golpes para dada penetração (N), por o parâmetro conseguido na coluna anterior, o K, através da fórmula 2.

$$RDA (kg/cm^2) = N \times K$$

Fórmula 2 - Fórmula aplicada para obtenção do parâmetro RDA

Por fim, e igualmente importante, segue-se o conhecimento da tensão admissível. O valor correspondente a este parâmetro é obtido através do produto apresentado seguidamente na fórmula 3.

$$Tensão\ Admissível\ (kg/cm^2) = RDA \times 0,33$$

Fórmula 3 - Fórmula aplicada para obtenção do parâmetro da tensão admissível

Todos os parâmetros são considerados e calculados para toda a profundidade final de cada um dos furos, podendo esta ir de 10cm a 10m, dependendo do resultado de cada ensaio.

Posto isto torna-se então possível a produção do gráfico já referido ao longo do documento, sendo que o eixo das abcissas representa o número de golpes necessário para a penetração de cada 10cm, e o eixo das ordenadas, a profundidade correspondente.

Seguidamente é apresentada a figura 17, um exemplo desses mesmos gráficos que fazem parte do estudo de cada ensaio.

Importa referir, tal como foi feito aquando da demonstração do exemplo de boletim, que todos os gráficos referentes aos ensaios executados, também se encontram devidamente apresentados no CD-ROM, no anexo II.



Figura 17 - Exemplo de um gráfico de índice de resistência do solo à penetração

4.5. Apresentação dos perfis obtidos

Os perfis, nomeados ao longo da dissertação, são realmente o interesse máximo da mesma. Tal deve-se ao facto de, a partir destes se conseguir obter uma visualização mais ampla e completa relativamente às condições geológicas e geotécnicas do solo encontrado no local de estudo, conseguindo analisar as mesmas num todo.

Efetivamente, os ensaios, na sua individualidade, são aqueles que estão na origem do conhecimento do índice da capacidade que o solo resiste a determinada penetração, conseguindo-se obter o mesmo de forma imediata.

Uma vez que a informação obtida através dos ensaios é elevada, pois foram analisados 38 furos, foi então proposta a realização de perfis longitudinais.

Os perfis têm como intuito, a par do que já foi referido, uma compreensão mais detalhada e ao mesmo tempo mais abrangente do campus do ISEP, sendo esta última a sua principal vantagem. Por outro lado, e não menos importante, têm como particularidade conseguirem reunir,

de forma estratégica, o máximo de furos numa só interpretação, o que facilita bastante a apresentação dos resultados, tornando o trabalho, o tratamento e a análise dos dados menos extensa e menos complexa.

No seguimento do que foi referido e a fim de aproveitar ao máximo as vantagens deste método, torna-se então viável o delineamento dos perfis.

Nesta primeira fase é necessário que o abrangimento do máximo número de furos possíveis seja garantido, bem como o alinhamento longitudinal entre os mesmos. Como é óbvio, alguns dos ensaios, e porque a distância entre todos por vezes era bastante elevada e assim difícil de controlar o seu alinhamento, acabavam por não se enquadrar com precisão na linha traçada. Contudo, é de referir que para esses casos e quando o desvio é mínimo, considera-se a sua ligeira deslocação para o alinhamento.

Por fim, o último parâmetro a considerar, e que vai de encontro com o facto de se tentar caracterizar amplamente o ISEP, recai na realização de tantos perfis quantos aqueles que forem possíveis, sem descartar qualquer hipótese, procurando sempre cobrir toda a área sujeita ao estudo realizado.

Após reflexão e análise de todos os parâmetros essenciais para uma boa caracterização da zona e também considerando todas as particularidades descritas nos parágrafos acima, conclui-se assim a execução e tratamento de 17 perfis na totalidade.

Na tabela 4, são apresentadas as nomenclaturas consideradas para os 17 perfis, de forma a perceber-se melhor, posteriormente, a figura 18.

Quadro 7 - Relação entre os alinhamentos com os perfis

Alinhamento 1	Perfil A-A'
Alinhamento 2	Perfil B-B'
Alinhamento 3	Perfil C-C'
Alinhamento 4	Perfil D-D'
Alinhamento 5	Perfil E-E'
Alinhamento 6	Perfil F-F'
Alinhamento 7	Perfil G-G'
Alinhamento 8	Perfil H-H'
Alinhamento 9	Perfil I-I'
Alinhamento 10	Perfil J-J'
Alinhamento 11	Perfil K-K'
Alinhamento 12	Perfil L-L'
Alinhamento 13	Perfil M-M'
Alinhamento 14	Perfil N-N'
Alinhamento 15	Perfil O-O'
Alinhamento 16	Perfil P-P'
Alinhamento 17	Perfil Q-Q'

Na figura 18, são então evidenciadas todas as linhas dos perfis que foram consideradas para este trabalho, verificando assim o alinhamento dos mesmos, os furos que estes incluem no seu traço, bem como o cumprimento dos principais requisitos no que diz respeito ao cobrimento do máximo de área possível.

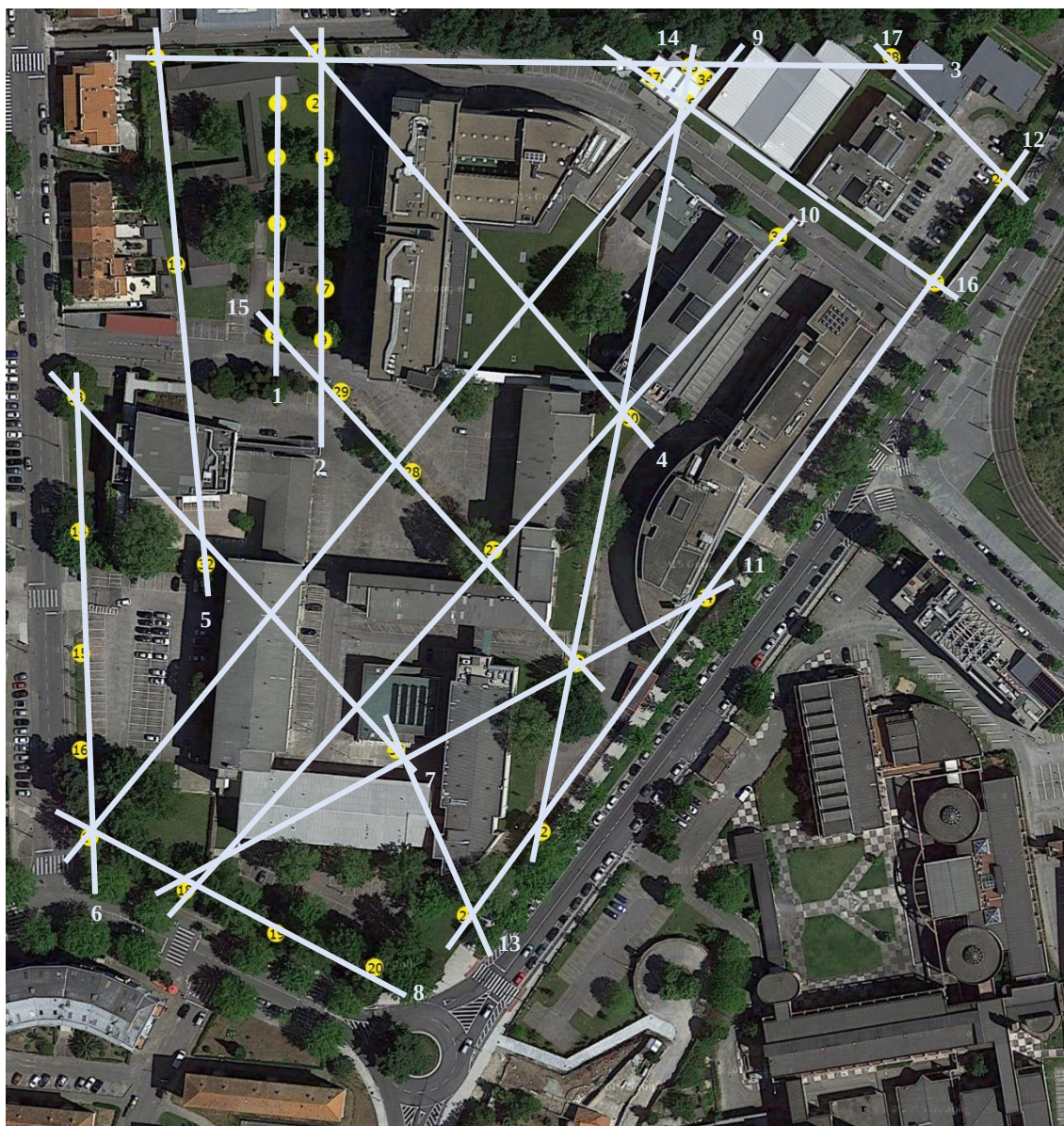


Figura 18 - Disposição espacial dos perfis considerados
(Fonte: Adaptado de Google Earth)

O objetivo maioritário da imagem anterior passa por perceber e obter uma visão mais ampla de como irá ser caracterizado o ISEP, garantido assim, que esta disposição cobrisse grande parte do mesmo, não conseguindo uma boa perceção sobre quais os furos pertencentes a cada perfil.

Desta forma, segue então a apresentação através de um quadro, dos 17 perfis tendo em conta os furos que cada um deste inclui.

Quadro 8 - Apresentação dos perfis

Número	Perfil	Furos
1	A-A'	1, 3, 5, 6, 8
2	B-B'	10, 2, 4, 7, 9
3	C-C'	11, 10, 35, 38
4	D-D'	10, 30
5	E-E'	11, 12, 32
6	F-F'	13, 14, 15, 16, 17
7	G-G'	13, 32, 33
8	H-H'	17, 18, 19, 20
9	I-I'	17, 28, 36, 34
10	J-J'	18, 27, 30, 31
11	K-K'	18, 33, 23, 24
12	L-L'	21, 22, 24, 25, 26
13	M-M'	21, 33
14	N-N'	22, 23, 30, 36, 35
15	O-O'	23, 27, 28, 29, 8
16	P-P'	25, 36, 37
17	Q-Q'	26, 38

4.6. Caracterização e análise dos perfis obtidos

Nesta fase do trabalho, encontram-se reunidas todas as informações necessárias para que a realização dos perfis se inicie, recorrendo à ajuda do programa informático AutoCad, uma vez que já são conhecidos os furos que irão fazer parte de cada perfil.

Inicia-se assim o desenho dos perfis considerando: as cotas de todos os furos, a profundidade a que cada um deles atingiu e também o número de golpes referente a cada profundidade a considerar.

Os perfis foram realizados a uma escala de 1:100, ou seja, 1cm no programa corresponde a 100m na realidade, o que foi realmente importante em todo o processo do desenho, uma vez que a distância longitudinal entre os furos se considera como sendo um parâmetro relevante. Isto porque importa perceber posteriormente se os furos estão afastados significativamente uns dos outros, pois furos com maiores distâncias tendem a um cruzamento de informação bastante dissemelhante.

Após o desenho devidamente correto e pormenorizado de todos os furos, segue então aquele que é o último passo do traçado, a definição de zonas geotécnicas.

As zonas geotécnicas são definidas essencialmente tendo em conta o número de golpes obtido em profundidade, ditando de uma forma muito generalizada se a construção de uma infraestrutura é viável, e se sim, até que pressões o terreno é capaz de sustentar. No entanto, o objetivo da dissertação não é análise dessa viabilidade, sendo complicado atingir tal informação apenas com o trabalho realizado, mas sim a definição e distinção do terreno consoante o seu índice de resistência à penetração.

Posto isto, foram então considerados 4 zonamentos geotécnicos e ponderadas algumas decisões conscientes relativamente a estes zonamentos para que seja possível uma melhor compreensão da influência da profundidade no índice de resistência à penetração.

O primeiro zonamento corresponde a valores de golpes inferiores a 20, referindo-se assim a solos com uma baixíssima resistência e incapaz de suportar qualquer tipo de construção. Valores que se encontrem entre os 20 e os 40 golpes são incluídos no segundo zonamento, o qual apresenta solos com maior nível de resistência quando comparado com o anterior, caracterizando-se também pela sua fraca capacidade de suporte. No terceiro zonamento são considerados valores entre os 40 e os 60 golpes, referentes a solos com resistência mais alta, possivelmente apresentando capacidade de suportar certos tipos de edifícios e/ou outras construções. Por último, o quarto zonamento referente a valores superiores a 60 golpes, caracteriza-se pela presença de solos mais competentes quando comparados com os anteriormente referidos, bem como por um índice de resistência à penetração mais elevado. Conclui-se assim, que a resistência do solo irá aumentar proporcionalmente com a atribuição do zonamento dada aos diferentes tipos de terreno.

Posto isto, são então apresentados todos os perfis realizados, juntamente com a caracterização de cada furo, conseguindo-se assim a leitura em pormenor de cada furo, transpondo-a posteriormente para o perfil no geral.

Torna-se importante salientar que todos os perfis são apresentados no anexo III, incluído no CD-ROM, a uma escala superior, com o objetivo de uma melhor perceção.

4.6.1. Perfil A-A'

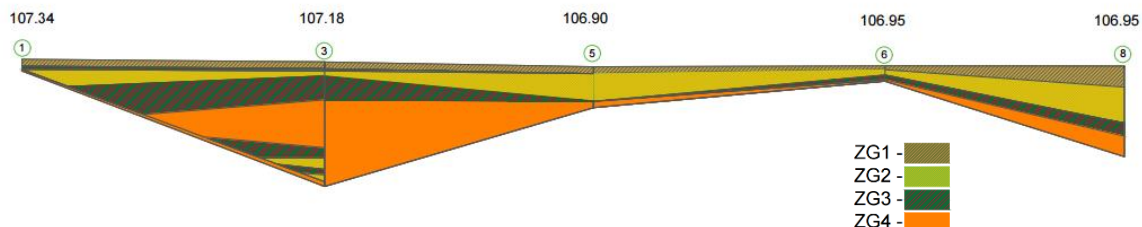


Figura 19 - Perfil longitudinal A-A'

O perfil A-A', apresentado na figura 19, revela ser bastante diversificado na parte esquerda, apresentando alguma semelhança a partir do furo 3 para a frente.

Importa referir a suposição que foi realizada quando o perfil foi desenhado no seu início, uma vez que no furo 1 foi encontrado solo com uma resistência bastante elevada a poucos metros de profundidade, ao invés do furo 3, que necessitou de maior profundidade para que o mesmo tenha sido encontrado, isto é, não havia meios de ligação entre um furo e o outro a partir dos 70cm.

Analisando de uma forma mais minuciosa, a zona que fica entre o furo 1 e o furo 3, apresenta um pouco de complexidade aquando do seu estudo, isto porque são várias as intercalações das zonas geotécnicas consideradas.

Realmente a parte superficial é comum ao longo de todo o perfil, apresentando solo com um índice de resistência bastante baixo, facto observável pelo zonamento geotécnico (ZG) a que lhe foi atribuído, zonamento geotécnico 1 (ZG1). Após isto, é de notar uma faixa de um solo um pouco mais duro do que é considerado normal, representando assim o zonamento geotécnico 3 (ZG3), o qual contempla valores consideráveis de resistência. Esta faixa inicial é pouco espessa, conseguindo verificar uma interrupção da camada ZG3, por uma camada fina de um solo menos resistente que se enquadra no zonamento geotécnico 2 (ZG2).

A maior profundidade, é observável um solo com maior consistência, já que o número de golpes necessárias para que a penetração se desse foi superior a 60, obtendo assim o zonamento geotécnico 4 (ZG4).

Nas profundidades imediatas, quando se pensava ter atingido o término do ensaio, é de realçar a presença de solo mais mole do que o anteriormente referido, diminuindo assim a resistência do solo com a profundidade nesta zona, intercalando solos pertencentes aos ZG3 e ZG2.

A continuidade horizontal do perfil é mantida a partir do furo 3. Apesar de apresentarem diferentes espessuras, as camadas existentes neste trecho do perfil, são regulares no que toca à resistência de penetração, ou seja, esta última aumenta com o aumento da profundidade, não existindo quaisquer intercalações como acontecido anteriormente.

Numa perspetiva geral do perfil, é de notar alguma irregularidade relativamente às profundidades atingidas para o término dos ensaios. Querendo isto dizer, que apesar do solo ser mais ou menos regular no que toca ao índice de capacidade de resistência, aumentando a sua compacidade a maiores profundidades, essas mesmas profundidades não são concordantes, o que leva a concluir que em alguma zonas, nomeadamente no furo 6, o solo sofreu uma rápida compactação e por isso tratar-se-á de um aterro realizado naquela zona sem qualquer cuidado.

4.6.2. Perfil B-B'

O perfil B-B' apresenta uma distância bastante elevada entre o seu primeiro furo e o último, tendo sido adaptada uma estratégia de corte do perfil para que a apresentação do mesmo seja possível.

A primeira imagem da figura 21 é referente à parte esquerda do perfil, já a segunda imagem, à parte direita do mesmo e a última faz referência ao perfil num todo, sem qualquer tipo de escala, com a ideia somente de fazer perceber melhor o comportamento de todo o perfil generalizado, obtendo melhor visualização do mesmo através das primeiras.

O mesmo se irá verificar em vários perfis ao longo da apresentação dos mesmos.

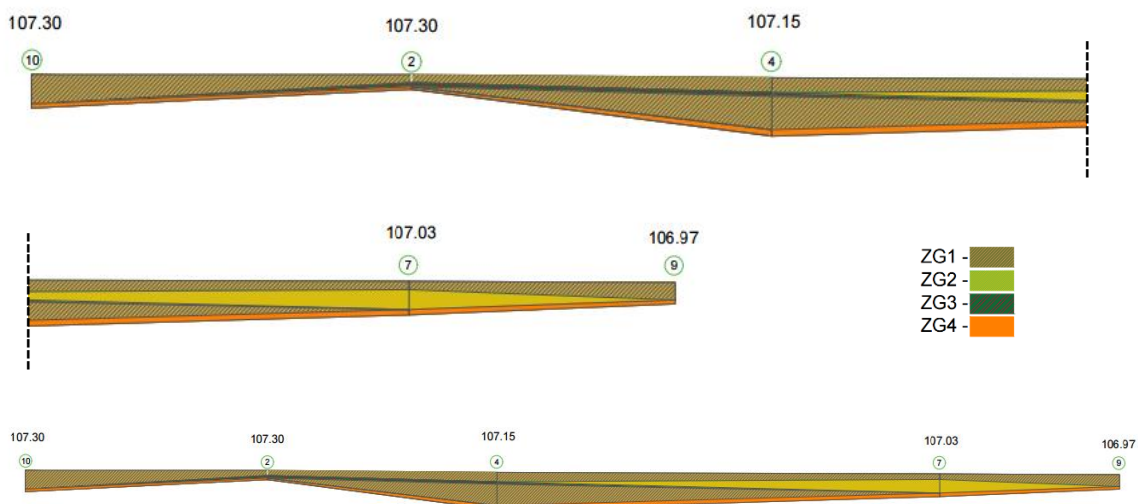


Figura 20 - Perfil longitudinal B-B'

No caso da figura 20 referente ao perfil B-B', é de notar alguma irregularidade na sua parte inicial no que toca às profundidades a que o solo com maior resistência se encontra, adotando a partir do furo número 4 maior estabilidade em relação ao mesmo.

Relativamente ao que se pode constatar sobre o comportamento do solo intercetado por este perfil e numa fase inicial do mesmo, aparenta ter más condições de consistência uma vez que existe uma camada bastante grossa de solo incluído no ZG1, tendo apenas como base uma fina camada de solo de maior consistência. Nota-se que não existe qualquer vestígio de solo referente ao ZG2 e ZG3, não tendo informação necessária para concluir acerca destes.

Numa segunda fase, e entre os furos 2 e 4, é de salientar a existência de uma espécie de "intrusão" no solo referente ao ZG1, por um solo mais resistente quando comparado com este último, sendo que a continuidade do perfil em profundidade apresenta semelhanças ao referido no parágrafo anterior, e até ao fim do mesmo.

Segue assim o perfil até à sua finalização, de uma forma mais constante, pois nas profundidades iniciais, o solo apresenta ser de baixa consistência, aumentando gradualmente com o aumento da profundidade, passando de ZG1 para ZG2.

4.6.3. Perfil C-C'

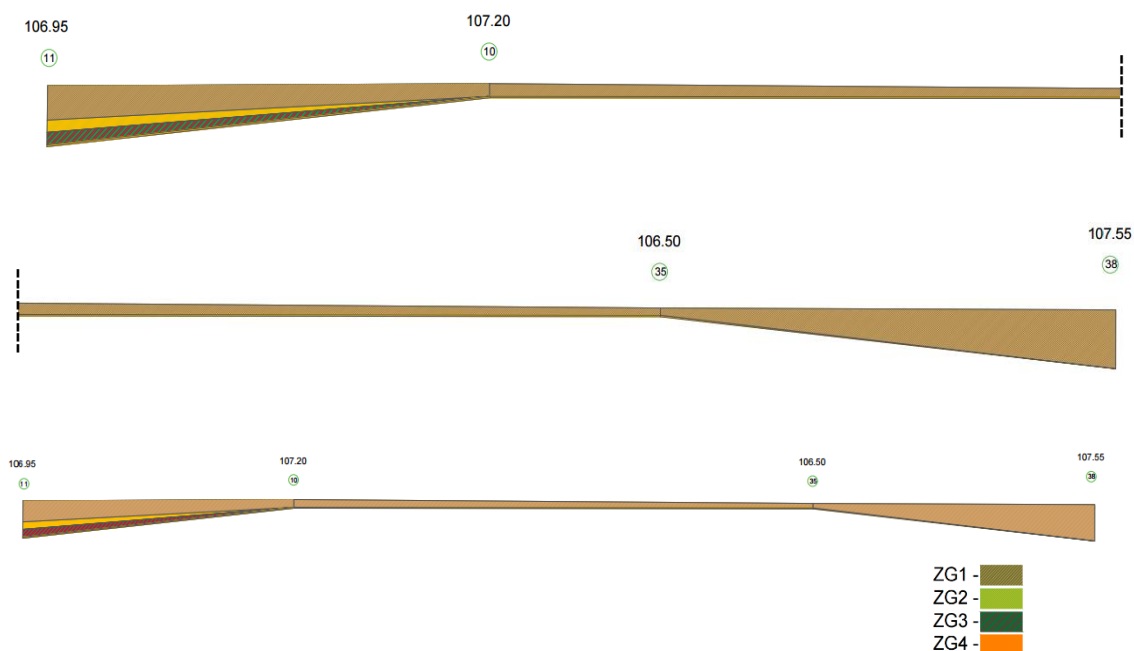


Figura 21 - Perfil longitudinal C-C'

Analisando o perfil C-C' através da figura 21, é de realçar a sua estrutura. Apesar de ser um perfil que apresenta bastante distância entre os seus furos, nota-se uma semelhança elevada relativamente às profundidades atingidas, estando as mesmas em concordância, resultando assim um perfil simétrico.

Geotecnicamente, a análise é facilitada uma vez que não existem intercalações de zonamentos, isto é, o índice de resistência aumenta progressivamente, como é de esperar. A primeira parte do perfil apresenta os 4 zonamentos geotécnicos bem definidos. No entanto, e a partir dessa até ao final do perfil, é de salientar a presença abundante de solo muito mole e sem qualquer consistência, tendo apenas como base uma camada muito fina com uma elevada dureza.

Importa referir o facto de o furo 38 aparentar alguma deficiência aquando da sua realização, pois o término do ensaio deu-se aos 5,80m com 12 golpes respetivamente. Não é viável a conclusão acerca deste, pois o furo não foi realizado durante estes trabalhos, tendo sido aproveitado, como referido anteriormente, por outras campanhas realizadas anteriormente. Supõe-se assim, que abaixo dos 5,80m do furo 38 existirá pelo menos mais uma camada de solo de maior resistência, mantendo-se as conclusões tiradas no parágrafo anterior.

4.6.4. Perfil D-D'



Figura 22- Perfil longitudinal D-D'

O perfil D-D', figura 22, é de fácil interpretação uma vez que apresenta regularidade relativamente ao tipo de solo que o constitui, considerando-se assim apenas 3 zonas geotécnicas.

Apesar da existência nítida de semelhanças ao longo de todo o perfil, a profundidade a que foi dado o término do ensaio não se encontra de todo concordante entre os seus dois únicos furos, atingindo baixa profundidade no primeiro furo, ao contrário do segundo, que apresenta maior porção de terreno com menor consistência.

Analisando com maior pormenor e apesar do perfil apresentar 3 zonas geotécnicas, distingue-se apenas duas, isto porque é observável a pequena e fina camada pertencente ao ZG2 que intersecta o solo considerado como ZG1, podendo considerar-se até como uma intrusão, já que a mesma é bastante linear e de espessura contínua.

Para finalizar, o ZG4 foi denotado de imediato, pois a sua presença no perfil é bastante reduzida, apresentando-se somente no final do mesmo, a partir de uma camada bastante fina.

4.6.5. Perfil E-E'

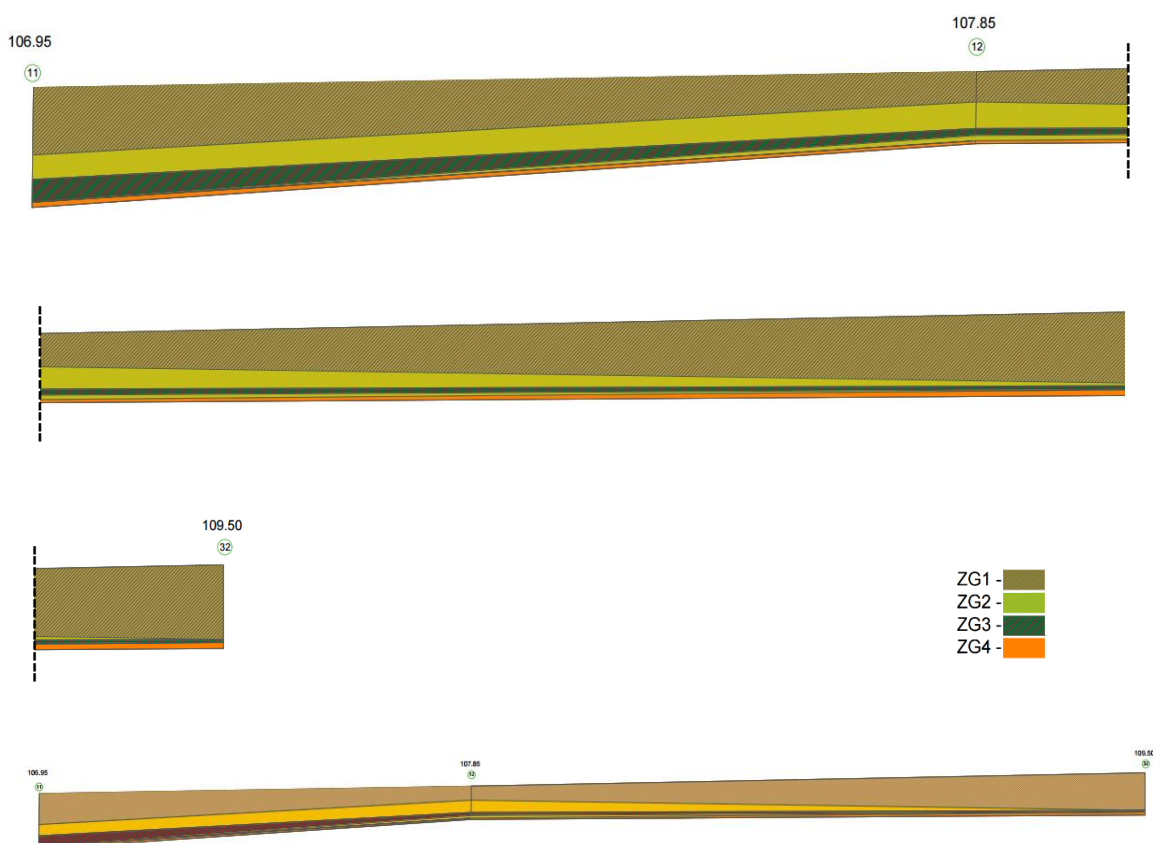


Figura 23 - Perfil longitudinal E-E'

O perfil E-E', verificado na figura 23, aparenta uma série de diferenças relativamente ao que os seus vários furos apresentam.

Inicialmente e entre o furo 11 e 12, é de realçar a boa definição e presença de todas as zonas geotécnicas, isto é, o aumento da profundidade é diretamente proporcional ao aumento do índice de resistência de penetração que o solo oferece. Com isto, e não muito normal comparando com os perfis até então analisados, é o facto do ZG1 apresentar profundidades relativamente altas, ocupando assim uma área equivalente ao ZG2 e ZG3 juntos. Contudo é de realçar a notória diminuição da espessura da camada referente ao ZG1.

Relativamente ao zonamento considerado entre o furo 12 e o 32 é de destacar a complexidade apresentada, pois para além de se notar o cruzamento de vários zonamentos, a presença de ZG1 volta a aumentar e neste caso encontra-se em 90% do perfil. Facto este curioso, uma vez que as profundidades são relativamente elevadas, traduzindo uma anormalidade como já referido anteriormente.

Os restantes 10% apresentam 3 zonamentos diferentes, o ZG2, o ZG3 e o ZG4. Começando pelos dois primeiros, é observável o cruzamento entre ambos, o que leva a concluir e a considerar a existência de uma camada fina de solo com maior resistência (ZG3) entre a camada que se destaca por ter maior possança (ZG2).

Finalmente e relativamente ao ZG4, este encontra-se somente nas imediações finais de todo o perfil e numa camada bastante reduzida a nível de espessura, significando assim uma boa resistência do solo já que se atinge o máximo número de golpes rapidamente.

4.6.6. Perfil F-F'

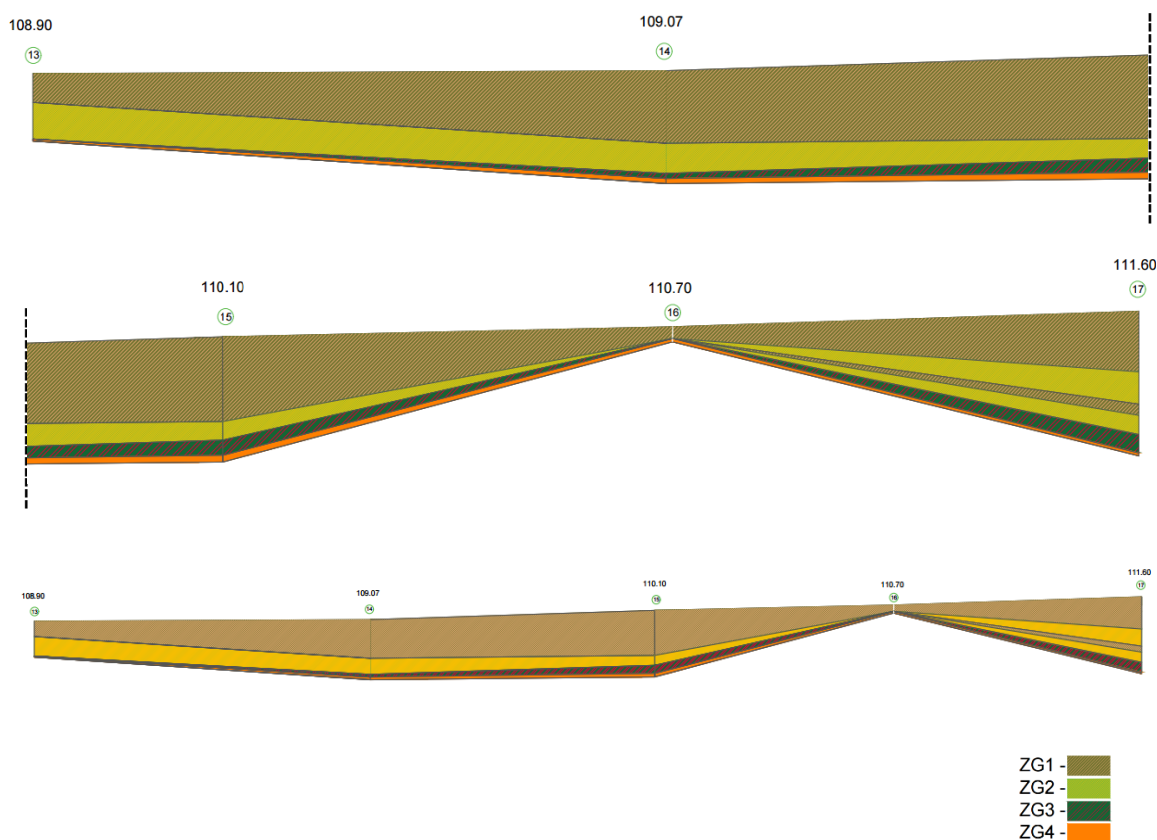


Figura 24 - Perfil longitudinal F-F'

Numa primeira impressão, a figura 24, correspondente ao perfil F-F', apresenta uma deficiência no que toca à sua continuidade, quando comparado com outros já analisados, uma vez que o furo 16 é muito superficial em relação a todos os outros furos, criando uma concavidade notória no final do perfil. É de salientar a razão aparente de tal acontecer, pois os perfis são obtidos através de furos bastantes distintos e apesar de se tentar guardar algum rigor aquando da

realização dos mesmos para que sejam o mais específicos possível, por vezes são interrompidos por edifícios bastante portentosos e outro tipo de estruturas ou obras como referido em tópicos anteriores que, inevitavelmente, comprometem todo o estudo.

Voltando à análise propriamente dita do perfil, numa primeira fase e entre os três primeiros furos, é notória que a divisão das zonas geotécnicas vá sofrendo, apesar de pouca, alguma variação.

O ZG1 mais uma vez é responsável pela ocupação de maior parte do perfil ao nível longitudinal, crescendo em profundidade até ao furo 15. Segue então o ZG2, apresentando assim um solo um pouco mais resistente quando comparado ao que a este se sobrepõe.

Neste caso, a camada relativa ao ZG2 vai diminuindo longitudinalmente, passando a dar lugar a uma fina camada referente ao ZG3, notando assim um acréscimo de resistência não só longitudinal, como também em profundidade, terminando assim com uma camada de solo incluído no ZG4.

O mesmo acontece em relação à parte do perfil que se encontra entre o furo 15 e 16, notando como única diferença o facto de no último referido a profundidade ser bastante menor, sofrendo assim uma adaptação, tendo que se considerar a interseção das camadas visto que o furo 16 apresenta somente terreno referente ao ZG1.

Após a interseção referida, e entre o furo 16 e 17, é de realçar a continuidade das camadas, mais ou menos equivalente à anterior verificada. Diz-se mais ou menos, porque na verdade é observável a presença de uma pequena quantidade de solo pertencente ao ZG1 no meio da camada considerada como ZG2, como que uma intrusão de solo um pouco mais débil, sendo, portanto, esta a única diferença, mantendo-se assim o perfil com as mesmas características das anteriormente assinaladas.

4.6.7. Perfil G-G'

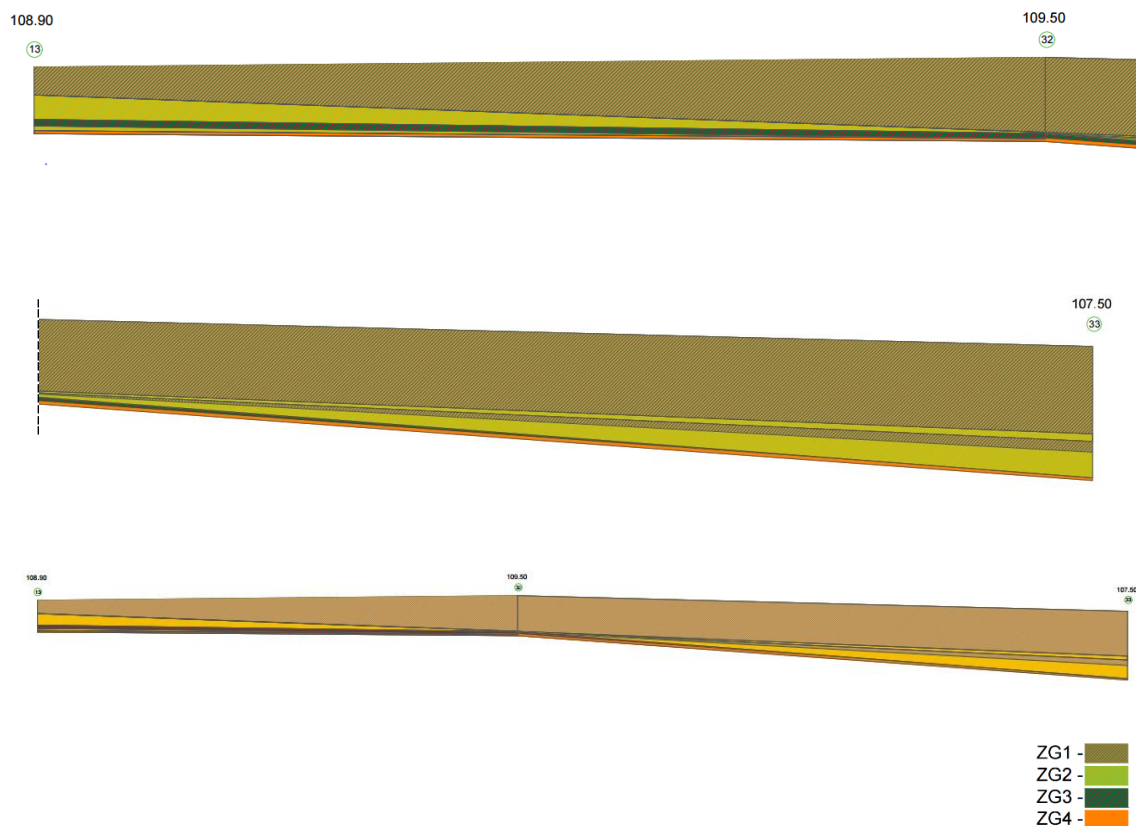


Figura 25 - Perfil longitudinal G-G'

O perfil G-G', apresentado na figura 25, apesar de aparentar, na sua imagem total, uma continuidade que é mantida do início ao fim, não é de todo o que se verifica quando se analisa com maior rigor.

Inicialmente, e entre os primeiros dois furos, é de salientar a grossa camada pertencente ao ZG1 que vai aumentando longitudinalmente e em profundidade, seguindo-se assim a presença de solo pertencente ao ZG2 com uma breve interrupção no seu final, de um solo com características mais consistentes, e por isso pertencente ao ZG3.

Como referido anteriormente, apesar de parecer que o perfil é contínuo no que toca ao zonamento a considerar, nota-se que depois do furo 32 e até ao 33, a camada referente ao ZG3 que intersecta o ZG2 acaba por desaparecer por completo. Posto isto, nota-se somente a presença de dois zonamentos geotécnicos até se encontrar o terreno abarcado pelo ZG4, intercalando a sua presença entre eles, através de camadas com pouca espessura, obtendo assim uma sequência ZG1, ZG2, ZG1 e novamente ZG2.

Toda a linha final do perfil é limitada por uma finíssima camada de solo pertencente ao ZG4, apresentando, portanto, características mais resistentes e de forma rápida, tendo uma interpretação semelhante à referida na análise do perfil anterior.

4.6.8. Perfil H-H'

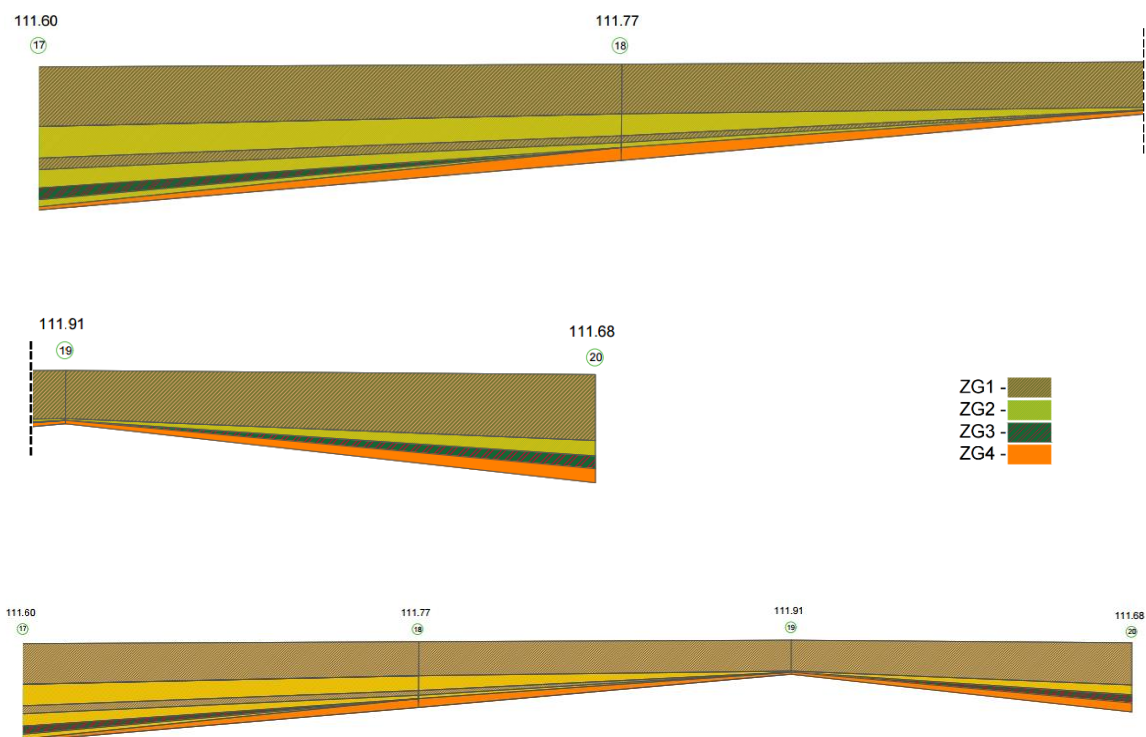


Figura 26 - Perfil longitudinal H-H'

Numa perspetiva mais alargada e verificando a figura 26, o perfil H-H' aparenta ser bastante distinto, já que são várias os zonamentos considerados e também bastantes dispersos.

Realça-se desde início o pormenor de todo o perfil apresentar uma camada de solo referente ao ZG1 muito linear e bastante regular, apresentado praticamente em toda a sua continuidade, a mesma espessura para a camada referida.

No que diz respeito ao zonamento referente a um solo um pouco mais resistente e, portanto, pertencente ao ZG2, é de salientar a sua diferente presença nos três primeiros furos, até porque a profundidade atingida pelos mesmos vai diminuindo e por isso existe uma necessidade de adaptação aos mesmos. Posto isto e entre os dois primeiros furos, é de notar duas intercalações com este zonamento: a primeira referente ao ZG1, e a segunda, a maior profundidade, ao ZG3, voltando novamente a verificar, depois deste, a presença de solo pertencente ao ZG2. Entre o furo

17 e o 18, existe uma continuidade dos zonamentos, anteriormente descritos. No entanto, a profundidade atingida pelo último furo referido, é bastante inferior ao primeiro, e portanto, também neste caso, foi realizada uma adaptação às condições naturais, deixando de existir a intercalação notada anteriormente resultante da presença de um ZG3, passando a apresentar somente 3 zonamentos, o ZG1, ZG2 e ZG4. Na fase final do perfil, avaliando-o longitudinalmente, entre os dois últimos furos do mesmo e após o ZG1, é de referir a presença de solos com índices de resistência mais elevados a maiores profundidades e portanto, neste caso, obtém-se a sequência lógica ZG1, ZG2, ZG3 e finalmente ZG4.

Verificando o perfil na sua fase final relativamente à profundidade, é de salientar o facto de, tal como em todos os outros perfis, existir a camada pertencente ao ZG4, mas neste caso a espessura da camada aumenta paralelamente com o aumento da distância entre os furos 17 e 18.

4.6.9. Perfil I-I'

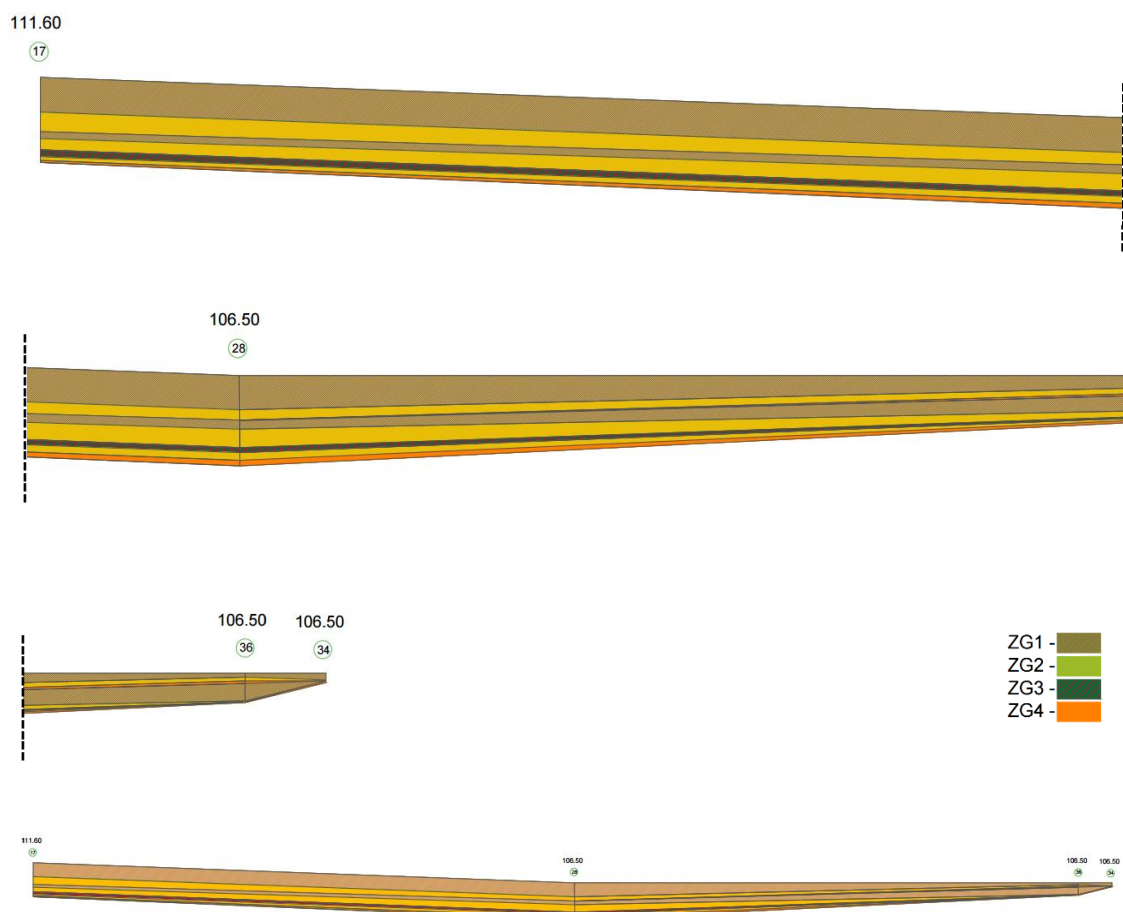


Figura 27 - Perfil longitudinal I-I'

Analisando desde início a figura 27, tratando o perfil I-I', este apresenta bastantes semelhanças durante toda a sua extensão.

Relativamente ao zonamento considerado, este inicia-se com uma espessa e contínua camada de solo referente ao ZG1. No entanto e entre o furo 28 e o furo 36, é de salientar a diminuição desta espessura. Tal facto acontece devido à diferença de profundidades atingidas por ambos, sendo a do furo 36 mais baixa e, portanto, teve que sofrer uma adaptação consoante o número de golpes que este mesmo furo apresentava para as respetivas profundidades, acabando a camada por ter uma espessura relativamente mais baixa até ao final do perfil.

Seguidamente, e acompanhando o ZG1 longitudinalmente, o terreno apresenta características adequadas ao ZG2, apesar de existir 3 intercalações de terreno mais ou menos resistente que este. A primeira intercalação dá-se entre os furos 28, 36 e 34 através do aparecimento repentino, mas pouco significativo de um solo muito resistente, ZG4, acabando por desaparecer novamente no último furo. A segunda intercalação é observada em toda a continuidade do perfil, apesar desta ser mais significativa no início, referindo-se assim à fina camada pertencente ao ZG1 observável nitidamente desde o primeiro furo do perfil até ao meio da distância entre o furo 28 e 36, pois a partir deste mesmo ponto, o ZG1 começa a aumentar de forma significativa, ocupando maior percentagem da área do perfil até ao seu final. A terceira e última intercalação que se verifica é de um solo com mais resistência quando comparado com o anteriormente referido, ou seja, pertencente ao ZG3. Esta mesma camada é constante e contínua ao longo de maior parte do perfil, tendo como única particularidade a diminuição de espessura a partir da meia distância entre o furo 28 e 36, acabando por terminar mesmo entre o furo 36 e o 34.

Relativamente ao furo 34, este é de profundidade bastante mais reduzida quando comparado aos outros, sendo por isso adaptado novamente as estratégias anteriormente referidas. Contudo e apesar de em menor escala, todas as camadas dão por terminadas neste mesmo furo.

Para finalizar e limitando assim o perfil na parte mais profunda, surge de novo, solo com muita resistência, pertencente ao ZG4. A camada começa por apresentar alguma espessura, aumentando um pouco nos primeiros metros, acabando por voltar a diminuir nos metros finais.

4.6.10. Perfil J-J'

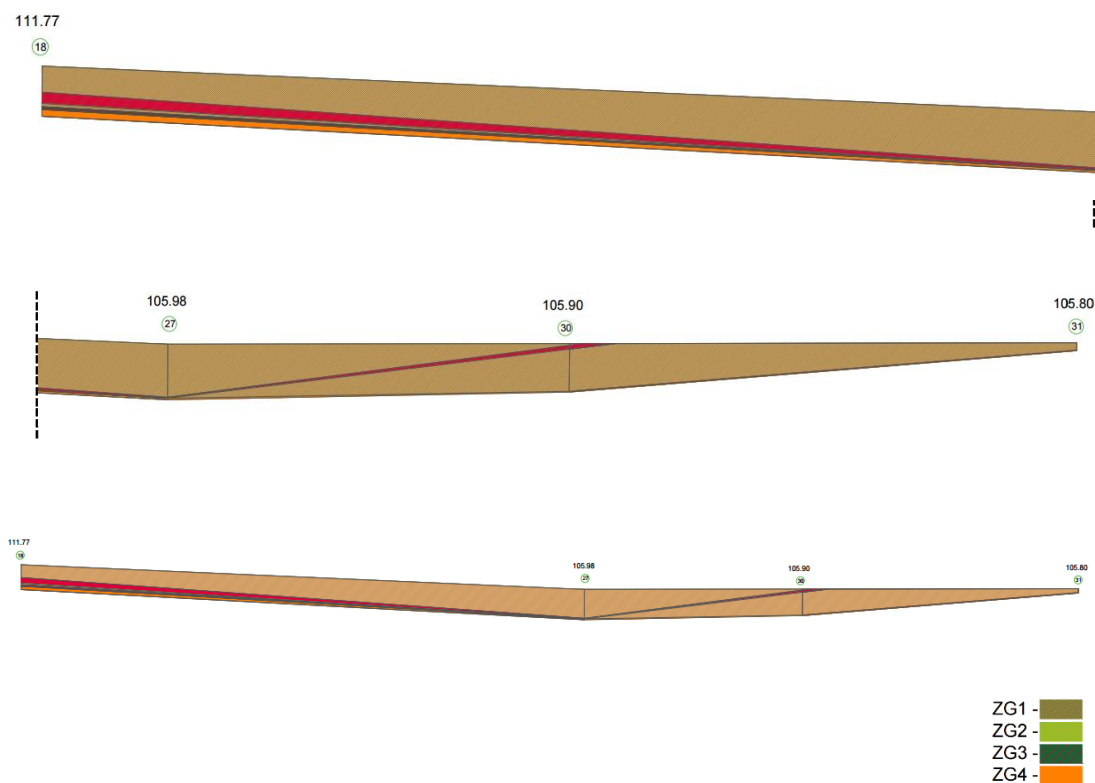


Figura 28 - Perfil longitudinal J-J'

Nota: A camada que apresenta uma cor mais aproximada ao rosa, refere-se ao ZG3. A distorção da cor tem a ver com as escalas adotadas quando se pretende transformar o ficheiro do programa AutoCAD num ficheiro pdf.

O perfil J-J', verificado na figura 28, trata-se de um perfil, no geral, bastante constante, isto porque para além de ser maioritariamente caracterizado pelo ZG1, raramente apresenta diferenças na sua constituição.

Como referido no parágrafo anterior, o perfil apresenta ao longo de si próprio uma espessa e quase única camada de solo debilitado visto ter características que o fazem ser considerado como ZG1. A única intercalação notória é a realizada por uma fina camada de solo um pouco mais duro, ZG2, que foi detetada entre o furo 27 e o 30. Esta mesma intercalação aparece de forma diagonal e por isso considerou-se a sua continuação para além do último furo referido, já que não existe vestígios de qualquer tipo de solo com as mesmas características no furo 24.

Uma outra discrepância encontra-se transcrita nos primeiros metros, já em relativas profundidades, em que é intersectado solo com maior índice de resistência e, portanto, pertencente ao ZG2. Estranho é, o aparecimento seguido, de uma pequena camada ZG1 uma vez

que de imediato surge solo com uma resistência já considerável, ZG3. Tudo isto só acontece entre os primeiros dois furos, não existindo qualquer semelhança com o descrito neste parágrafo, em mais nenhum ponto do perfil.

Posto isto, segue-se então o término em profundidade do perfil com a existência de uma camada, inicialmente grossa, de solo bastante resistente, dando assim lugar ao ZG4. A sua presença foi, longitudinalmente, perdendo créditos, já que no final do perfil é quase impercetível a sua existência.

4.6.11. Perfil K-K'

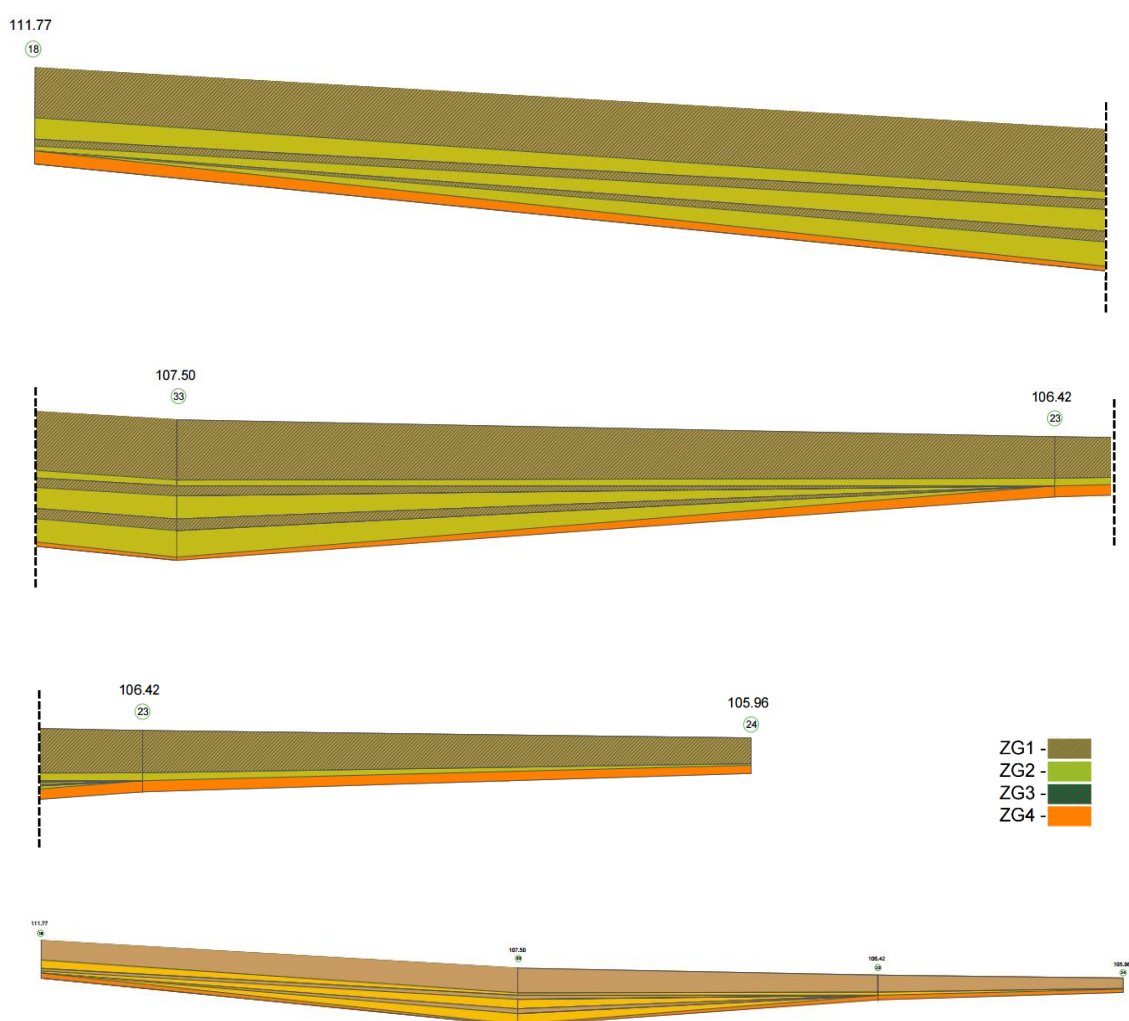


Figura 29 - Perfil longitudinal K-K'

O perfil apresentado na figura 29, apesar de parecer ter uma análise complexa, se a mesma for realizada em pormenor, nota-se que há bastantes semelhanças no mesmo, facilitando de forma

rápida toda a análise. Distingue-se assim duas fases: a primeira considera-se entre o furo 18 e o 23, sendo que a segunda abarca apenas os dois últimos furos, o 23 e o 24.

A primeira fase deste perfil é caracterizada pela presença de apenas 3 zonamentos, iniciando-se com um solo pertencente ao ZG1 o qual atinge, mais ou menos, a meia profundidade do perfil. Após este zonamento, é de realçar a constante intercalação em profundidade e longitudinalmente que se verifica entre solos com maior resistência que o anteriormente referido, obtendo-se assim a sequência ZG1, ZG2, ZG1, ZG2, ZG1, ZG2. Resumidamente, a intercalação acontece 3 vezes para cada diferente zonamento, em que todas elas apresentam uma espessura minimamente reduzida. Dá-se assim a finalização desta parte do perfil, através da limitação por uma camada de solo pertencente ao ZG4.

A segunda e última parte do perfil acaba por ser a continuação longitudinal da anterior, mas neste caso sem a existência de quaisquer intercalações, obtendo simplesmente como sequência ZG1, ZG2, passando diretamente para o ZG4.

4.6.12. Perfil L-L'

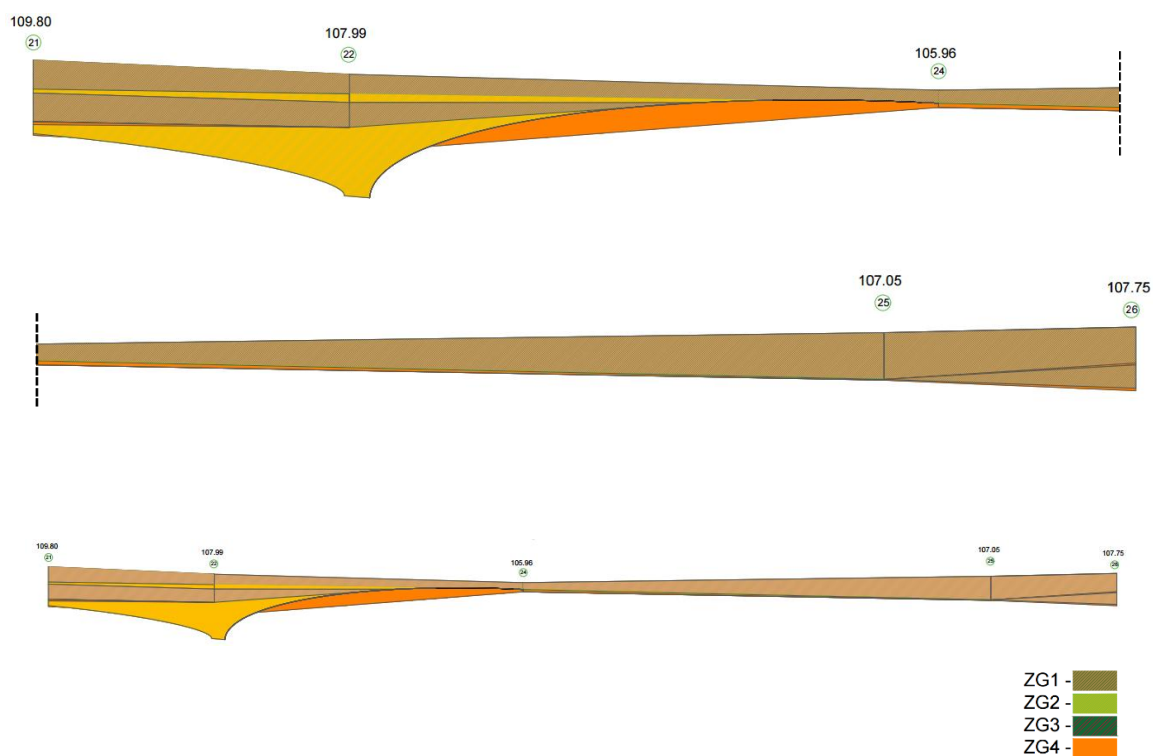


Figura 30 - Perfil longitudinal L-L'

O perfil L-L', figura 30, é talvez o perfil que apresenta maior comprimento, sendo o principal responsável pela caracterização geotécnica da fachada principal do ISEP.

É de realçar uma diferença e novidade no que diz respeito à geometria deste tipo de perfis, que fará parte de alguns dos próximos a serem estudados. A diferença é então observável pela existência de uma abertura em profundidade em determinado furo, neste caso no furo número 22. Tal abertura deve-se ao facto de, como se pode analisar pelas tabelas anteriores, o ensaio não se puder dar por terminado. Isto porque quando atingidos os 10m de profundidade, e, portanto, chegando ao limite da penetração, não se verifica em qualquer momento, um número de golpes igual ou superior a 120. Posto isto torna-se inviável a conclusão sobre o material que se encontra nas profundidades daquela zona, deixando-a assim em aberto e adaptando os zonamentos a considerar de forma o mais correta e real possível.

Torna-se possível, depois desta explicação, dar início ao estudo deste perfil. Iniciando a análise e considerando apenas o perfil desde o furo 21 até aos primeiros metros de seguimento do segundo furo, nota-se uma continuidade regular das camadas, existindo assim uma intercalação conseguida através de uma pequena camada de solo pertencente ao ZG2, que atravessa a espessa camada de solo de menor resistência e, portanto, considerada como ZG1. Nesta mesma zona é onde se encontra o tal desconhecimento do material que estará nas próximas profundidades, conseguindo concluir que tanto antes como depois desta abertura, o solo que estará na sua génese é solo com bastante resistência à penetração e, portanto, pertencente ao ZG4. Relativamente ao material referido, sabe-se apenas que apresenta características que o fazem estar incluído no ZG2.

Seguidamente e entre o segundo e o terceiro furo do perfil, nota-se para além da diminuição da camada pertencente ao ZG1, o desaparecimento da interceção referida anteriormente do ZG2, dando lugar a um solo bastante mais resistente com características melhores, e por isso pertencente ao ZG4. No seu seguimento, para além do terceiro furo e até ao final do perfil, é o ZG1 quem preenche maior parte da área do perfil, sendo este o principal tipo de solo existente nos primeiros metros de profundidade, tendo imediatamente como limite, o solo do ZG4.

Para finalizar, importa referir o insignificante aparecimento de uma camada fina de solo, entre os dois últimos furos do perfil, na diagonal, bastante mais resistente caracterizado como ZG3 e ZG4.

4.6.13. Perfil M-M'

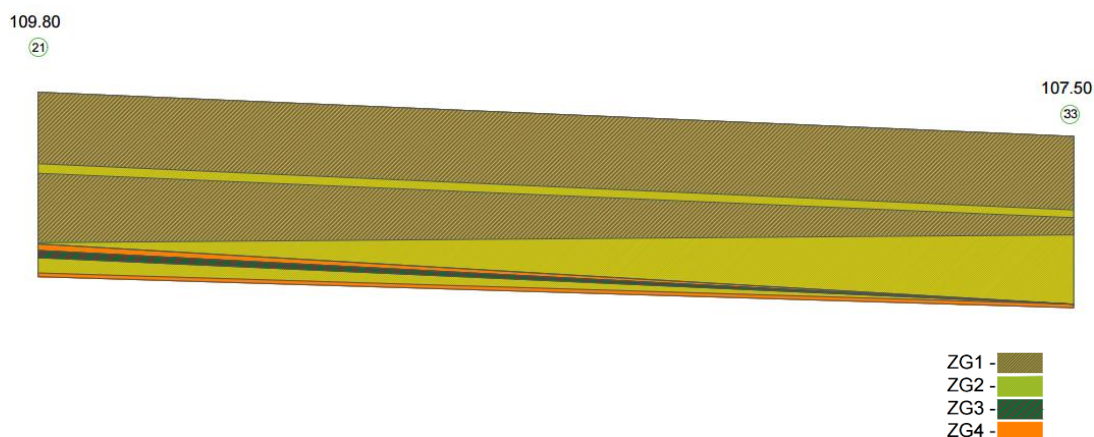


Figura 31 - Perfil longitudinal M-M'

O perfil M-M', apresentado na figura 31, distingue-se por ser um dos perfis mais curtos, englobando apenas dois furos e apresenta pouca distância entre os mesmos.

Na fase inicial encontra-se representada a presença de solo com pouca resistência à penetração, considerando assim pertencente ao ZG1. Ainda referente à camada ZG1, esta encontra-se dividida por uma camada fina de solo um pouco mais resistente, ZG2, adquirindo um pouco de obliquidade, mas mantendo-se muito regular. Posto isto, o último zonamento referido, ZG2, encontra-se representado de forma grosseira na última parte do perfil, avaliando-o longitudinalmente, já que a sua presença é realizada através de uma grossa camada que aumenta diretamente com o aumento da distância entre os furos.

De realçar é a observação de uma nova interrupção do ZG2, mas neste caso por um solo pertencente ao ZG4, e logo de seguida ao ZG3, ou seja, trata-se de um solo com um índice de resistência bastante considerável. Facto com algum sentido, já que tendencialmente esse mesmo índice cresce com a profundidade a que o ensaio vai sendo submetido. Contudo, é de notar que a presença do ZG4 se faz sentir mais cedo do que a do ZG3, o que vai contra o que fora referido anteriormente, podendo assim considerar-se a presença de material mais rígido, mas não do firme propriamente dito.

O encerramento deste perfil é conseguido igualmente de forma constante e através de uma camada relativamente fina de solo com muita resistência, pertencente por isso ao ZG4.

4.6.14. Perfil N-N'

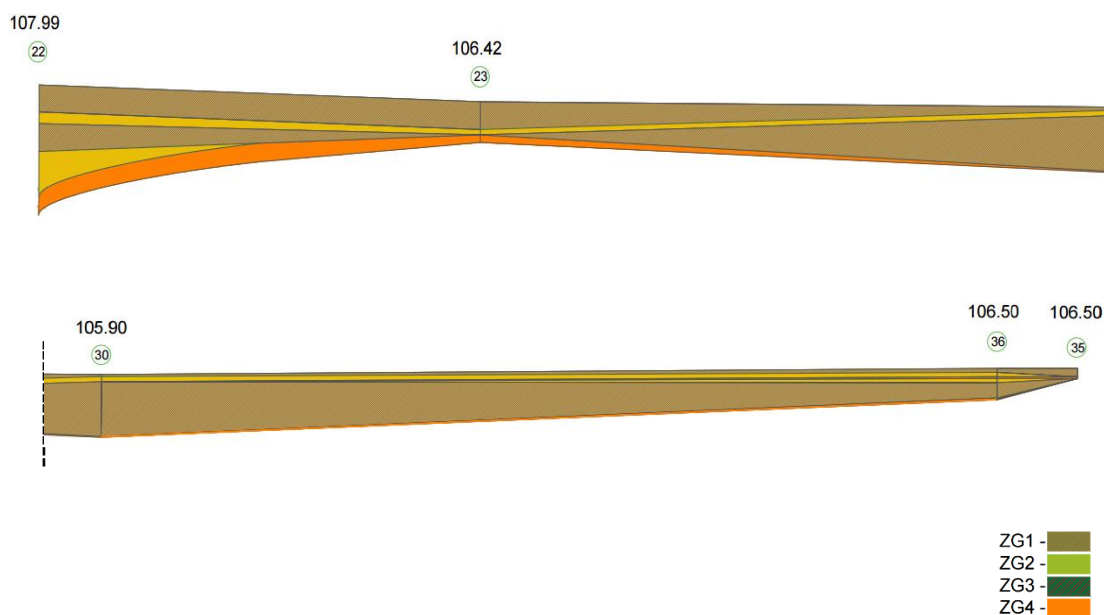


Figura 32 - Perfil longitudinal N-N'

Neste perfil, sugerido na figura 32, verifica-se logo no primeiro furo, a abertura propositada já referida anteriormente, existindo a necessidade de adaptar as camadas.

O início do perfil dá-se da mesma forma que o perfil anteriormente realizado, ou seja, é nítida a grande presença de uma camada de solo pertencente ao ZG1 igualmente intersectada, a vários metros de profundidade, por um solo com características que o faz incluir no ZG2. A situação descrita acontece desde o primeiro furo a considerar até à meia distância entre o terceiro e quarto furo. Contudo, nem sempre o limite mostra ser idêntico, pois numa fase inicial, e devido à situação do desconhecimento de material do ZG2, é inviável mais uma vez a conclusão sobre qual será o solo que está nas próximas profundidades, como referido anteriormente, considerando assim que existe um solo do ZG4 a acompanhar essa mesma abertura. A camada de solo pertencente ao ZG4 segue toda a extensão que faz parte desta primeira fase considerada, realçando apenas o facto da mesma diminuir com o aumento da distância entre os furos e até ao final do perfil, avaliando-o longitudinalmente.

A segunda e última fase do perfil, apenas difere da anterior devido a uma nova intersecção que se faz sentir na camada referente ao ZG2 por um solo com maior índice de resistência à penetração e, portanto, pertencente ao ZG3 e ZG4.

Salienta-se um facto curioso. Facto este que tem a ver com a grande semelhança existente entre o perfil aqui descrito e o perfil L-L', mantendo regular o tipo de zonamentos intervenientes, variando apenas as cotas e distâncias.

4.6.15. Perfil O-O'

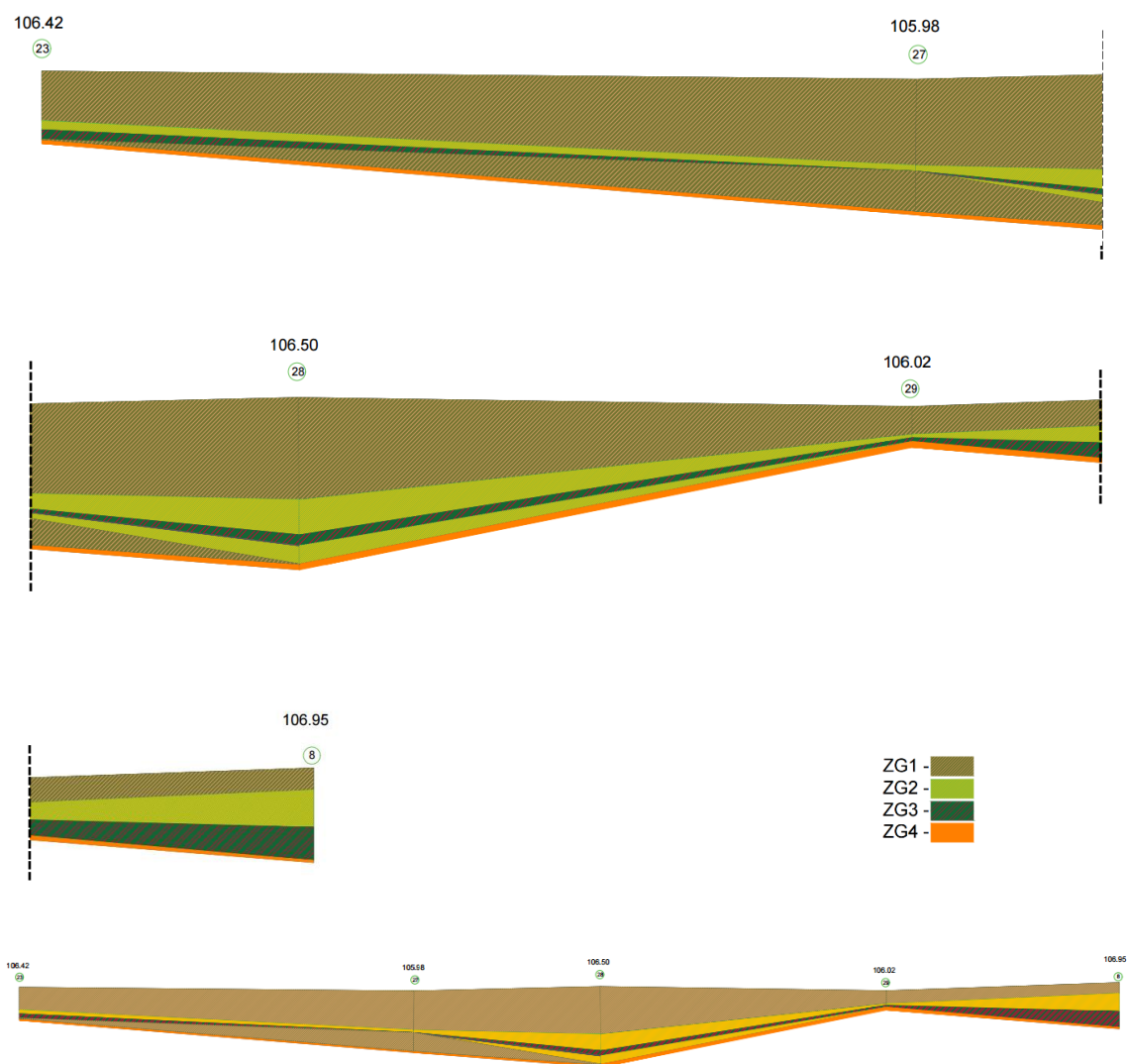


Figura 33 - Perfil longitudinal O-O'

Avaliando o perfil apresentado na figura 33, o mesmo pode ser dividido em duas parcelas distintas. A primeira corresponde à área entre o primeiro e o segundo furo, a segunda corresponde a todo o resto, ou seja, do segundo furo até ao último.

Relativamente à primeira parcela, esta é constituída maioritariamente por uma camada bem grossa de solo bastante degradado, sendo por isso considerado ZG1. Essa mesma camada também se caracteriza por se deixar atravessar por duas pequenas camadas de solo ZG2 e ZG3, ambas com maior resistência do que a anteriormente referida, em que o ZG2 apresenta bastante regularidade no que toca à sua própria geometria e, pelo contrário, o ZG3 decresce com o aumento da distância. Para terminar, a primeira parcela é limitada em profundidade, pela tal camada que se verifica em todos os perfis realizados, a de bastante resistência e pertencente por isso ao ZG4.

A segunda parcela considerada, começa por dar continuidade, obviamente, à primeira referida. Contudo apresenta algumas diferenças, referindo-as de seguida. O primeiro zonamento a ser verificado é igualmente o ZG1, também com uma camada bastante possante, apesar de apresentar uma ligeira diminuição da sua espessura a partir do terceiro furo. Relativamente às pequenas camadas que atravessam o ZG1, neste caso é de realçar o novo aparecimento da camada ZG3 que se encontra delimitada tanto superior como inferiormente por um solo pertencente ao ZG2 e que anteriormente, entre o primeiro e o segundo furo, tinha vindo a desaparecer.

A partir do quarto furo, o ZG1 começa por perder terreno, passando grande parte do perfil a ser dominado pelo ZG2 e ZG3, zonamentos que até então eram caracterizados pela sua baixa presença. Posto isto, segue-se então o ZG4 que apresenta particularidades geotécnicas e geométricas semelhantes em todo o perfil, avaliando-o longitudinalmente.

4.6.16. Perfil P-P'

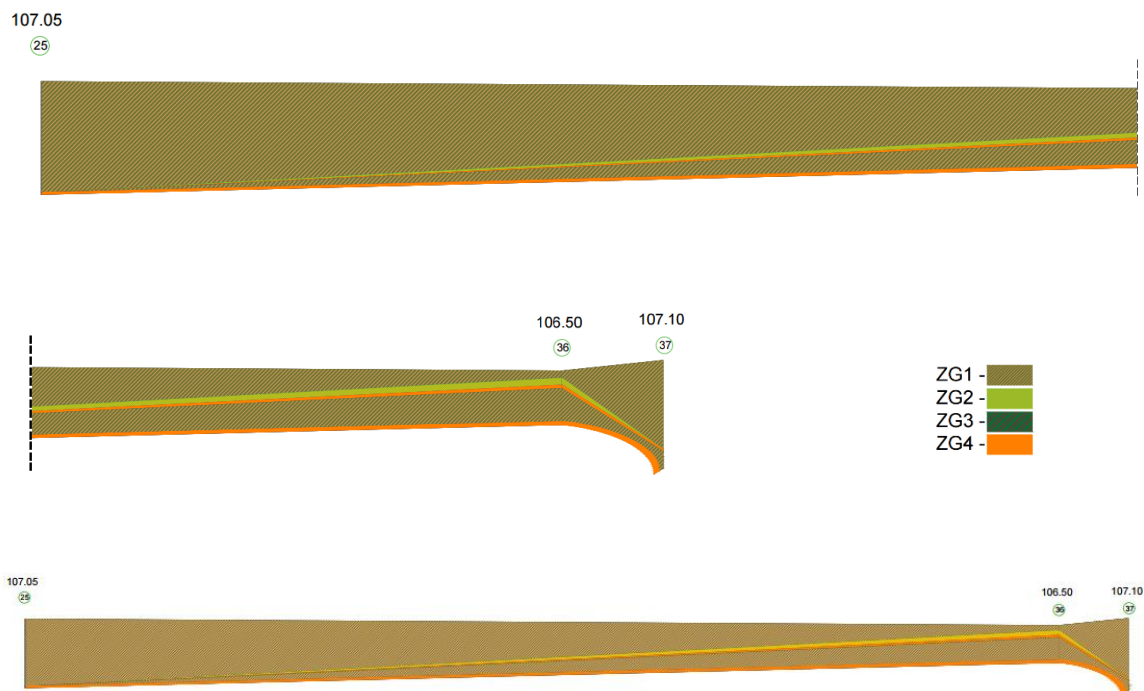


Figura 34 - Perfil longitudinal P-P'

A figura 34, referente ao perfil P-P' é caracterizado por ser, em quase toda a sua área, constituído por solo com baixas características geotécnicas e, portanto, atribuindo-lhe o ZG1.

Importa ainda referir dois aspetos que saltam à vista aquando da sua pormenorizada observação. O primeiro recai numa situação que ocorre desde o início do perfil até ao final do mesmo, sendo este uma insignificante intersecção de solo com condições mais favoráveis ZG2 e seguidamente por uma fina camada observada nos dois primeiros furos, pertencente ao ZG4, ou seja, algo bastante resistente se encontrou naquele meio que não a limitação esperada, aquando atingidos tais valores. Estas mesmas camadas têm continuação para além do segundo furo, observando-as igualmente na última fase do perfil, mas neste caso, com uma drástica descida a nível de profundidade no último furo. O segundo aspeto é referente a este mesmo último furo, realçando o facto de se verificar novamente uma abertura no desenho do perfil. Neste caso não acontece o que acontecia com o furo presente nos outros perfis, mas sim o desconhecimento da causa do término do ensaio aos 6,30m apenas com valores de golpes muito baixos, pois o furo foi realizado noutra campanha de prospeção com objetivo de outros trabalhos, não tendo

conhecimento da causa. Adaptou-se assim todas as camadas de forma a obter resultados o mais verídicos possível.

Para terminar, e logo de seguida ao ZG1, encontra-se terreno com índices de resistência à penetração bastante elevados e por isso pertencentes ao ZG4.

4.6.17. Perfil Q-Q'

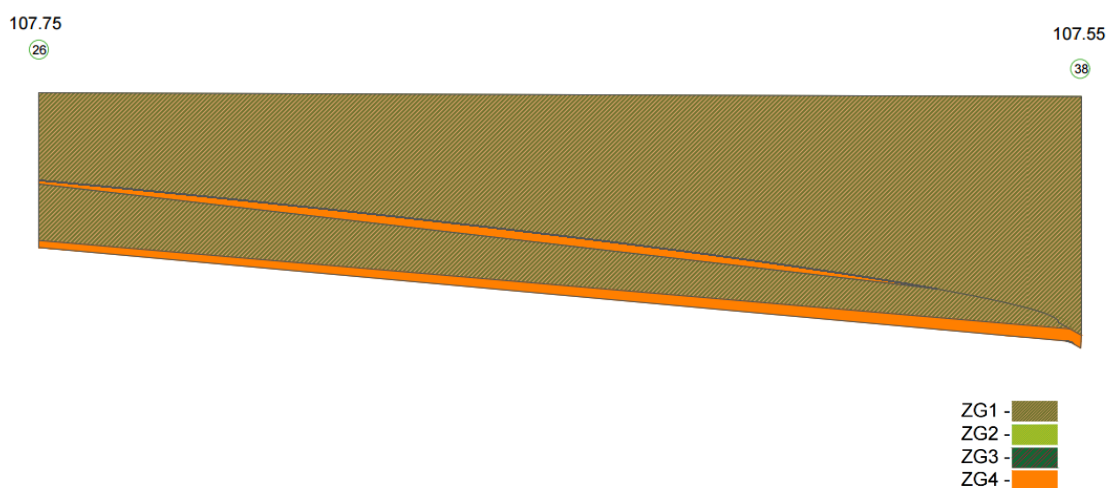


Figura 35 - Perfil longitudinal Q-Q'

O último perfil apresentado na figura 35, é bastante curto e muito regular durante toda a sua extensão. Este perfil também conta com a presença de um furo com abertura, o 38, o que vai de encontro ao que aconteceu no furo do perfil anterior, escusando assim de se repetir a causa desconhecida.

Avaliando o perfil Q-Q' pode dizer-se que a sua caracterização é muito semelhante ao perfil P-P', visto que apresenta os mesmos zonamentos à exceção do ZG2, sendo este substituído na intercalação por apenas solo com características do ZG4.

Posto isto, o perfil é iniciado por solo muito pouco resistente, ZG1, através de uma camada bem grossa, possuindo como já referido anteriormente uma intercalação de solo bastante melhorado quando comparado com o do ZG1 e, portanto, pertencente ao extremo máximo aqui verificado, o ZG4. Este mesmo solo é o responsável por realizar a limitação de todo o perfil, mais uma vez.

Na fase final do perfil avaliando-o longitudinalmente, importa referir a adaptação realizada devido ao facto do último furo apresentar em toda a sua profundidade, somente valores relativos ao ZG1, não sendo viável qualquer conclusão.

4.6.18. Apresentação dos mapas gerados

Aplicando assim o método de interpolação através da krigagem e recorrendo ao *software* Surfer 9.0, foi possível gerar dois tipos de mapas (3D Wireframe e 3D Surface) em 3 dimensões, com o objetivo de uma melhor perceção do encaixe dos 4 zonamentos entre si mesmos, a partir de uma superfície modelada que dita o seu comportamento.

Para este caso, foram então considerados os valores de cotas referente ao primeiro aparecimento de cada zonamento.

Seguidamente são então apresentados os mapas idealizados para o ZG1, ZG2, ZG3 e ZG4 e posteriormente compilados consoante o tipo de mapa gerado.

A análise e discussão dos mapas é realizada numa fase seguinte e no respetivo tópico, de forma a obter um seguimento lógico com a dos perfis.

3D Wireframe

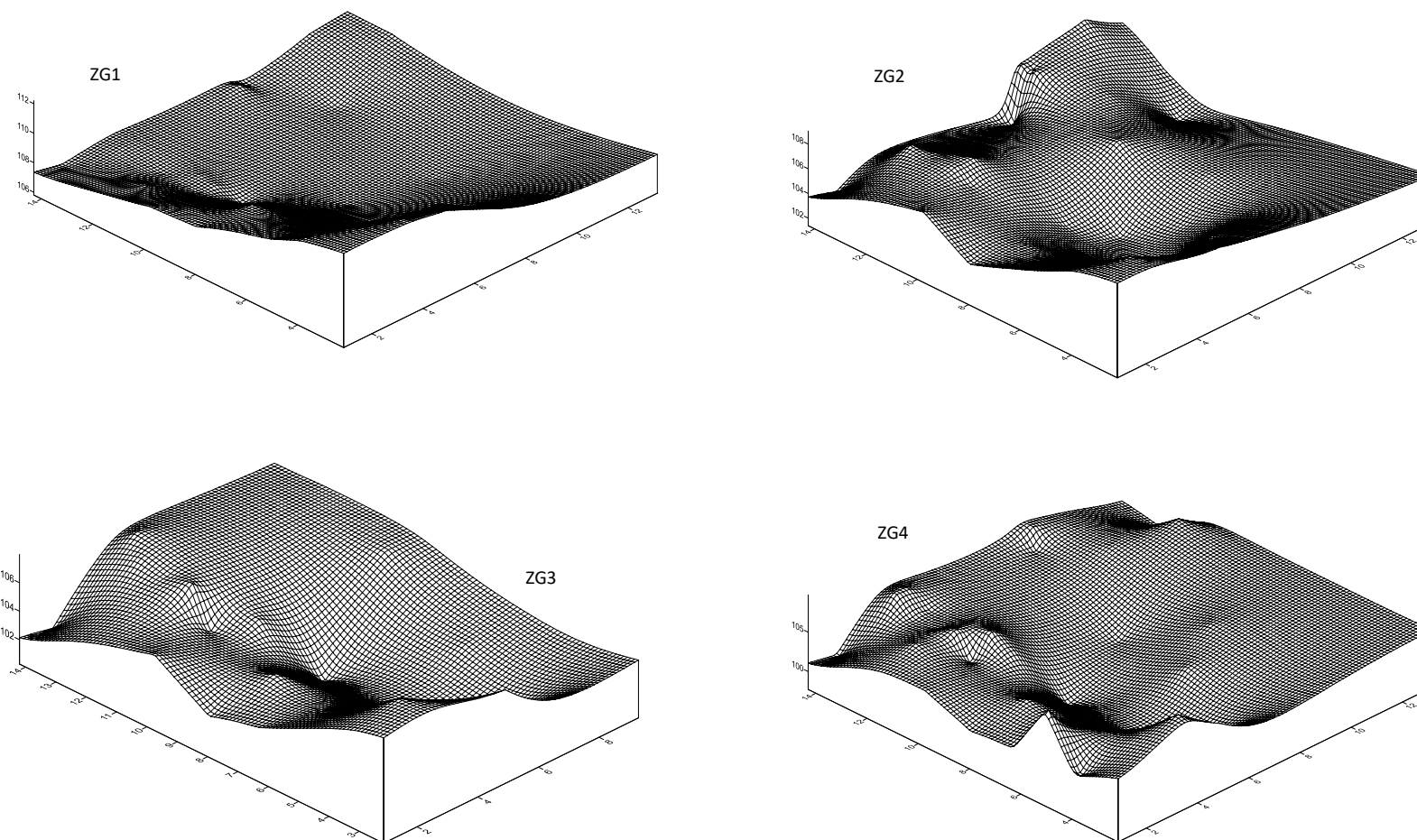


Figura 36 - Compilação dos mapas referentes aos 4 zonamentos em 3D Wireframe

3D Surface

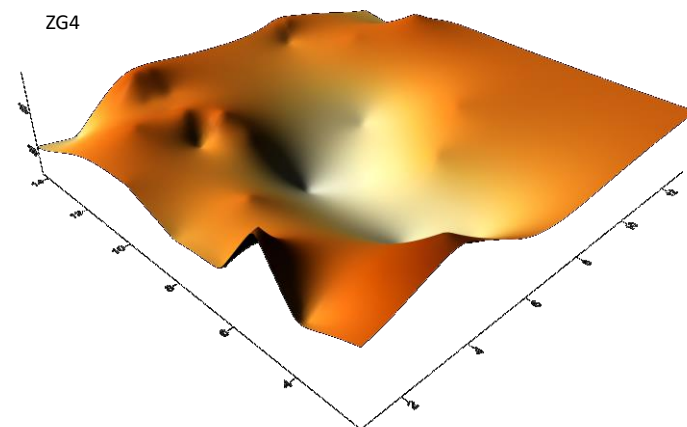
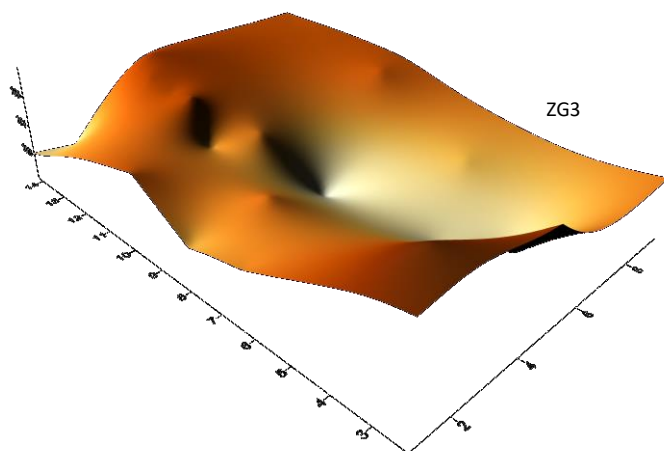
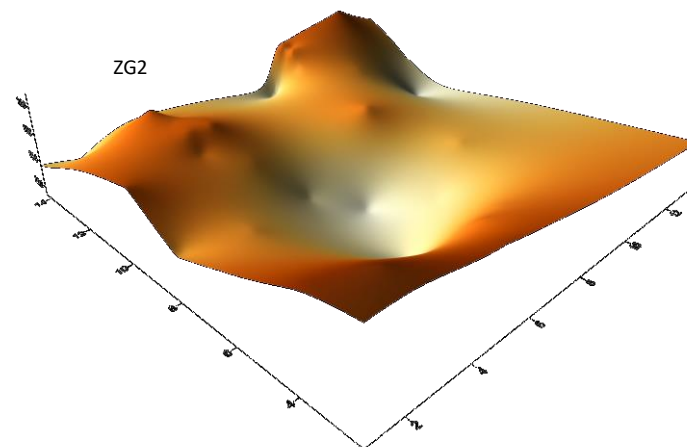
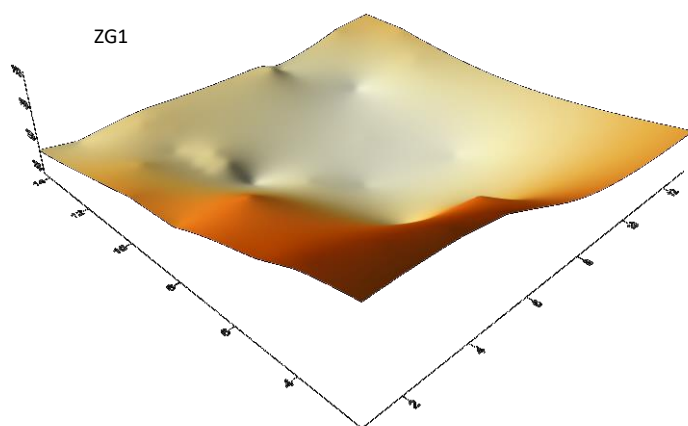


Figura 37 - Compilação dos mapas referentes aos 4 zonamentos em 3D Surface

4.7. Análise/Discussão dos resultados

Após realizada uma análise bastante cuidada e pormenorizada de cada perfil, tanto no momento do desenho dos mesmos como na sua reflexão, são várias as conclusões importantes de referir.

Relativamente aos ensaios que deram origem, numa fase posterior, aos perfis finais, apesar de se ter conhecimento sobre a profundidade geral a que o nível freático (NF) se encontrava em todo o campus do ISEP, neste caso aproximadamente aos 5m, quando realizados alguns dos mesmos era perceptível a presença de água mais superficialmente. Destacam-se dois motivos para esse facto. O primeiro recai no facto de em muitos dos ensaios e já em profundidades relativas, o número de golpes obtido ser inferior a 10, dispensando-se em muitas situações a acção do pilão para que a vara perfurasse o solo. Outro dos motivos recai no facto das varas, mesmo a poucas profundidades, quando retiradas, virem cobertas de lamas bastantes encharcadas. Tais factos acabam por justificar as grossas camadas que, de forma geral, cobrem a maior parte da área de todos os perfis com o ZG1, ou seja, com solo bastante degradado apresentando características geotécnicas muito débeis. Conclui-se, através destes dados, que existe uma notória presença de água e que a mesma não é conduzida como deveriam ser, através de um sistema de drenagem que não está a ser concretizada nas suas perfeitas condições.

Outro aspeto com relevância é a consideração de alguns valores referentes ao número de golpes em duas situações. Uma situação diz respeito ao facto de, por vezes, não existir dispersão de valores pertencentes ao mesmo zonamento, sendo por isso descartados, já que a grande escala, o respetivo zonamento não iria ter qualquer realce. A segunda situação, acaba por ser uma solução viável para o caso anteriormente referido, refere-se à existência de valores no meio de zonamentos bem definidos, que se encontrem no limite inferior ou superior dos ponderados para cada zonamento, transpondo esses mesmos valores para o zonamento seguinte, inferior ou superior, respetivamente.

Referindo novamente os ensaios, e tendo em conta aqueles últimos que causavam abertura nos perfis devido ao facto de não terem sido terminados, é possível que a sua continuação não seja muito mais profunda uma vez que em nenhum momento de perfuração foram atingidas profundidades mais elevadas que as apresentadas. Sendo assim, conclui-se que esses perfis, na realidade, não devem sofrer grandes alterações, mantendo-se semelhantes aos realizados.

Passando dos ensaios para os perfis propriamente ditos, objetos de real estudo, importa essencialmente focar os dois aspetos que acabam por ditar a caracterização geotécnica considerada para todo o campus.

O primeiro aspeto diz respeito às intercalações existentes e observadas em quase todos os perfis. Essas mesmas intercalações apareciam tanto de forma significativa, que é o caso de zonamentos como o ZG2 e ZG3 em que as camadas apresentavam espessuras médias a altas, como de forma insignificante, referente ao ZG4 que apesar de aparecer em menor quantidade, ainda faz parte da geometria de alguns dos perfis. Tal situação é fácil de perceber se se tiver em conta a origem dos terrenos que constituem as profundezas do campus do ISEP, passando a referi-la. Ao fim de alguma pesquisa e também através do conhecimento de pessoas mais antigas, foi possível saber-se que os terrenos localizados na zona do ISEP são oriundos da escavação executada aquando da realização de duas grandes obras perto deste mesmo local: a construção do Hospital de São João e do bairro de São Tomé, a Sul. O facto de não se ter qualquer tipo de cuidado no que diz respeito ao devido cumprimento de todas as fases, para um correto dimensionamento de um aterro, foi o responsável pela mistura e má compactação do terreno, provocando essas mesmas intercalações de terrenos com diferentes características geotécnicas.

O segundo aspeto refere-se aos perfis e à possibilidade de se conseguir realizar uma caracterização geral do campus do ISEP a partir de uma caracterização pormenorizada. Analisando todos os perfis no seu conjunto, torna-se, de certa forma, difícil a sua extrapolação para uma concreta caracterização geotécnica, de forma a conseguir obter-se uma eventual e correta leitura bidimensional do terreno em estudo. No entanto, é possível verificar nos perfis que se encontram mais alinhados entre si, mas com diferentes orientações, semelhantes comportamentos no que diz respeito à espessura e presença dos diferentes zonamentos, obtendo-se assim uma perceção muito geral de como será a caracterização deste instituto, em grande parte da sua extensão.

Seguidamente e através da figura 38, é possível observar o que foi descrito no parágrafo anterior, sendo importante referir que se trata apenas de um esboço e de uma conclusão muito geral, já que nem todos os perfis apresentam uma semelhança específica a fim de se concluir tais afirmações.

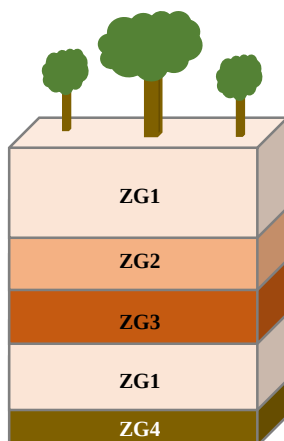


Figura 38 – Esboço geral da caracterização do campus do ISEP, no que se refere à espessura relativa de cada camada

Os dados a considerar para a realização deste esboço final, tiveram em conta os aspetos seguintes:

- Cotas iguais, uma vez que as apresentadas na planta fornecida em AutoCAD não diferem muito umas das outras. Apesar de no ISEP existirem edifícios e construções em zonas mais altas, este mesmo perfil é considerado de forma linear, sabendo que claramente não existe um alinhamento tão perfeito de todas as camadas;
- A profundidade considerada foi de 7m, já que foi a média observada quando analisadas todas as profundidades obtidas em cada perfil;
- Os zonamentos considerados, como referido anteriormente, tiveram em conta, todas as semelhanças que foram sendo observadas em todos os perfis realizados.

Relativamente aos mapas gerados apresentados nas figuras 36 e 37 e após uma análise em pormenor, verifica-se algumas semelhanças como era de esperar, mas por outro lado são encontradas discordâncias entre os mesmos.

O mapa referente ao ZG1 teve em conta as cotas de cada furo realizado no terreno, mostrando apenas o comportamento relativo à topografia do local do estudo.

O segundo mapa, caracterizado por apresentar as cotas a que foram encontrados os primeiros solos pertencentes ao ZG2, dita factos curiosos, nomeadamente o facto de na parte direita do mesmo não existir quase nenhuma alteração das cotas, o que explica a inexistência, naquela zona, de solos pertencentes ao ZG2 como já verificado anteriormente. No centro e na ala esquerda do mapa verifica-se, apesar de em menor quantidade, também pontos de terreno em que o ZG2 não tem qualquer influência. No entanto, existem concavidades em bastantes zonas traduzindo e confirmando o facto da grande dispersão de terreno considerado como ZG1.

Relativamente ao terceiro mapa (ZG3), e comparando com o anterior, denota-se uma pequena descida de todas as cotas no geral, apesar da existência de uma zona com cotas de terrenos ZG3 mais altas e, portanto, com maior resistência à penetração. Contudo, e neste mapa, encontram-se algumas contrariedades uma vez que se destacam zonas com uma altitude superior às mesmas zonas representadas no mapa anterior, não sendo isto possível na realidade.

Para finalizar, e analisando o mapa do ZG4, todas as cotas acabam por perder altitude, já que as profundidades atingidas, no geral e para este mesmo zonamento, são maiores. Importa salientar que através deste mapa e quando comparado com o primeiro, consegue-se obter uma visualização bastante perceptível de como se comporta o terreno até se conseguir alcançar os terrenos com maior capacidade de resistência.

Conclui-se assim que todos os dados analisados a partir dos dois métodos, dos perfis e da modelação, são concordantes uma vez que as mesmas conclusões foram tiradas a partir de ambos.

5 – Conclusão

5. Conclusão

De entre dos ensaios *in situ* os penetrómetros apresentam-se como sendo um meio expedito para a determinação de um importante parâmetro físico-mecânico.

A pesquisa e estudo descritos ao longo de toda a dissertação, abordou a aplicabilidade de técnicas avançadas de um dos ensaios de campo já muito utilizado a nível mundial, PDM, visando ampliar o seu uso para as condições particulares do solo existente no campus do ISEP, de forma a contribuir futuramente para a obtenção da caracterização em pormenor desse mesmo campus.

Discutiu-se a caracterização real do campus através de perfis, com o intuito de se obter um zonamento geotécnico. Para tal, foi apenas realizada uma campanha de ensaios de campo, considerando-se mais duas executadas anteriormente, também para trabalhos relativos ao instituto, e aproveita-se ainda um furo que teve origem numa aula de Prospeção Geofísica e Sondagens, no 2º ano da Licenciatura, conseguindo-se assim dados relativos a 38 ensaios. Com base nesses ensaios, foram também realizados 17 perfis tendo em conta o alinhamento dos ensaios e por fim um esboço final e possível caracterização geral do ISEP. Várias possibilidades foram consideradas e avaliadas até que se conseguisse chegar a uma caracterização final.

Em suma e realçando o principal objetivo desta dissertação, importa refletir sobre a viabilidade do ensaio PDM no tipo de projeto referido.

Resumidamente, vários autores referem as vantagens da utilização deste método, apontando como as mais relevantes: baixo custo, a rapidez de execução dos ensaios e de obtenção dos resultados, os reduzidos danos e a pouca perturbação causada às estruturas analisadas. É ainda bastante versátil o seu manuseio em condições de difíceis acessos, podendo ser adaptável ao tipo de terreno a sondar. Para além disto, o ensaio é caracterizado por possuir um bom rendimento diário. A pesquisa desenvolvida permitiu também concluir que o PDM tem sido amplamente utilizado na caracterização de terrenos de fundação e de camadas de apoio de infraestruturas de transporte, sendo prática corrente realizar ensaios com o PDM para caracterização de terrenos, em particular das camadas superficiais, no âmbito da reabilitação ou renovação de plataformas ferroviárias.

Tendo em conta todas as características referidas, bem como a análise anteriormente efetuada, conclui-se que este método possui capacidade e uma obtenção de resultados que facilmente respondem às necessidades da caracterização dos solos para projetos de fundações. As afirmações citadas são comprovadas a partir da leitura que foi capaz de se fazer ao longo da realização de todos os perfis, tanto individualmente como em conjunto, acabando por se completarem de forma bastante satisfatória. Apesar de não ser possível a recolha de amostras, e por isso não usufruir de conhecimentos absolutos sobre o material que se encontra na zona de estudo, o número de golpes que são necessários para que o mesmo se deixe atravessar pela vara, dita facilmente, admitindo todas as considerações que devem ser admitidas para este método, o índice de resistência à penetração do solo.

Têm sido desenvolvidas inúmeras correlações entre os resultados obtidos pelo PDM e diversas grandezas obtidas por outros métodos. São frequentes as propostas que relacionam o índice de resistência à penetração do PDM com a compacidade/peso volúmico seco dos solos, com o índice CBR e com o módulo de deformabilidade. Através destas mesmas correlações já existentes e de fórmulas bastante credíveis, é possível transformar esse mesmo índice de penetração numa classificação de solos, para além de uma caracterização geotécnica, obtendo-se assim um completo conhecimento sobre o que se encontra naquela zona, tomando as providências necessárias sobre a viabilidade da obra/projeto a ter em conta.

No entanto não se pode afirmar que este é o método mais apropriado para a obtenção da caracterização geotécnica, uma vez que ainda não foi realizado nenhum outro método como base de experimentação, podendo este ser mais eficaz que o abordado. Importa referir também que o PDM possui algumas particularidades negativas, pois este mesmo ensaio, e por apresentar uma facilidade relativa no seu transporte e manuseamento, pode facilmente ser manipulado involuntariamente, conseguindo alterar os resultados obtidos a grande escala e distorcer por completo a caracterização. Posto isto, torna-se altamente necessário que todos os requisitos e todas as providências sejam acauteladas e tomadas em consideração no momento de execução do ensaio e avaliação dos seus resultados, de forma a diminuir, o máximo que se consiga, a possibilidade de erro.

Relativamente ao contributo da geoestatística nesta dissertação, importa referir que realmente a perceção do comportamento do terreno a partir das superfícies geradas é bastante mais clara, já que a evolução dos zonamentos foi observável de mapa para mapa. Traduzindo assim melhores resultados em relação aos perfis, já que para além de existir uma análise em pormenor de todos os dados analisados, também a verificação dos mesmos acaba por ser facilitada através dos mapas.

Para finalizar este leque de conclusões que foram conseguidas, importa salientar o facto de o estudo realizado não apresentar resultados suficientes para que a caracterização geotécnica se pudesse realizar, de forma completa. Esta é, no entanto, uma constatação já esperada.

Tal afirmação deve-se ao facto de não só ter sido utilizado apenas um método e, como referido anteriormente, existe a necessidade de um estudo intensivo dos terrenos, por recurso a ensaios complementares, nomeadamente perfis geofísicos e ensaios laboratoriais.

O estudo realmente poderia ser completado e, provavelmente atingir metas mais longínquas se realmente fossem adotados, estudados e aplicados outro tipo de métodos de colheita de informação, completando assim tudo o que foi estudado até aqui.

No entanto não foi possível a aplicação desses métodos, por enquanto, considerando assim o limitado prazo para a execução de trabalhos e estudos que requerem mais persistência, mais demora, e obviamente mais trabalho em campo.

É, no entanto, de salientar, o enorme contributo que o PDM é capaz de fornecer para este tipo de projetos, mas sempre aliciado a outro tipo de métodos, sendo, portanto, referidos todos os desenvolvimentos possíveis a considerar, seguidamente, nas previsões futuras.

6 – Desenvolvimentos futuros

6. Desenvolvimentos futuros

Com base nos estudos apresentados anteriormente e tendo em conta todo o trabalho realizado para a concretização da dissertação, torna-se possível, considerar-se este como a continuidade para amplas pesquisas futuras que possam aprofundar esta metodologia de ferramenta prática e funcional (PDM) no âmbito da realização de projetos geotécnicos.

Importa referir nomeadamente, um projeto que tem vindo a ser considerado e cada vez mais abordado, a caracterização geotécnica em pormenor do campus do ISEP, contribuindo assim este estudo para que futuramente tal seja possível.

O PDM, como referido anteriormente, trata-se de um método bastante eficaz e os seus resultados colaboraram bastante com o projeto referido anteriormente, já que foi possível a avaliação de todo o terreno através dos ensaios realizados, levando avante o mesmo.

Importa que futuramente a continuidade do referido projeto seja mantida, efetuando estudos através de outro tipo de métodos que, de uma forma ou de outra, consigam complementar os resultados obtidos pelo PDM, ou seja, através da complementação ou associação aos outros importantes equipamentos de investigação dos terrenos já conhecidos e avaliados.

Sugere-se assim:

- Um estudo mais aprofundado sobre quais ou métodos mais eficazes para o tipo de caracterização geotécnica pretendida, tendo em conta o solo presente, onde se deve incluir a realização de perfis sísmicos;
- Um estudo que tenha como objetivo relacionar os vários métodos a utilizar para a mesma caracterização, a fim de se complementarem todos entre si e obter-se resultados mais credíveis e reais, principalmente entre o índice de penetração do PDM e grandezas como o módulo de deformabilidade, índice CBR e compacidade relativa;
- Um desenvolvimento de estudos com o intuito de tentar relacionar os dados obtidos pelo PDM com outro tipo de grandezas determinadas em laboratório que não as referidas anteriormente.

Desta forma, e como se verifica em outras áreas associadas à geotecnia, é referido neste contexto, um campo promissor de pesquisas em que os devidos resultados traduzem uma enorme valia para que seja possível a melhoria da qualidade dos projetos a realizar e, a par disto, uma minimização de custos, já que hoje em dia, este, se torna o parâmetro fulcral para que um projeto se possa concretizar.

7 – Bibliografia

7. Bibliografia

Bezerra Mota N.M., 2003. Ensaio avançados de campo na argila porosa não saturada de Brasília: interpretação e aplicação em projetos de fundação. Brasília. 364 p.

Bosch D.R., 1996. Interpretação do ensaio pressiométrico em solos coesivos friccionais através de métodos analíticos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 150 p.

Cardoso Alves A. B., 2002. Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrómetro dinâmico de cone. Florianópolis, Brasil. 185p.

Carreira Pereira T., 2010. Uma contribuição para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de materiais granulares compactos, com recurso a penetrómetro dinâmico ligeiro. FEUP, Porto. 105p.

Carvalho M. Apontamentos de Geologia de Engenharia I. Porto, ISEP, 323p.

Carvalho Ribeiro J. M., 2011. Avaliação e correlação de parâmetros físicos e mecânicos de um solo residual granítico. ISEP, Porto. 221p.

Diemer Francielle et al., 2008. Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.12, p.25-36.

Duarte I.M.R. et al., 2014. Avaliação de algumas propriedades geotécnicas de solos residuais granitoides da região central de Angola. LNEG, Porto. 1117-1121p.

Duarte I.M.R; Ladeira, F.L.; Gomes, C.F. Características geológico-geotécnicas do solo residual do granito de Marvão (Portalegre). VII Congresso Nacional de Geotecnia. 151-160 p. Consultado em Maio de 2016 em: <http://home.uevora.pt/~lopes/Artigos/11.pdf>.

Duarte I. M. R.; Pinho António B.; Ladeira Fernando L.. Penetrometer testing in residual soils from granitic rocks in the South of Portugal. 6p.

Ferreira Couto P. M., 2014. Estudo de soluções de contenção periférica em função das condicionantes de execução. ISEL, Lisboa. 91p.

Folque, J.. Características mecânicas de solos deduzidas de ensaios de penetração. Geotecnia – Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia. 73-83p.

Grassi Nogueira E., 2010. Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para a construção de aterros no trecho sul do Rodoanel – SP. São Paulo, Brasil. 186p. (Dissertação de mestrado).

Jones C., 2004. Dynamic Cone Penetrometer tests and analysis. Technical Information Note.

Maranhão, N.. Análise e interpretação de sondagens mecânicas para a engenharia civil. Geotecnia – Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia.

Martins, J.B., Miranda, T.S.F., 2003. Ensaios de Penetração nos Solos Graníticos da Região Norte de Portugal: algumas Correlações. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Guimarães. 5-18p.

Nogueira A., Pinheiro M., 2008. Relatório Geotécnico: Quartel dos Bombeiros Voluntários de Cabanas de Viriato. 9p.

P. F. Sanchez, et al., 2010. Estudo da viabilidade do uso do penetrómetro dinâmico leve (DPL) para projetos de fundações de linhas de transmissão em solos do Estado do Paraná.

Quintela Nunes Veiga A., 2011. Caracterização geotécnica dos terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria. FCTUC, Coimbra. 362p.

Romão J., Carvalho P., 2014. Relatório Geológico-Geotécnico: Centro Escolar de Porto de Mós. 23p.

Rocha Barbosa de Bessa C. S., 2009. Caracterização mecânica dos maciços através de ensaios “in situ”. Universidade da Beira Interior, Covilhã. 101p.

Romero D., 2012. Usos y aplicaciones del penetrómetro de cono CN-973. Instituto Tecnológico de Sonora, Espanha. 67p.

Sales Alves Filho C. E., 2010. Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização de penetrómetro dinâmico leve. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil. 127p.

Santos Menezes, R.. Principais factores de influencia nos valores dos índices de resistência à penetração – SPT. Bahia, Brasil. 183-188p.

Schnaid Fernando, 2000. Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. 2ª Edição. Oficina de textos, São Paulo. 189 p.

Skempton A. W., 1986. Standard penetration testing procedures and effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. Géotechnique, vol. 36,3, London. 425-443 p.

Tupia Cordova C. A.; Alva Hurtado J., 2001. Evaluacion de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetracion dinâmica. XI Congreso ibero-latinoamericano del as. Espanha.

Viana da Fonseca A., 1996. Geomecânica dos solos residuais do granito do Porto: critérios para dimensionamento de fundações diretas. FEUP, Porto. 850p.

Viana da Fonseca A.; Costa Esteves E.; Ferreira, C.. Classificações de solos residuais do granito do porto com base em ensaios spt, cpt(u), dmt e ch: novas tendências. FEUP, Porto. 10p.

Vinagre R.M., 2013. Análise comparativa de métodos de prospeção direta e indireta na determinação do topo rochoso para fundações. ISEP, Porto. 144p.

8 – Anexos

(ver CD-ROM)

Anexo I – Boletins dos ensaios de campo

Anexo II – Gráficos de resistência à penetração do solo

Anexo III – Imagens AutoCAD dos perfis geotécnicos interpretativos

Anexo III-I – Perfis A-A'; B-B'; E-E'; F-F'

Anexo III-II – Perfis C-C'; I-I'; J-J'; L-L'; N-N'

Anexo III-III – Perfis D-D'; G-G'; H-H'; K-K'

Anexo III-IV – Perfis M-M'; O-O'; P-P'; Q-Q'
