FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

# MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A DADOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DO TERRITÓRIO DE MACAU

Dissertação efectuada no âmbito do Programa Praxis XXI

para obtenção do grau de mestre em

Tecnologia e Gestão de Recursos Minerais

## VOLUME I

0437
622(043)MAR f/MET
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA
Nº 7695
CDU
Data / /

Filomena de Jesus Martins

(Licenciada em Engª Geológica pela Universidade de Aveiro)

1996

**Assim como falham as palavras quando**
**querem exprimir qualquer pensamento,**
**Assim falham os pensamentos quando**
**querem exprimir qualquer realidade.**

**ALBERTO CAEIRO**

# RESUMO

Pretende-se, com o desenvolvimento desta investigação, testar a aplicabilidade de um conjunto de técnicas estatísticas ao tratamento de dados resultantes da realização de uma campanha de prospecção geotécnica numa área do território de Macau. Este estudo desenvolve-se essencialmente em torno dos parâmetros geotécnicos obtidos nos ensaios *in situ* de:

- penetração dinâmica, SPT (*Standart Penetration Test*);
- penetração estática, CPT; e,
- corte *Vane Test*.

e nos ensaios laboratoriais realizados em amostras de solo (análise granulométrica; teor em água, peso volúmico aparente total; limites de Atterberg; ensaios de consolidação e ensaios triaxiais).

Não se afigurando viável tentar a aplicação estatística directa às propriedades dos solos da região em estudo, uma vez que as classificações geotécnicas e as propriedades físicas e mecânicas carecem de sentido se não forem inseridas num contexto geológico de base, houve a preocupação em combinar os métodos de Análise de Dados com o enquadramento geológico e geotécnico, apresentado nos capítulos 2, 3, 4 e 5, e com as considerações intrínsecas às normas que especificam os ensaios protagonizadores das variáveis geotécnicas. Partindo da valorização e da confluência dos conhecimentos exteriores aos dados, os métodos de Análise de Dados, nomeadamente a Análise Grupal e a Análise em Componentes Principais, permitiram obter uma metodologia que se pode traduzir numa optimização de resultados e de processos em campanhas de reconhecimento e de prospecção geotécnica.

# ABSTRACT

The purpose of the present work was to test the performance of a complete set of statistical analysis techniques applied over the geotechnical data arising from a site investigation survey. The chosen set of data came from a site investigation survey performed over an offshore area of around 2 sq Km located in Macau (South East China). The statistical analysis was mainly done over the geotechnical parameters coming from the following *in situ* sampling techniques:

standard penetration test (SPT)

cone penetration test (CPT)

vane test

as also from all usual laboratory tests done over soil samples (grain size analysis, water contents, specific gravity determinations, Atterberg limits, oedometric and triaxial tests)

A direct statistic analysis performed over the properties of the soils was hampered by the fact that the geotechnical classifications and the mechanical and physical properties of the soils have no meaning if they are not taken over a geological basis. Hence the techniques of Data Analysis and those of the analysis of geological and geotechnical environment were used together. Data Analysis methods, namely Cluster Analysis and Factor Analysis were used, leading to a methodology that shows to be able to optimize site investigation surveys both in results and in processes.

# AGRADECIMENTOS

Perante a dificuldade em traduzir o reconhecimento e a admiração daqueles que chamaram a si a responsabilidade de partilhar comigo este trabalho, expresso estas breves notas, que lhes dedicarei, mais não conseguindo que referenciar os seus nomes.

Ao meu orientador científico, Professor Rocha e Silva, que pelas suas sugestões e disponibilidade incondicional deram corpo a este trabalho.

Ao Professor Carlos Madureira, que da sua particular sensibilidade, rigor científico e perspicácia pude beneficiar.

Ao Professor António Cardoso, cujos esclarecimentos no domínio geotécnico e cedência de elementos escritos se revelaram de inestimável valor.

Ao Engenheiro Góis pela sua permanente disponibilidade para esclarecimentos no domínio da Estatística e do *software* utilizado, bem como das referências bibliográficas que amavelmente cedeu.

Aos colegas do curso de mestrado, em particular à Sofia Guimarães, Paula Pereira, Paula Carminé e Elísio Santos. Aquelas pelo seu apoio na tradução e interpretação de algumas publicações estrangeiras e este pelo seu contributo na execução de algumas figuras constantes deste trabalho e sugestões quanto à apresentação do mesmo.

Ao Filipe, pela sua contribuição no domínio do *software* e impressão do trabalho.

À Sociedade de Empreendimentos Nam Van, SARL, na pessoa do seu director, Engenheiro Barreiros Cardoso, pela cedência de todos os elementos disponíveis e inerentes ao Projecto de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande.

À JNICT pelo apoio materializado na concessão de uma bolsa no âmbito do Programa Praxis XXI.

A toda a minha família e amigos que com o seu estímulo e calor humano me permitiram recuperar a serenidade nos momentos mais difíceis.

A todos presto homenagem ...

# ÍNDICE

*VOLUME I*


**CAPÍTULO 1.** INTRODUÇÃO 1

**1.1 Considerações Gerais** 2

**1.2 Objectivos** 4

**1.3 Localização Geográfica da Região em Estudo** 5

**CAPÍTULO 2.** EVOLUÇÃO DA PROVÍNCIA DE MACAU DENTRO DOS QUADROS PALEOGEOGRÁFICOS DO EXTREMO ORIENTE. TECTÓNICA. 9

**2.1 Introdução** 10

**2.2 Influência do Rio das Pérolas na Geologia do *Offshore* de Macau - Hong Kong** 12

2.2.1 Introdução 12

2.2.2 Alterações do Nível do Mar 16

2.2.3 História Geológica do Delta do Rio das Pérolas 19

2.2.4 Estratigrafia do Delta do Rio das Pérolas 20

2.2.5 Ambiente Geológico Contemporâneo 23

2.2.6 Zonas de Sedimentação do Delta do Rio das Pérolas 27

2.2.7 Estratigrafia de Hong Kong 30

**2.3 Tectónica do Território de Macau (segundo Eurico Pereira)** 33

2.3.1 Introdução 33

2.3.2 Enquadramento do Território no Contexto Tectónico do Sul da China 34

2.3.3 Sistemas de Fracturação 38

2.3.4 Neotectónica 41

**2.4 Relações Entre os Sistemas Principais de Fracturação e o Andamento do *Bedrock*** 42

**CAPÍTULO 3.** GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BAÍA DA PRAIA GRANDE 45

**3.1 Introdução** 46

**3.2 Granitos: Granitos Decompostos (*C.D.G.*)** 47

**3.3 Solos Residuais e Coluviões (?)** 51

**3.4 Aluviões (Plistocénicas)** 53

**3.5 Sedimentos Marinhos (ou Fluvio-Marinhos Holocénicos)** 56

**3.6 Aterros** 59

**CAPÍTULO 4.** APRESENTAÇÃO E CRÍTICA DOS DADOS COLIGIDOS. DADOS DE CAMPO. 60

**4.1 Generalidades** 61

**4.2 Apresentação e Crítica dos Dados Geotécnicos** 63

4.2.1 Ensaios *in situ* 64

4.2.1.1 Ensaio de Penetração Dinâmica, SPT 64

4.2.1.2 Ensaio de Penetração Estática, CPT 86

4.2.1.3 Ensaio de Corte Rotativo ou de Molinete 93

**CAPÍTULO 5.** APRESENTAÇÃO E CRÍTICA DOS DADOS DE LABORATÓRIO 99

**5.1 Análise Granulométrica** 100

5.1.1 Importância da Análise Granulométrica nos Solos Granulares 105

5.1.2 Considerações Finais 105

**5.2 Limites de Consistência (ou Limites de Atterberg)** 107

5.2.1 Relação entre os Limites de Atterberg e a Composição do Solo 109

**5.3 Teor em Água, w. Peso Específico (ou Peso Volúmico)** 112

**5.4 Ensaios de Consolidação** 115

**5.5 Ensaios Triaxiais (Tipo Consolidados não Drenados)** 117

**CAPÍTULO 6.** APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS A DADOS GEOTÉCNICOS: ANÁLISE GRUPAL 119

**6.1 Generalidades** 120

**6.2 Metodologia 1** 122

6.2.1 Introdução 122

6.2.2 Crítica e Pré-Processamento dos Dados 123

6.2.3 Critérios de Distância e de Aglomeração Utilizados pelo Algorítmo de Classificação Hierárquica Ascendente 129

6.2.4 Tipo de *Outputs* Produzidos e Interpretação 130

6.2.5 Ensaio 1 131

6.2.5.1 Análise Em Modo-Q 131

6.2.5.2 Análise Em Modo-R 152

6.2.5.3 Conclusões Relativas ao Ensaio 1 156

6.2.6 Ensaio 2 157

6.2.6.1 Análise Em Modo-Q Para Cada Horizonte 157

**CAPÍTULO 7.** APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS A DADOS GEOTÉCNICOS: ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS. 186

**7.1 Metodologia 2** 187

7.1.1 Introdução 187

7.1.2 Ensaio 1 190

7.1.2.1 Eixos Factoriais Ortogonais 192

7.1.2.2 Interpretação Genérica do Modelo 195

7.1.3 Ensaio 2 197

7.1.3.1 Eixos Factoriais Ortogonais 200

7.1.3.1 Interpretação Genérica do Modelo 200

7.1.4 Ensaio 3 203

7.1.4.1 Eixos Factoriais Ortogonais 205

7.1.4.2 Eixos Factoriais Rodados 209

7.1.4.3.. Interpretação Genérica do Modelo 211

7.1.4.4 Retroacção 212

7.1.4.5 Interpretação Global 215

7.1.5 Ensaio 4 216

7.1.5.1 Eixos Factoriais Rodados 221

7.1.5.2 Interpretação Genérica do Modelo 224

**CAPÍTULO 8.** CONCLUSÕES 225

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 234

*VOLUME II*

**ANEXOS** 238

**ANEXO A** - Logs simplificados das sondagens 239

**ANEXO B** - Ensaios CPT 341

**ANEXO C** - Curvas granulométricas 371

**ANEXO D** - Quadros 6.1 (a) e 6.1 (b) 401

**ANEXO E** - Mapas categorizados 409

**ANEXO F** - Quadro 7.1 431

# CAPÍTULO 1. Introdução.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Gerais

O conhecimento prévio das condições geotécnicas tornou-se fundamental no planeamento da localização dos mais diversificados tipos de estruturas e de infraestruturas; as decisões neste domínio, sem uma informação geotécnica prévia, podem acarretar pesadas consequências quer do ponto de vista de custos, quer da economia de recursos, quer, ainda, da segurança das construções.

As decisões a tomar dependem das características próprias de cada área, dos seus recursos naturais e das modificações locais e regionais que o empreendimento irá provocar. O conhecimento das condições geotécnicas é, por isso, necessário para que se façam opções racionais.

A ocupação de novas áreas, logo ao nível das primeiras decisões, coloca os organismos de decisão perante vários problemas cuja avaliação necessita de dados geotécnicos: utilização racional do espaço, segurança das construções e incidência das condições geotécnicas sobre os custos das obras.

Tornam-se necessárias decisões sobre a localização das áreas de expansão de zonas residenciais ou outras, de forma a permitir a definição de uma densidade de ocupação bem como a localização das obras a construir, devendo ter em conta uma previsão realista do tipo de custo das respectivas fundações e das restantes infraestruturas.

Dado que as primeiras decisões comprometem o futuro e envolvem recursos financeiros consideráveis, estas devem prevenir contra situações geotécnicas desfavoráveis; a verificação tardia de condições geotécnicas desfavoráveis pode comprometer economicamente todo o projecto inicial, numa fase em que as decisões tomadas são já

irreversíveis, devido ao agravamento do custo das fundações ou à necessidade de obras especiais que evitem a manifestação de fenómenos de instabilidade.

No Território de Macau tem-se assistido, desde há uma década para cá, a um enorme surto de desenvolvimento, impulsionado por uma política desenvolvimentista do Estuário do Rio das Pérolas e da Província de Guandong (República Popular da China). Foi nesta conjuntura que os GEM (Grandes Empreendimentos de Macau) foram lançados, nomeadamente: um aeroporto internacional construído sobre aterro, um porto de mar, o maior empreendimento urbanístico do SE asiático, uma ponte com 3 Km de comprimento, um novo terminal marítimo para transporte de passageiros, ligações rodoviárias e ferroviárias à Província de Guanzhou (R.P. China) e inúmeros edifícios de médio e grande porte.

Devido à pequena área de Macau, a larga maioria dos GEM são edificados em terras recuperadas ao mar com uso intensivo de fundação em estacaria.

A densificação das terras de empréstimo, controlo dos assentamentos e a estabilidade dos depósitos subjacentes, são problemas permanentes a enfrentar. Por isso, durante a fase de planeamento e concepção das infraestruturas são executadas investigações geotécnicas extensivas e intensivas, nomeadamente: sondagens carotadas, geofísica, SPT e ensaios laboratoriais. Este acervo de dados constitui uma enorme fonte de informação concentrada numa pequena área.

Em face do exposto parece estar justificada a necessidade de estudos geotécnicos de apoio aos grandes empreendimentos a construir.

A alta densidade de informação geológica e geotécnica existente no Território tornou possível a elaboração desta dissertação subordinada ao tema "Métodos Estatísticos Aplicados a Dados de Prospecção Geotécnica do Território de Macau".

## 1.2 Objectivos

É objectivo expresso do presente trabalho testar a aplicabilidade de um conjunto de técnicas estatísticas a dados geotécnicos disponíveis sobre o Projecto de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande e o estabelecimento de correlações entre os diferentes dados.

Tendo em consideração o objectivo geral poder-se-á referir que neste trabalho pretende-se validar e compreender a ligação entre os parâmetros provenientes de ensaios tecnológicos de âmbito geotécnico, no caso vertente do Reconhecimento Geotécnico nas suas propriedades provenientes de ensaios *in situ* ou de campo e de ensaios laboratoriais, através de algumas técnicas estatísticas do domínio da Análise de Dados.

Assim, foram estabelecidas correlações entre os dados quantitativos obtidos das campanhas de reconhecimento geotécnico e a lito-estratigrafia do solo da região em estudo.

Este estudo possibilitou, ainda, averiguar a qualidade dos próprios dados, provenientes das campanhas geotécnicas, inerente à sua própria densidade e diversidade, pelo confronto com as normas que especificam cada um dos ensaios executados.

## 1.3 Localização Geográfica da Região em Estudo

A região em estudo — Baía da Praia Grande — pertence ao território de Macau, cuja capital é a cidade do mesmo nome, situando-se no SE Asiático, na orla meridional da costa da China banhada pelo Oceano Pacífico, Mar do Sul da China, (figura 1.1).

O território é constituído pela pequena península, inteiramente ocupada pela cidade de Macau ou cidade do Nome de Deus, e pelas ilhas da Taipa e de Coloane, que se encontram a sul; a sua área total será possivelmente superior a 16 $Km^2$, dada a progressiva conquista de terrenos ao mar.

O estreito istmo — o da Porta do Cerco — liga a península à grande ilha chinesa de Chung Shan, situada no delta comum do rio Chu Kiang, actual rio Lingding Yang, (rio das Pérolas, de Leste ou de Cantão) e do rio Si Kiang, actual rio Modaomen, ambos tributários do rio Zhujiang (rio de Oeste).

A Oeste de Macau e a pequena distância desta fica a Ilha da Lapa.

A Oeste das ilhas da Taipa e de Coloane, também bastante próximas situam-se as ilhas de D. João e da Montanha.

A Leste de Macau, cerca de 60 Km, fica a cidade de Victória, capital da colónia britânica de Hong Kong, cujos territórios pertencem igualmente à orla meridional costeira da China.

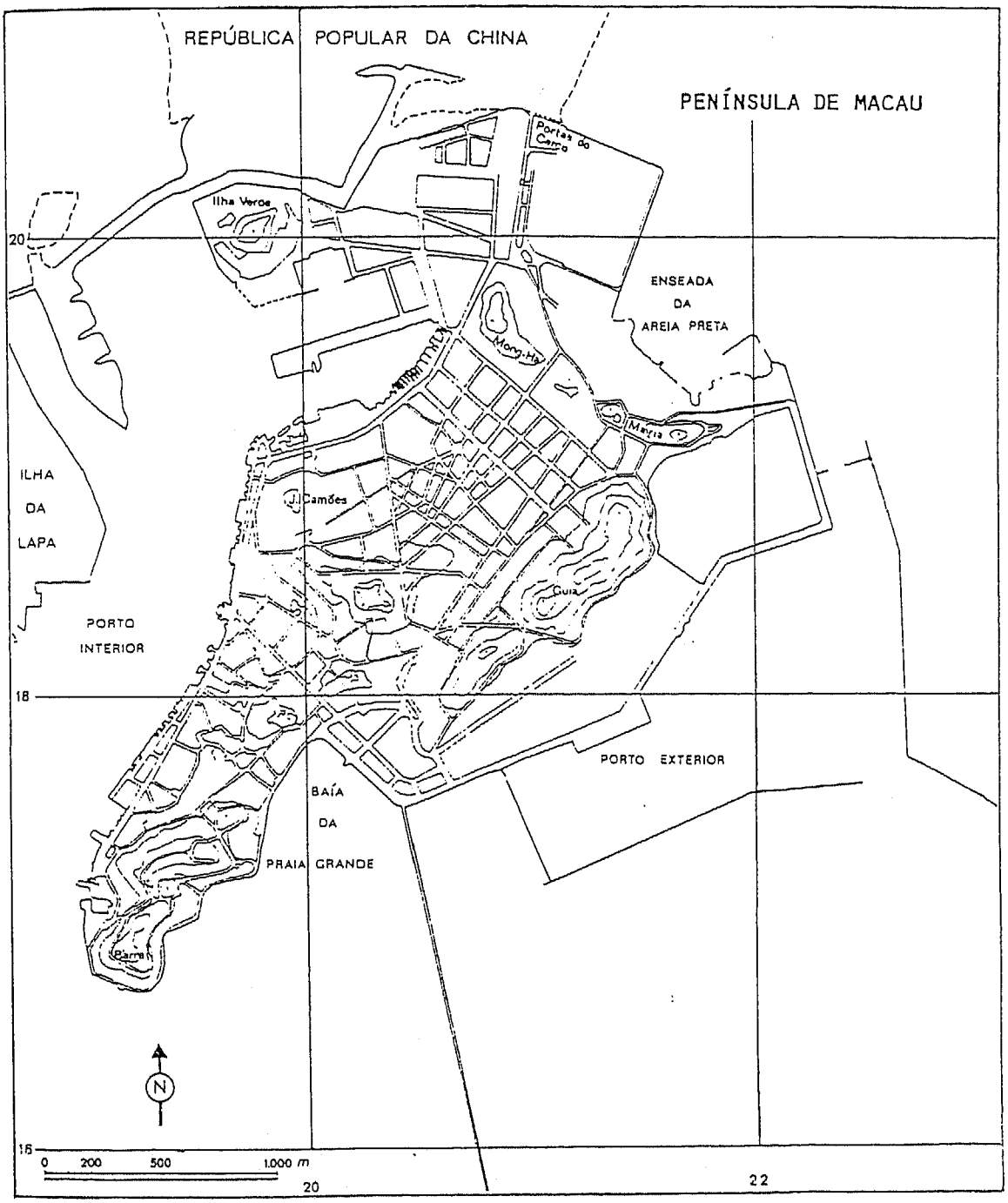



Figura 1.1 - Localização Geográfica da Baía da Praia Grande - Território de Macau; (adaptado de Fonseca Marques, 1988).

Para o desenvolvimento desta dissertação foram seleccionados os dados de reconhecimento geotécnico obtidos para o Projecto do Fecho da Baía da Praia Grande, empreendimento urbanístico do SE asiático (figura 1.2), da responsabilidade da Sociedade Empreendimentos Nam Van S.A.R.L (maior empresa de empreendimentos imobiliários do Sudeste Asiático).

Após a fase de execução de aterros e de cravação de estacaria, a obra projectada encontra-se em fase de execução, correspondendo a uma área aproximada de *offshore* de 2 $Km^2$.

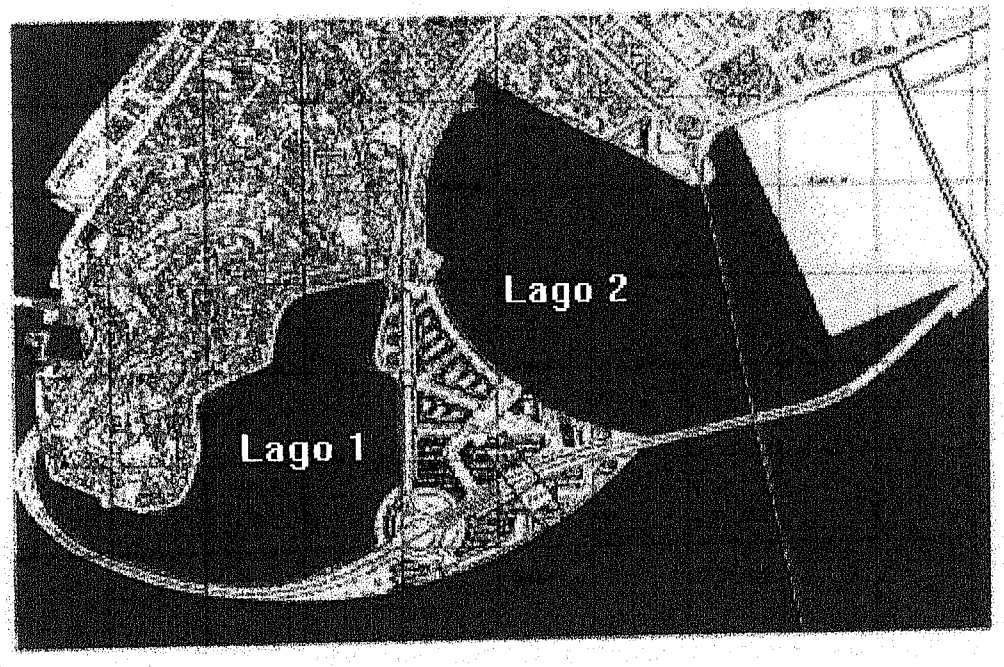



Figura 1.2 - Área de Localização do Projecto do Fecho da Baía da Praia Grande. (Figura retirada da capa do relatório Ref. NV- 01/92 da Sociedade de Empreendimentos Nam Van, S.A.R.L. - 1ª Fase da Campanha de Sondagens Geológicas, Empreitada de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande, (1992).

# CAPÍTULO 2. Evolução do Território de Macau

## Dentro dos Quadros Paleogeográficos do

## Extremo Oriente.Tectónica.

# 2. EVOLUÇÃO DA PROVÍNCIA DE MACAU DENTRO DOS QUADROS PALEOGEOGRÁFICOS DO EXTREMO ORIENTE. TECTÓNICA.

## 2.1 Introdução

O território de Macau faz parte da microplaca do sudeste da China, encontrando-se na cintura orogénica acrecionária do sul da China que, desde os mais recuados tempos, tem quase sempre estado emersa. Na era Agnotozóica foi local de activa e de demorada sedimentação, até que próximo do final desta, movimentos tectónicos motivaram a emersão em larga escala.

Durante a era seguinte, a Paleozóica, o mar invadiu esta nova área continental. Destas transgressões resultou a deposição de sedimentos na bordadura, em especial a norte e a ocidente. Só no início do Mesozóico é que o mar triássico atingiu em simultâneo os bordos oriental e ocidental, com apreciável profundidade. É suposto que, durante estas duas eras, a parte onde se encontra o território de Macau se manteve sempre emersa e sujeita a contínua erosão.

Durante o período Jurássico o mar aproximou-se bastante tendo deixado depósitos em Hong Kong; no final deste já se encontrava muito afastado. No Cretácico iniciaram-se os movimentos tectónicos de maior importância, os yenshanianos, durante os quais ocorreram profundas perturbações, intenso vulcanismo assim como gigantescas intrusões de rochas plutónicas. Esse tectonismo, na região correspondente à cintura orogénica do sul da China, veio rejuvenescer o relevo tendo-se mantido, de modo geral, a direcção dos eixos estruturais existentes.

A partir do Jurássico Superior e até ao final do Cenozóico o solo chinês não sofreu mais transgressões. Dada a contínua e dominante acção erosiva, mesmo posteriormente, ficaram a descoberto aquelas rochas eruptivas, que na actualidade constituem, quase na totalidade, o subsolo do território, nada restando da antiga cobertura.

As potentes actividades tectónicas ocorridas naquela última era, a Cenozóica, traduziram-se apenas localmente em movimentos epirogénicos, acompanhados de manifestações vulcânicas, pois actuaram sobre maciço cada vez mais rígido.

Apesar da evolução realizada no Plistocénico não estar ainda suficientemente bem conhecida, é aceitável que transgressões tivessem submergido grande parte do velho escudo sino-malaio, tendo, possivelmente, aqueles últimos movimentos feito perder a sua unidade, individualizando-se a região sudeste da China. É admissível que a última regressão plistocénica tenha afastado muito a linha de costa do que é hoje o Território.

O início da última transgressão, a seguir à glaciação de Würm, provavelmente levou o mar bastante para além dos seus actuais limites, em algumas áreas. Actualmente no arquipélago malaio, segundo Molengraaff & Weber, (1921), *in* Costa & Sousa (1964), está-se assistindo à regressão geral do mar da China. Este facto pode motivar a acção transgressiva sobre a costa meridional chinesa; no entanto, o assoreamento da região em estudo parece fazer supor o contrário. O assoreamento pode apenas ser devido a particular dispositivo da costa e ao jogo das correntes marinhas.

Os materiais carreados pelos grandes rios do Sul da China vão, pouco a pouco aumentando a área do território, unindo núcleos dispersos com a ajuda de aterros e adequadas conquistas de terrenos ao mar.

## 2.2 Influência do Rio das Pérolas na Geologia do *Offshore* de Macau - Hong Kong

### 2.2.1 Introdução

Durante os últimos 1.6 milhões de anos do Quaternário, ou até talvez mais, o sistema fluvial do Rio das Pérolas tem exercido uma importante influência na geologia do *offshore* do Mar do Sul da China. Um outro factor dominante tem sido a flutuação do nível do mar em resposta ao avanço e ao recuo glacial nas regiões polares e boreais e, a razão da evolução da planície aluvial, do delta e da sedimentação marinha.

Os depósitos quaternários do *offshore* na zona de Hong Kong foram dispostos pela actuação conjunta de correntes fluviais e litorais sobre a superfície irregular do substrato rochoso profundamente alterado.

Os mais antigos sedimentos fluviais surgem no final do Plistocénico (Formação Chek Lap Kok). Trata-se de uma sequência aluvial estratigraficamente complexa, compreendendo uma litologia diversa de siltes e de argilas firmes a duras, de cascalho e de areias mal calibradas; alguns destes depósitos estão matizados de amarelo e de vermelho, enquanto outros são cinzentos escuros e orgânicos. Estes sedimentos Plistocénicos encontram-se cobertos, de forma irregular, pela Formação Hang Hau do Holocénico, constituída fundamentalmente por siltes moles a muito moles (os lodos marinhos Holocénicos).

Recentemente foi identificada através de registos sísmicos uma terceira formação intermédia, a Formação Sham Wat cuja idade ainda não está determinada; no entanto, a sua deposição parece estar associada ao início da subida no nível do mar.

Macau e Hong Kong situam-se na desembocadura do Rio das Pérolas (rio Zhujiang Kou), na extremidade norte da plataforma continental do Mar do Sul da China, (figura 2.1).

O delta do Rio das Pérolas situa-se na bacia sedimentar subsidente, da extremidade sul, da área elevada de Fujian-Guangdong-Guanxi limitada por evidentes falhas a NE, E.NE e NW (Feng & Fan, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992); durante o Terciário esta área sofreu aplanamento (Long & Huo, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

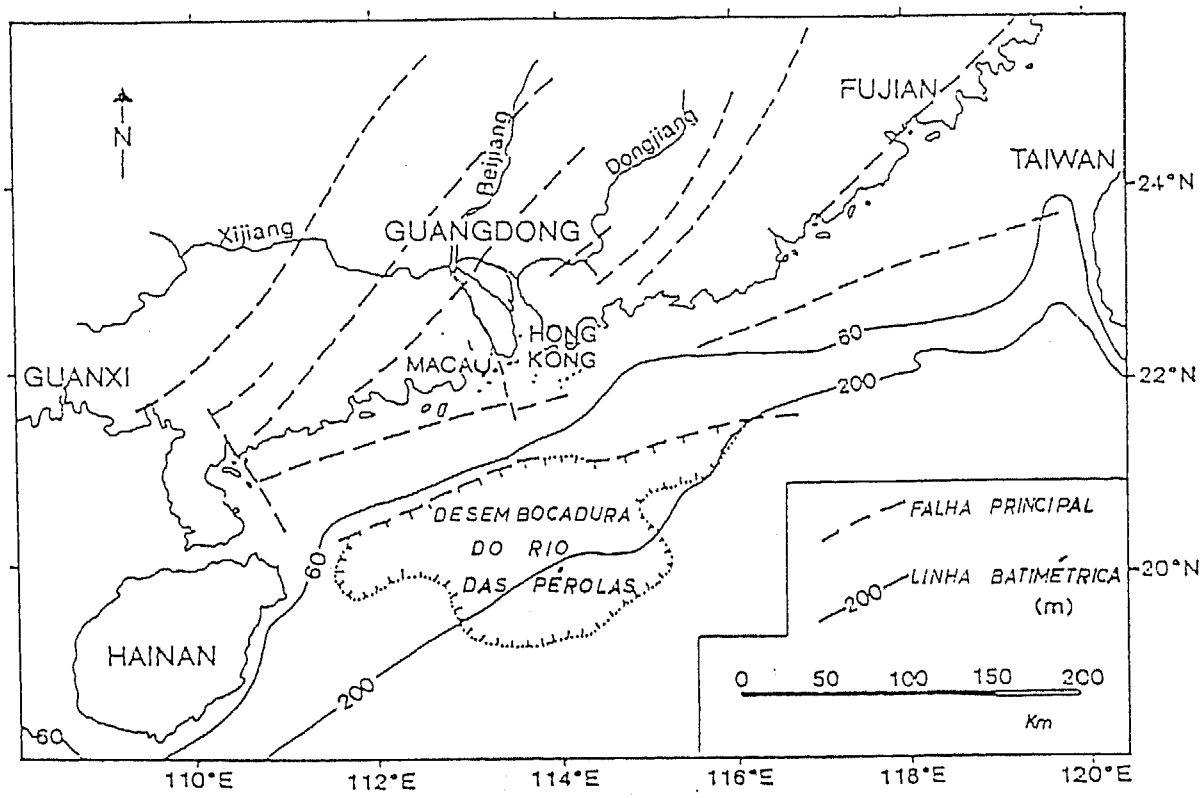



Figura 2.1 - Nordeste da Plataforma Continental do Mar do Sul da China e desembocadura do Rio das Pérolas - sistema principal de falhas (após Feng & Fan, 1988); batimetria (após Feng & Fan, 1988, e Wang & outros, 1988). (Adaptado de Shaw & Fyfe, 1992).

O sistema fluvial do Rio das Pérolas, compreende três rios principais:

- o rio Xijiang
- o rio Beijiang e
- o rio Dongjiang

constituindo uma bacia de drenagem com uma área superior a 425 000 $Km^2$ correspondendo a mais de 5% da área da China (Long & Huo, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

Actualmente os sub-ambientes da bacia sedimentar do Rio das Pérolas compreendem quatro zonas morfológicas distintas:

- a planície deltaica
- a frente deltaica
- o prodelta e
- a plataforma

estando o território de Macau localizado na frente deltaica e Hong Kong no prodelta.

No Período Superior da Era Terciária, devido à subida do nível do mar durante o Neogénico, desenvolveu-se a sul da linha de costa do Mar do Sul da China, o prodelta da bacia de desembocadura do Rio das Pérolas (Zhujiang Kou).

Desde o início do Miocénico que esta bacia tem sofrido subsidência, tendo-se depositado uma complexa sequência deltaica.

A linha de costa tem migrado constantemente durante o Quaternário, (figura 2.2).

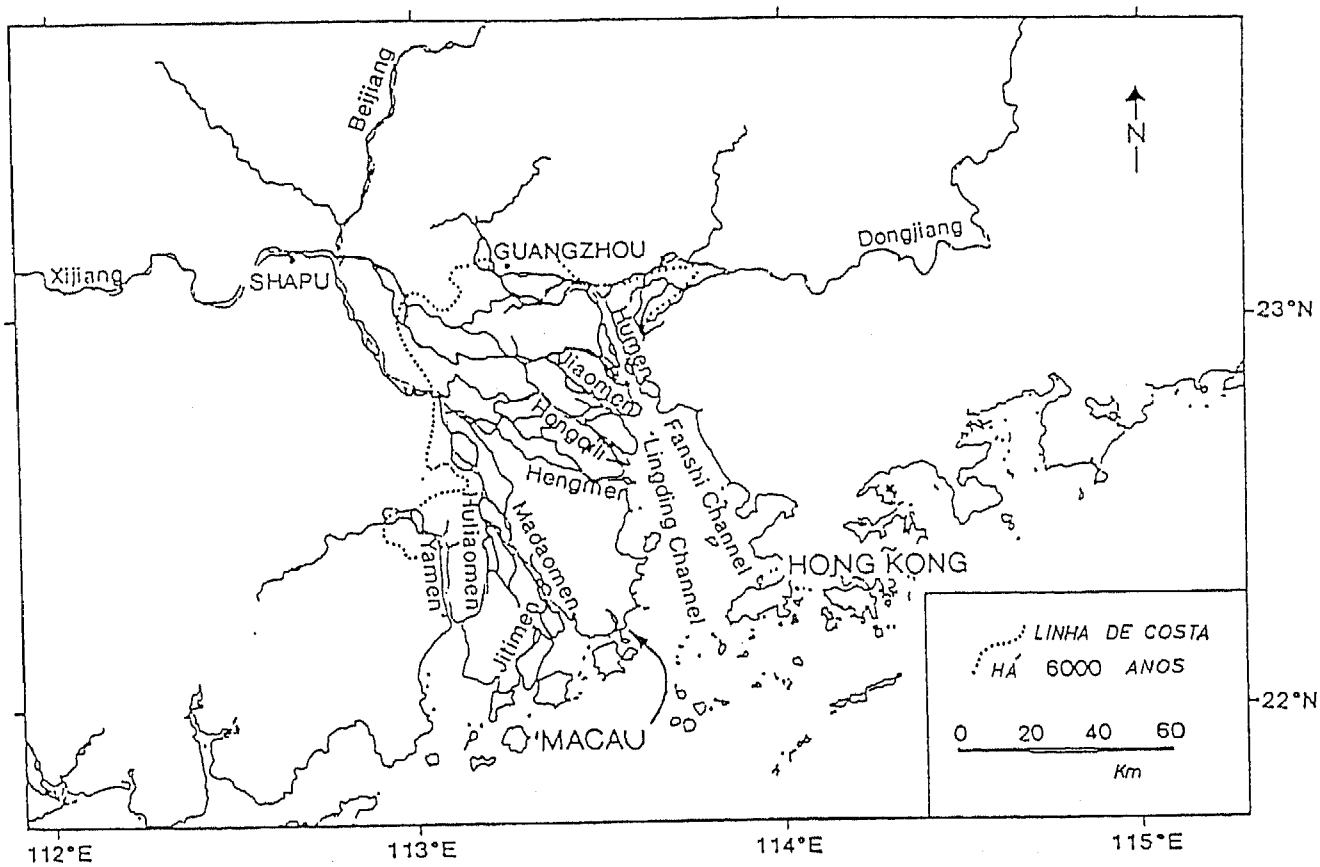



Figura 2.2 - Delta do Rio das Pérolas: canais tributários actuais e linha de costa há 6 000 anos atrás. (Adaptado de Shaw & Fyfe, 1992).

Para melhor compreender a geologia do *offshore* de Macau - Hong Kong é necessário conhecer o sistema fluvial do Rio das Pérolas e os movimentos eustáticos que afectaram a plataforma continental.

### 2.2.2 Alterações do Nível do Mar

As alterações do nível do mar durante o Plistocénico coincidiram com o avanço glaciar nas regiões polares e boreais.

A formação do gelo polar conduziu à descida do nível do mar e da temperatura da água: nos períodos de degelo deu-se a subida do nível do mar seguido de um aumento da temperatura da água. Das oscilações da temperatura, inferidas a partir da abundância relativa dos isótopos de oxigénio, pode deduzir-se a temperatura do meio; como o oxigénio do $CaCO_3$ das carapaças e das conchas dos fósseis foi recebido da água do mar oceânico, basta, por conseguinte, medir a relação $O^{18}/O^{16}$ nestes restos carbonatados, para que fique definida a temperatura do meio onde viveu o animal. A razão dos isótopos de oxigénio ($O^{18}/O^{16}$) constitui, desta forma, um importante instrumento para correlação.

Entre as sequências sedimentares do final do Quaternário verificam-se algumas ligeiras discordâncias; no entanto, a razão dos isótopos de oxigénio, nomeadamente através das paleotemperaturas inferidas, permitiu estabelecer correlações que, regra geral, são concordantes.

Acerca de 125 000 anos o nível médio do mar estava 4 a 6 m acima do nível actual, atingindo o seu máximo no Eemiano, último período interglaciar, (base a -120 000 anos). O início da glaciação Würm ou Wechseliana, último período glaciar, (base a -80 000 anos), foi precedido por sucessivas subidas intermédias do nível do mar; acerca de 103 000 anos ocorreu uma das subidas seguindo-se a de 82 000 anos que corresponde à transição para a

glaciação principal de há aproximadamente 72 000 anos. Com a descida do nível do mar, também marcada por sucessivos movimentos intermédios de descida, um primeiro movimento dá-se à 61 000 anos, um segundo dá-se à 43 000 anos e o último acerca de 27 000 anos atingindo o nível do mar 20 m acima do nível actual.

Trabalhos realizados no Mar do Sul e de Este da China, (Yang & Xie, 1984; Feng & outros, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992), permitiram a identificação de um nível do mar a -77 m acerca de 75 000 anos, quando o mar invadiu a área do actual delta do Rio das Pérolas. Estes dados divergem da curva de Bloom (1974) que aponta para o mesmo período um nível do mar de -40 m.

No apogeu da última glaciação, acerca de 18 000 anos, o nível do mar desceu para -110 ou -120 m, tendo subido rapidamente à 15 000 anos e atingido o seu nível máximo há 6 000 anos.

O final da transgressão procedeu-se rapidamente, entre 15 000 e 10 500 anos atrás, tendo decrescido desde o Holocénico até há 6 000 anos (Yang & Xie, 1984, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

Existem evidências de que há 7 000 anos o nível do mar se manteve elevado, tendo sido identificado entre +1 e +3 m. (Feng & outros, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992). Desde há 4 000 anos, quando o nível do mar desceu, tem-se verificado uma ligeira flutuação até ao seu nível actual; (figura 2.3).

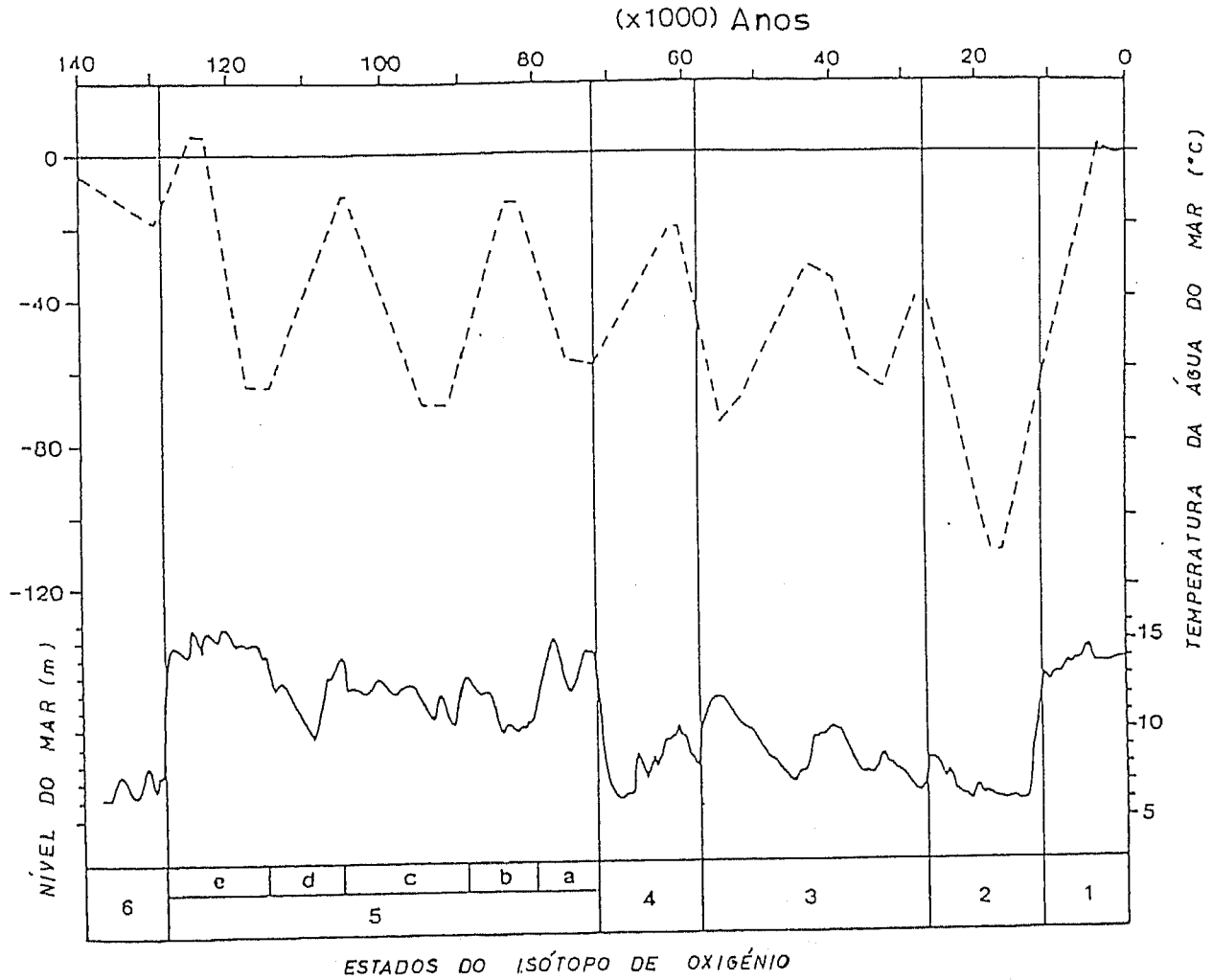



Figura 2.3 - Curva das flutuações do nível do mar (após Bloom & outros, 1973) e sua relação com as paleotemperaturas inferidas da água do mar (Sancetta & outros, 1973) e com os diferentes estados do isótopo de oxigénio (Morley & Hayes, 1981). (Adaptado de Shaw & Fyfe, 1992).

### 2.2.3 História Geológica do Delta do Rio das Pérolas

No decurso do Plistocénico o recuo do mar anteriormente descrito permitiu que, em determinadas épocas, o mar se estendesse até bem próximo da actual extremidade da plataforma continental.

No *offshore* de Hong Kong é difícil a identificação de sedimentos que correspondam aos episódios precedentes da glaciação e da interglaciação. Esta dificuldade está associada, de certa forma, com a datação máxima de 4 000 anos conseguida através do radiocarbono. Contudo Yim & outros, 1990, apontaram para uma idade de 130 500 anos, correspondente ao último período interglaciar, o Eemiano, baseando-se na datação do urânio existente numa concha de molusco.

É provável que, durante o Wechseliano, a subida do nível do mar tenha causado inundação da zona costeira e transgressões associadas provavelmente afectaram, de tempos a tempos, áreas de Macau e de Hong Kong, submergindo-as; porém, o nível do mar nunca ultrapassou os 10 m abaixo do nível actual. No Wechseliano os níveis mais elevados situavam-se entre -20 e -40 m.

A transgressão do final do Plistocénico para o Holocénico (acerca de 8 000 anos), afectou a actual costa do Sul da China (Strange & Shaw, 1986, *in* Shaw & Fyfe, 1992), resultando no aumento de profundidade da água e num ambiente de deposição marinha.

A baía ocupada há 6 000 anos pelo moderno delta do Rio das Pérolas foi inundada pelo mar para além de Guangzhou (Huang, 1984, *in* Shaw & Fyfe, 1992). Em Dongjiang e em Shapu são encontrados depósitos de praia com 4 690 (± 90) anos de idade; estes depósitos estão relacionados com a máxima incursão marinha depois da inundação Holocénica. Na baía terão existido ilhas similares às actuais de Macau e de Hong Kong, que terão afectado quer as correntes fluviais quer as correntes marinhas. Após a incursão marinha ter-se-á dado a progradação do delta.

O actual delta do Rio das Pérolas parece corresponder às formações continentais do final do Holocénico.

Acerca de 2 200 anos a área circundante de Guangzhou foi preenchida e nos 900 anos seguintes o delta pouco progrediu; contudo, há aproximadamente 1 000 anos a sua progradação tem-se evidenciado tendo já incorporado ilhas que se encontravam na planície aluvial. O avanço, no último milénio, atingiu em média 50 a 60 m por ano (Huang, 1984, *in* Shaw & Fyfe, 1992). Este rápido desenvolvimento deve-se, em especial, à actividade humana nomeadamente à desflorestação de regiões com água destinadas à agricultura; em consequência constata-se uma elevada deposição de sedimentos, lodos marinhos, na zona do prodelta.

### 2.2.4 Estratigrafia do Delta do Rio das Pérolas

Trabalhos efectuados no delta do Rio das Pérolas permitiram rever e clarificar a cronologia sedimentar desta região; foram identificadas duas formações litoestratigráficas: a Formação Zhongshan do Plistocénico Terminal ($Q_3$) e a Formação Shunde, Holocénica, ($Q_4$), (Long & Huo, 1988, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

No delta moderno as superfícies reflectoras de sismicidade permitem inferir acerca da geometria da sequência estratigráfica.

## Formação Zhongshan

A sub-unidade inferior da Formação Zhongshan, de ocorrência restrita, encontra-se confinada por áreas promontórias tais como cones aluviais e, na base, por antigos vales dendríticos; esta formação cobre de forma irregular o substrato rochoso alterado. As fácies sub-aéreas e fluviais aparecem, nos registos sísmicos, como vales caóticos preenchidos por sedimentos com uma espessura de 17 m. Estes depósitos são o resultado de um intenso aluvionamento associado à descida do nível do mar para -77 m, ocorrida há volta de 75 000 anos. As datações obtidas pelo radiocarbono apontam para uma idade desde 33 000 anos até mais de 37 000 anos (para além dos limites de precisão da técnica).

A sub-unidade intermédia, de fácies transgressivas relacionadas com a subida do nível do mar cujo nível máximo ocorreu acerca de 28 000 anos, é bastante extensa e rica em microfósseis calcários; compreende desde sedimentos terrestres, na zona noroeste do delta, até vales submersos e fácies de estuário a sul; o seu espólio palinológico é indicador de paleoambientes de regiões pantanosas. A formação cuja idade se situa entre 30 000 e 21 000 anos, possui uma possança média de 16 m podendo atingir 48 m.

Finalmente, a sub-unidade superior, de esporádica ocorrência, apresenta-se fortemente erodida e alterada. Os sedimentos, dispostos em estratos horizontais, possuem lentículas arenosas e muitos restos de plantas; os raros microfósseis e o espólio palinológico são indicadores de um período frio. No delta moderno as superfícies reflectoras de sismicidade permitem inferir acerca da geometria da sequência estratigráfica; os registos sísmicos apontam para descontinuidades onduladas, de amplitude variável, correspondentes a superfícies erosivas, moderadamente contínuas; o topo apresenta-se truncado e a espessura dos sedimentos varia entre 0 e 44 m.

## Formação Shunde

A sub-unidade inferior da Formação Shunde, de idade entre 12 000 e 10 000 anos, é restrita às depressões da superfície erodida da Formação Zhongshan, às margens das plataformas e à base dos antigos canais fluviais. Os seus sedimentos, constituídos por cascalho de canal fluvial, tornam-se lodosos para a superfície e sustentam argilas oriundas de pântano litoral; o polén fossilizado é indicador de um clima frio e seco. Os perfis sísmicos evidenciam um enchimento sedimentar tipicamente caótico, pouco contínuo e moderadamente extenso; o topo desta formação tanto se apresenta uniforme como recortado; a sua espessura média é de 9 m, atingindo uma possança máxima de 41 m.

A extensa sub-unidade intermédia, de idade entre 7 500 e 2 500 anos, possui características sedimentares de planície deltaica e evidencia progradação deltaica devido à presença de fácies aluviais terrestres. Encontram-se também preservados alguns sedimentos de estuário. A formação é rica em microfósseis e em macrofósseis; o espólio palinológico caracteriza um clima quente e húmido. Os registos sísmicos apontam para superfícies reflectoras subparalelas de grande continuidade e moderadamente extensas e para secções inferiores gradualmente sobrepostas; a espessura é de, em média, 7 metros, atingindo por vezes mais de 27 m.

A sub-unidade superior, de idade inferior a 2 500 anos e igualmente extensa, é constituída por sedimentos de fácies terrestres, (depósitos aluviais); toda a sequência de sedimentos é resultante da progradação do delta. Os espólios de polén são indicadores de condições climáticas similares às actuais, sustentadas pela Monção Asiática. As superfícies reflectoras de sismicidade são uniformes, paralelas e contínuas; a espessura média é de 3 m, atingindo ocasionalmente 10 m.

### 2.2.5 Ambiente Geológico Contemporâneo

A linha de costa da China é caracterizada por planícies mareais argilosas, por várias baías e pelos deltas dos principais rios: Yangtse, Amarelo e das Pérolas; (Ren, 1987, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

As planícies mareais do Golfo Bohai e da Província Guangdong são zonas sub-mareais; encontram-se cobertas por água cujo nível se encontra abaixo do nível médio do mar e a sua amplitude da maré na desembocadura do Rio das Pérolas é inferior a 2 m. O limite de influência das correntes de maré situa-se entre 50 Km e 160 Km da desembocadura do estuário, avançando para terra, na estação seca, quando o escoamento dos cursos de água é menor. Grande parte da costa da Província de Guangdong é ria, apresentando promontórios e baías, enquanto a desembocadura do Rio das Pérolas é um delta dominado por correntes fluviais.

O delta do Rio das Pérolas compreende 8 principais tributários: Humen, Jiaomen, Hongqili, Hengmen, Modaomen, Jitimen, Hutiaomen e Yamen (figura 2.4).

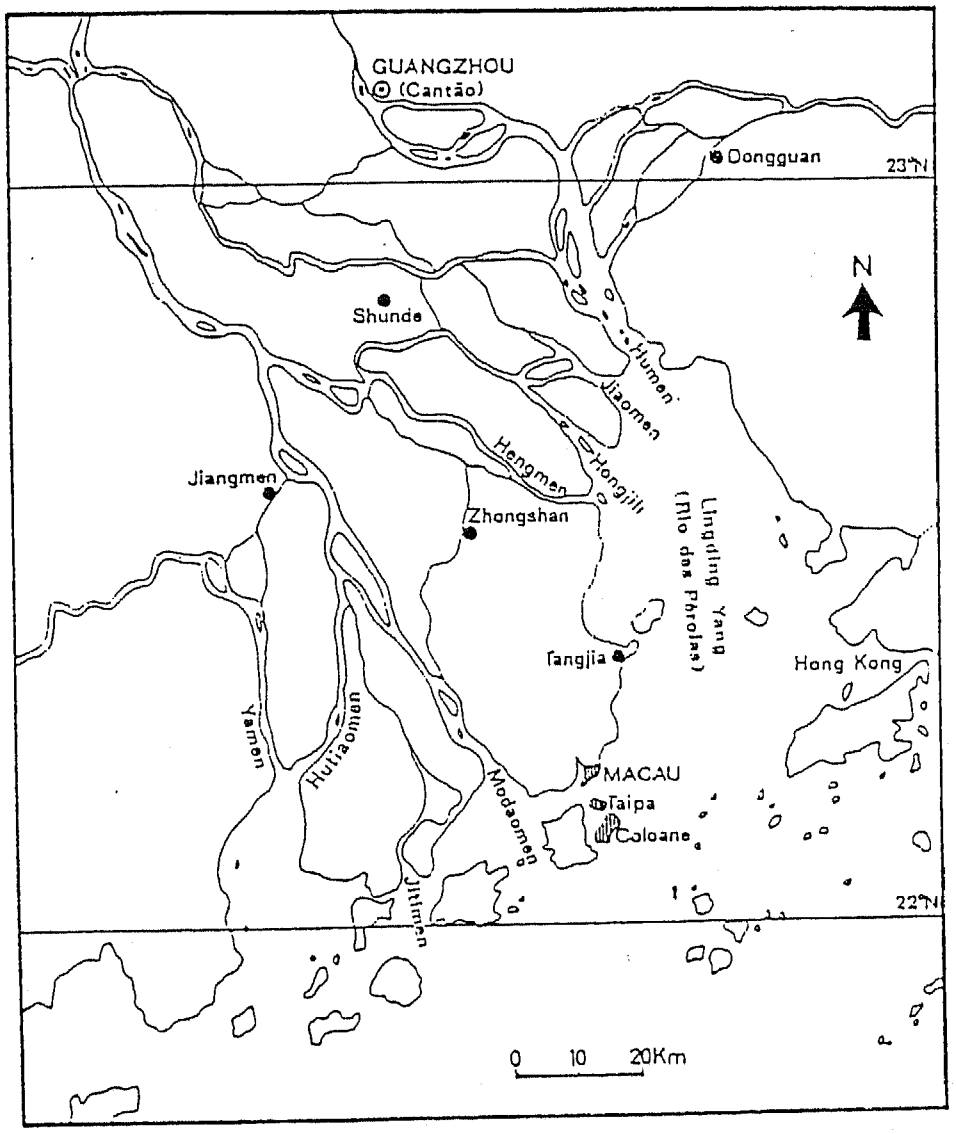



Figura 2.4 - Principais tributários do delta do Rio das Pérolas.

(Fonseca Marques, 1988).

Cada tributário tem características hidrológicas próprias assim como carga sedimentar que deposita e que transporta. Algumas destas desembocaduras, nomeadamente as de Modaomen e de Hongqili são predominantemente fluviais, caracterizando-se por forte escoamento e fracas correntes de maré; como resultado, a intrusão salina é curta, apresentando uma variação sazonal restrita a apenas 20 ou 30 Km.

Em contraste, estuários dominados pela maré tais como Yamen e Humen, têm correntes fluviais fracas e fortes correntes de maré. A cunha salina penetra bastante no estuário e a variação sazonal é grande, atingindo mais de 80 Km em Humen; as águas são parcialmente misturadas.

A descarga anual média do Rio das Pérolas é superior a 80 milhões de toneladas de sedimentos em suspensão e cerca de 30 milhões de toneladas de sedimentos dissolvidos, desconhecendo-se a carga do fundo (Liang & Lu, 1986, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

O rio Xijiang situado a Oeste de Macau, comporta 72% do escoamento total e 87% da carga sedimentar em suspensão, fornecidos ao delta.

Cerca de 20% dos sedimentos são depositados na desembocadura do rio sendo a restante carga transportada pelas correntes litorais do Mar do Sul da China; nos meses de Inverno este transporte é dominado pela corrente de Kuro Shio cujo sentido é de Nordeste para Sudoeste; nos meses de Verão é dominado pela corrente de Hainan, direccionada a noroeste, para a costa Sul da China (Morton & Wu, 1975, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

A progradação do delta é condicionada especialmente pelas marés e pela velocidade das correntes de maré. Como a velocidade das correntes de maré é mais elevada do que na maré baixa, a concentração de sedimentos transportados nessas correntes é significativa. Estas condições possibilitam o carreamento de sedimentos até às planícies lodosas durante fases de inundação; estes sedimentos só serão parcialmente removidos e retrabalhados pelas correntes de maré baixa, ocorrendo, deste modo, a acumulação de sedimentos à "cabeça" da baía (Li & Wang,1987, *in* Shaw & Fyfe, 1992).

Durante as tempestades o lodo é removido do fundo do mar e a acrecção é acelerada, registando-se cerca de 10 a 30 cm de depósito após os tufões. A presença de paúis (terrenos lodosos costeiros, alagados na praia-mar por água salgada), também promove a acrecção.

Estudos realizados nos sedimentos modernos de Lingdingyang demonstram que estes, o lodo e a areia, têm sido transportados através do tempo pela corrente dirigida para ocidente do rio e em direcção ao sudoeste, como se de uma corrente costeira se tratasse, (Fan & outros, 1986, *in* Shaw & Fyfe, 1992). Este fluxo, combinado com o refluxo das águas oceânicas no sudeste do delta, acelera o regime deposicional assimétrico, sendo dominante a sedimentação na costa Oeste e apenas deposição fraca a Este, em direcção a Hong Kong. Com efeito, tem ocorrido uma rápida progradação da costa ocidental de Lingdingyang. No Canal Lingding ocidental predominam os depósitos siltosos enquanto no Canal Fanshi oriental dominam os fenómenos erosivos. Em Lingdingyang o diâmetro médio dos sedimentos em suspensão é de 6.5 micrómetros, valor pertencente ao intervalo de diâmetros da floculação optimal e característico em regiões com mistura de água doce e salgada; este diâmetro possibilita o aumento da velocidade de assentamento de 300% para 700% (Li & Wang, 1987, *in* Shaw & Fyfe,1992).

### 2.2.6 Zonas de Sedimentação do Delta do Rio das Pérolas

O actual delta pode ser dividido em quatro distintas zonas, (figura 2.5), cada uma caracterizada por geomorfologia e por regime sedimentar próprios, (Li & Wang, 1987, *in* Shaw & Fyfe,1992).

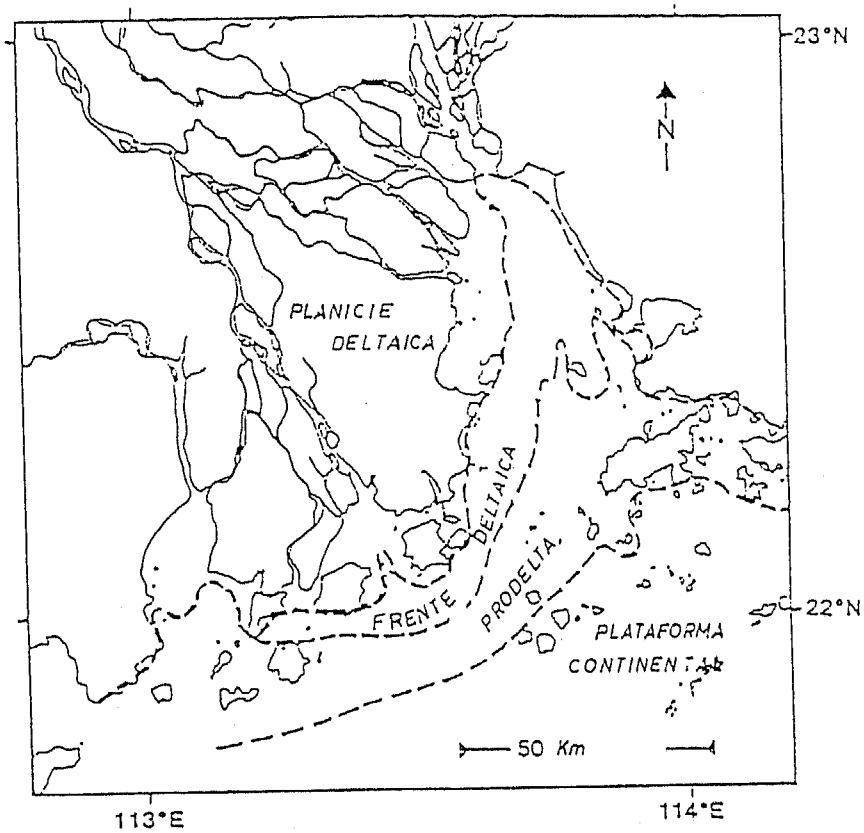



Figura 2.5 - Sub-ambientes da bacia sedimentar do Rio das Pérolas.

(Adaptado de Shaw & Fyfe, 1992).

## Planície deltaica

Do lado terrestre está a planície deltaica que compreende a planície aluvial com os seus canais tributários. Trata-se de uma área com aproximadamente 10 000 $Km^2$ constituída por sedimentos de "folheamento" fino, do final do Quaternário, que cobrem rochas cretácicas e *redbeds* (camadas de sedimentos do Terciário); a espessura média desta cobertura é de 25 m e a máxima de 64 m. Cerca de 75% da área total do delta apresenta cobertura inferior a 30 m. Os canais tributários, profundamente erodidos no sentido dos sedimentos deltaicos mais antigos que preenchem quer os canais mais antigos quer as depressões no substrato rochoso alterado, possuem profundos talvegues que variam entre 43 e 68 m abaixo do nível do mar.

Os sedimentos acumulados nos principais cursos de água são constituídos por seixo arenoso e por areia de granulometria grosseira sendo lateralmente mais finos; estes canais possuem barras centrais e ilhas.

## Frente deltaica

A segunda zona do sistema deposicional é a frente deltaica que compreende:

- canais tributários sub-aquáticos cujos leitos estão preenchidos por siltes e por areias siltosas;

- bancos de areia inter-tributários, nos quais se encontram depositados sedimentos finos; e,

- barras na desembocadura dos tributários sub-aquáticos. Estas barras, constituídas por silte e areias finas em apenas 3 a 4 m de água, podem ter mais de 10 ou 20 Km de extensão. À medida que ocorre a progradação do delta as barras de desembocadura formam bancos de areia inter-tributários.

## Prodelta

O prodelta é constituído por sedimentos de rio de granulometrias finas, geralmente argila e argila siltosa ricas em matéria orgânica. Junto à desembocadura do Rio das Pérolas o prodelta possui cerca de 30 a 50 Km de largura, com sedimentos lodosos em mais de 20 ou 30 m de água. O limite exterior da área de prodelta corresponde à extensão mais espessa de lodos. Para além deste limite existem os lodos retrabalhados pelas correntes litorais e os sedimentos da plataforma (seixos e areias).

### 2.2.7 Estratigrafia de Hong Kong

Os depósitos superficiais de *offshore* do Quaternário juntos a Hong Kong depositaram-se sobre a superfície ondulada do substrato rochoso alterado. Tradicionalmente estes depósitos têm sido subdivididos numa parte basal, o aluvião (*alluvium*) e numa parte de cobertura, os depósitos marinhos (*marine deposits*).

Recentemente a estratigrafia sofreu uma revisão (Strange & Shaw,1986, *in* Shaw & Fyfe,1992), tendo sido definidas duas formações. Foi também reconhecida uma terceira formação, mais recente, estando em decurso estudos no sentido de estabelecer a sua completa extensão assim como as suas características.

Os antigos sedimentos predominantemente fluviais que representam os depósitos plistocénicos da planície deltaica acumularam-se durante o período relacionado com a descida do nível do mar e constituem a Formação Chek Lap Kok (Strange & Shaw, 1986, *in* Shaw & Fyfe,1992). Trata-se de uma formação com grandes e diversas variações litológicas, compreendendo desde areias e seixo a argilas siltosas. Os registos sísmicos explicam a complexa sedimentologia através dos sinais caóticos, complexos e pouco perceptíveis das superfícies reflectoras. Tanto a sísmica como os furos de sondagens sugerem uma formação que compreende uma série de canais tributários principais e secundários, preenchidos por depósitos, que se acumularam por acrecção lateral e vertical e, pelo desaparecimento dos canais de ambiente fluvial ou de delta.

Esta formação parece representar os sedimentos da planície deltaica, pré-Holocénicos, depositados em continuidade lateral relativamente às sub-unidades inferior e superior da Formação Zhongshan. A Oeste, onde a Formação Sham Wat se encontra subjacente à Formação Hang Hau, ela pode ser muito mais antiga e desta forma, os sedimentos laterais serem equivalentes aos sedimentos da Formação pré-Zhongshan ou apenas à sub-unidade inferior da Formação Zhongshan tal como seguidamente se discute.

Na maior parte das águas de Hong Kong a Formação Chek Lap Kok está coberta por sedimentos de delta e por sedimentos marinhos da Formação Hang Hau, (Strange & Shaw, 1986, *in* Shaw & Fyfe,1992).

Trata-se de siltes argilosos cinzentos oliveira, muito moles, depositados em águas de profundidades similares às actuais. Contêm conchas e fragmentos de conchas que aparecem espalhados pelos sedimentos, ou então, segundo bandas descontínuas. Em certas áreas, particularmente nas margens dos canais Holocénicos, os siltes argilosos são acompanhados por areias quartzosas, ligeiramente finas e cheias de conchas, do litoral e do sub-litoral.

Nas secções sísmicas a Formação Hang Hau é vista como uma série de reflectores sub-horizontais e sub-paralelos, exibindo, por vezes, acrecção superficial. A base da formação apresenta características planares mas ao longo da sequência surgem superfícies onduladas, indicadoras de erosão, que a separam das formações subjacentes. A formação, representativa da deposição costeira e do retrabalhamento dos sedimentos finos transportados em suspensão pelo Rio das Pérolas, parece ser exclusivamente Holocénica; é lateralmente equivalente às sub-unidades intermédia e superior da Formação Shunde.

A deposição, inicialmente ocorrida na zona de prodelta é acompanhada pelo avanço da frente deltaica; a frente deltaica, inicialmente recuada, avança significativamente com o rápido período de progradação do delta.

Na parte ocidental da área do *offshore* de Hong Kong foi identificada uma terceira formação intermédia, inicialmente através de registos sísmicos. Trata-se da Formação Sham Wat. Ela aparece a Norte de Lantau e compreende siltes argilosos cinzentos, moles a firmes, apresentando-se, por vezes, matizados de amarelo claro, e com fragmentos de conchas com evidentes sinais de corrosão. A Sul de Lantau, os sedimentos são possivelmente siltes arenosos muito finos, (Shaw, 1992, *in* Shaw & Fyfe,1992). Nas secções sísmicas os reflectores apresentam-se sub-paralelos à base da superfície de erosão à qual

estão sobrepostos; Estes reflectores podem representar consolidação drapeada (intercruzada) ou fenómenos associados ao preenchimento de canais. Os reflectores, que representam superfícies, são normalmente truncados pela superfície inferior da Formação Hang Hau.

A Formação Sham Wat pode ser representada por sedimentos marinhos pré-Holocénicos ou por sedimentos de delta relativos a um período de nível do mar elevado de um dos inter-estádios: ou do interglaciar Eemiano ou do Wechseliano médio. Os níveis inter-estadiais do mar dados por Bloom & outros, (1974), *in* Shaw & Fyfe, (1992), foram provavelmente demasiado baixos, mesmo para a sedimentação no delta da área de Hong Kong, podendo-se indicar a idade Eemiana. Contudo, Feng & outros, (1988), registaram uma inundação da área do actual delta do Rio das Pérolas ocorrida acerca de 28 000 anos atrás, e se assim foi, a Formação Sham Wat poderá ser lateralmente equivalente à sub-unidade intermédia da Formação Zhongshan.

## 2.3 Tectónica do Território de Macau (segundo Eurico Pereira)

### 2.3.1 Introdução

Escassas cortinas de metassedimentos alinhadas segundo E.NE-W.SW ou W-E, incluídas nos granitos, apontam com incerteza as direcções estruturais dos complexos metamórficos, anteriores à instalação dos granitos.

Depósitos recentes (terciários e quaternários ? ) terrígenos e arcósicos continentais, ou areias de duna e de praia, ocupam pequenas áreas deprimidas no conjunto do território.

Imprecisões de vária ordem, inerentes à reduzida área de observação e à frágil cronologia absoluta ou relativa destas unidades geológicas, constituem referências fragmentárias para fundamentar inferências tectónicas.

A carta tectónica da China, à escala 1:4000 000, evidencia, na região de Macau, um importante acidente tardi-varisco, com orientação E.NE-W.SW correspondente à zona de falha de Shenzhen-Wuhua (Zhang Hunan & Wu Qianhong, 1990). Tem extensão de 250 Km, largura inferior a 15 Km e regista actividade tectónica recente com sismicidade associada, relativamente fraca. Esta zona de falha é deslocada por acidentes com direcção geral NW-SE.

Em circunstâncias tão desfavoráveis, discutir-se-ão as unidades geológicas presentes e os sistemas de fracturação dúctil-frágil, ou simplesmente frágil, que afectam aquelas unidades tentando, assim, hierarquizar os episódios tectónicos.

### 2.3.2 Enquadramento do Território no Contexto Tectónico do Sul da China

A dinâmica do conjunto de fracturas analisadas demonstra que o campo de tensões vigente, entre o período de instalação dos granitóides até aos tempos actuais, sofreu ligeiras rotações de NW a N.NE, para, finalmente, retomar a orientação original NW-SE. Vejamos como enquadrar os factos observados no conjunto de movimentos, actuantes no Sul da China, durante o mesmo período de tempo.

O território da China, (figura 2.6), resulta da acrecção de diversos terrenos (Molnar & Taponnier, 1975; Jin Lu Lin & outros, 1985; Mattauer, 1986; Gaku Kimura & outros,1990; Hsu & outros, 1990). À parte os continentes marginais e as variantes de forma nos modelos preconizados, quase todos os autores admitem dois blocos: Bloco do Norte da China (B.N.C.) e Bloco do Sul da China (B.S.C.), separados pelo cinturão metamórfico de Quinling ou zona de sutura de Quinling (S.Q.). O Bloco Sul teria colidido com o Bloco Norte (Bloco Sino-Coreano), no final do Triássico (Taira & outros,1983; Sengor, 1984) ou no final do Triássico a Jurássico Médio (Jin Lu Lin & outros,1985). Esta última datação é suportada por dados paleomagnéticos.

No caso vertente, interessa considerar o Bloco Sul. Existem divergências quanto ao sentido da subducção (Gaku Kimura & outros,1990; Hsu & outros, 1990), mas os trabalhos do último grupo de autores têm sido universalmente aceites. Definiram os blocos menores de Yangsy, Huanan e Dongnanya envolvidos num complexo processo colisional que compreende as seguintes fases:

1. interacção continente-oceano, decorrente entre o Siniano e o Pérmico, há mais de 280 milhões de anos, a qual culmina com subducção para SE e desaparecimento definitivo dos oceanos menores intercalados;

2. colisão iniciada no Triássico; sucede-se deformação pós-colisional no Jurássico e desenvolvimento de complexos metamórficos de alta pressão, implantação de complexos ofiolíticos e desenvolvimento de sistemas *thrust* e *nappes*; a deformação compressiva prossegue até final do Cretácico, dado que os sedimentos mais recentes, encontrados sob mantos de carreamento, são *redbeds* do Cretácico inferior.

Esta sequência de eventos foi denominada por Hsu & outros (1990) *Cathaysian Alps ou Huananides*, para distinguir a orogenia complexa que afecta o Bloco Sul da China, da orogenia Yenshan, do mesmo período, essencialmente desenvolvida no Bloco Norte da China, conforme indicado pelo Grupo de Compilação do Mapa Geológico da China (1975).

Aqueles movimentos deram origem ao complexo tectono-metamórfico do Sul da China com direcção estrutural paralela às principais suturas, isto é, NE-SW. Foi neste complexo metamórfico e na sequência dos processos de colisão intra-continentais que se instalaram os granitóides, essencialmente, peraluminosos (Takahashi & outros, 1990; Pitcher, 1983). Através de isótopos de Sr e Sm/Nd (Hsu & outros,1990), confirma-se não só, a idade mesozóica (Jurássico - Cretácico) destes granitóides, como também, a sua origem; com efeito, não foram gerados por subducção de crosta oceânica, mas derivam de fusão de metassedimentos de uma cunha acreccionária ou de crosta continental antiga, em margem activa.

O primeiro campo de tensões NW-SE, antes definido, é, pois, resultado dos últimos incrementos das tensões orogénicas descritas.

Quanto à inversão do campo para N.NE, poderá ser consequência da colisão menor entre o Bloco Sul da China e o microcontinente da Indochina, colisão esta verificada no Cretácico como defende Gaku Kimura & outros (1990). Uma crosta continental anormalmente quente resultante da orogenia *Cathaysian*, justificaria o comportamento observado nos granitóides sujeitos a uma compressão oblíqua às estruturas.

Finalmente, o retorno às compressões NW-SE encontram explicação plausível nos mecanismos de indentação plástica definidos para o orógeno Himalaiano por Molnar &

Tapponnier (1975). Estes movimentos, precedidos por períodos distensivos que deram lugar à formação de *rifts* e *grabens* no Leste da China no início do Terciário, tornam-se essencialmente compressivos, associados a grandes desligamentos, entre o Eoceno e os tempos actuais.

Enquanto se verifica a convergência para Norte da Placa Indiana, em colisão com a Eurásia, o Bloco Sul da China sofreu deslocação da ordem dos milhares de Km para SE, enquadrado por grandes desligamentos (Mattauer, 1986; Maxingyuan & Daning, 1987). Existe assimetria na indentação, dada a mais fácil deslocação dos blocos estáveis da Eurásia no sentido Leste do que no sentido Oeste. Este facto deve-se à maior resistência às deslocações laterais verificadas na litosfera rígida da Eurásia relativamente à menor resistência nas zonas de subducção do Pacífico Ocidental.

É sabido que o amortecimento lateral dos grandes desligamentos propicia fenómenos distensivos. Compressões e distensões de rumo NW-SE, alternam no quadro tectónico recente do Sul da China, combinando-se com idênticos episódios (Laurent Jolivet & outros, 1989) desenvolvidos nas margens da Placa Oceânica Pacífica.

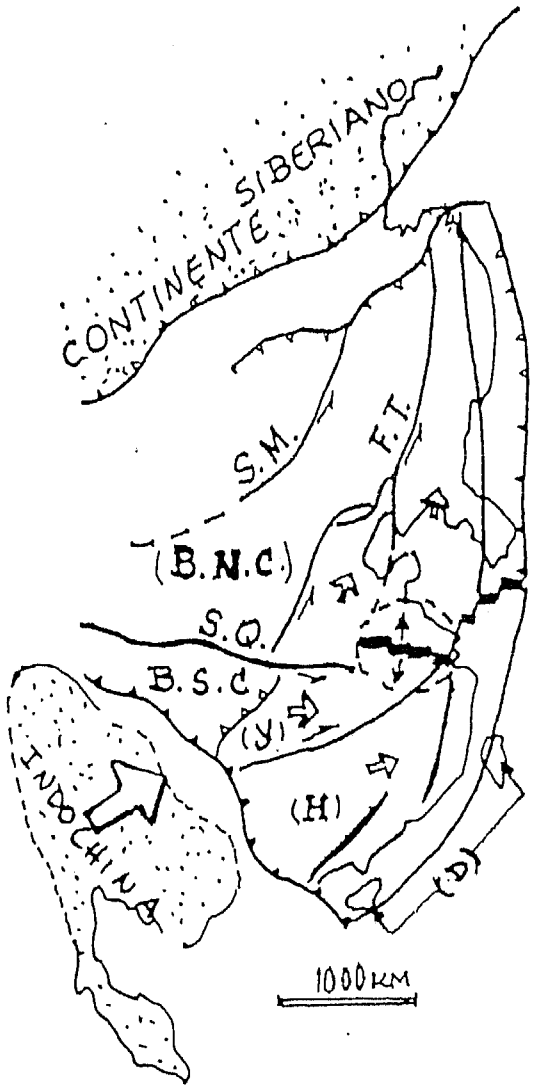



Figura 2.6 - Tectónica de colisão-extrusão no Leste da Ásia - situação no Cretácico Inferior.

S.M. - Sutura Mongólica; F.T. - Falhas; S.Q. - Zona de Sutura de Quinling entre: B.N.C. - Bloco do Norte da China e B.S.C. - Bloco do Sul da China; (Y)-Bloco Yangsy; (H) - Bloco Huanan; (D) - Bloco Dongnanya.

(Segundo Gaku Kimura & outros, 1990, modificado, *in* Eurico Pereira, 1992).

### 2.3.3 Sistemas de Fracturação

A detecção dos grandes episódios tectónicos efectua-se, normalmente, por processos indirectos, magmáticos, metamórficos ou sedimentológicos, enquanto os sistemas menores de fracturação se definem por via directa dado serem materializados por enchimento de quartzo, esmagamento de rochas ou truncatura de estruturas anteriores.

No caso em questão, a fracturação intensa de Macau e ilhas foi analisada factualmente com recurso esporádico a processos dedutivos. As referências necessárias à elaboração deste estudo foram os granitóides e as fácies ligadas à actividade magmática tardia, tais como, microgranitos, aplitos, pegmatitos e quartzo. Estas fácies instalaram-se em fracturas herdadas que mostram relação imediata com o campo de tensões vigente à época de instalação dos maciços graníticos o qual, de certa forma, comandou a implantação dos mesmos maciços e, bem como, o período imediato ao seu arrefecimento.

Da grande densidade e diversidade de fracturas observáveis em Macau e ilhas, diferenciam-se, claramente, dois sistemas preponderantes (figura 2.7): um de direcção E.NE-W.SW a NE-SW e outro, NW-SE.

O primeiro sistema é concordante com a orientação das estruturas do Sul da China e, em particular, com a zona da falha de Shenzhen-Wuhua. Pode ter controlado a instalação dos granitóides e rejogado, posteriormente, até aos tempos actuais; tal facto, implica constância de actividade tectónica, embora relativamente fraca no período geológico recente (Zhang Hunan & Wu Qianhong, 1990). Encontra-se bem evidenciado na península de Macau, designadamente na Guia, Barra e Fortaleza; destaca-se na Taipa Pequena e na zona centro-oriental de Coloane. Mostra, regra geral, importante enchimento de quartzo brechóide, denunciador de movimentação plurifaseada. Frequentemente, as fracturas de direcção E.NE-W.SW encontram-se rodadas para E-W por influência dos desligamentos dextros NW-SE.

O segundo sistema está bem impresso nos granitóides de todo o Território. No território de Macau, importantes falhas com esta orientação cortam o Monte da Guia na área do túnel e Reservatório de Água; definem a orientação de Mong Ha e atravessam a Ilha Verde. Na Ilha da Taipa, o sistema está materializado pela importante estrutura falhada entre a Ponte de Pac On e a pedreira do extremo Sul da Taipa Grande; adquire, ainda, particular significado no extremo SE da ilha, em frente do ilhéu Kai Kiong, onde a deformação se torna semi-dúctil ao longo de uma faixa de espessura métrica. Finalmente, em Coloane, inúmeras fracturas subordinadas à direcção de referência, por vezes, com enchimento brechóide, marcam a fisiografia da zona central e oriental da ilha.

Os restantes sistemas, com dispersão por todos os quadrantes, correspondem a fracturas de segunda ordem originadas pelo rejogo dos acidentes principais e, perfeitamente, enquadradas no clássico esquema de Tchalenko ou em outros de concepção mais moderna (Gamond, 1987, Petit, 1987), de idênticos resultados. Entre estas são comuns as direcções: NE-SW; N-S a N.NE-S.SW; E-W e NW-SE.

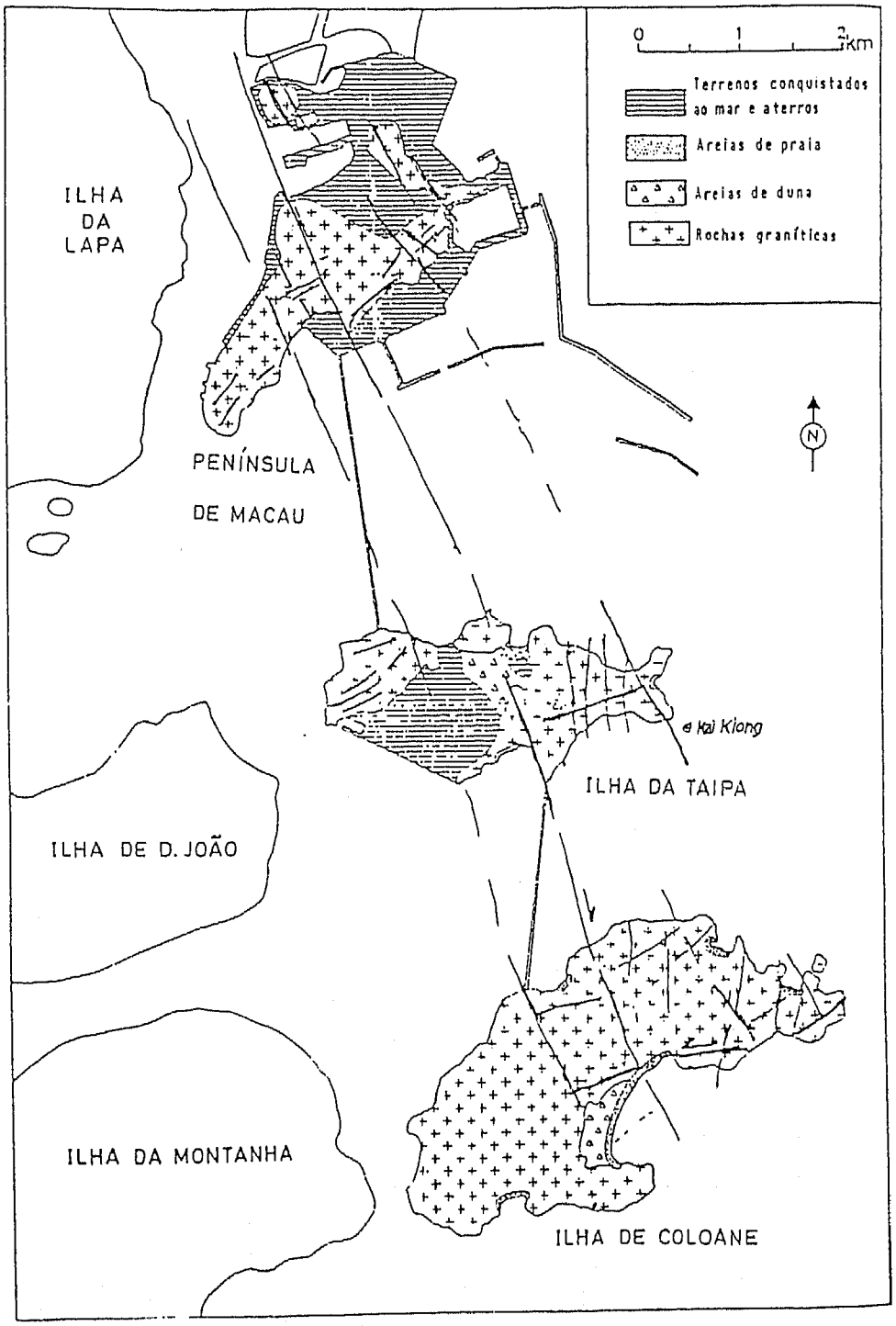



Figura 2.7 - Sistemas principais de fracturação (*in* Eurico Pereira, 1992).

### 2.3.4 Neotectónica

Como foi referido, observam-se dois sistemas de fracturas importantes no território de Macau e ilhas: um, com orientação E.NE-W.SW, correspondente à zona de falha de Shenzhen-Wuhua (Zhang Hunan & Wu Qianhong, 1990) e outro, com orientação NW-SE que desloca o anterior.

Segundo estes autores, o acidente de Shenzhen-Wuhua tem grande extensão e largura inferior a 15 Km. Denota actividade tectónica recente e sísmica, relativamente fraca, embora tenha ocorrido um sismo de 5 1/2, na região de Macau, a 12 de Agosto de 1905.

Esta zona de falha esteve sujeita a um regime compressivo que, posteriormente ao período pós-Yenshan, se transformou em distensivo. No final da orogenia Yenshan e durante a orogenia Himalaiana (Terciário e Quaternário) continuou a rejogar como um sistema de fracturas frágeis, alternadamente, como falha normal ou inversa, dependente do campo de tensões distensivo ou compressivo. Atribui-se-lhe actividade tectónica menor, no período geológico recente.

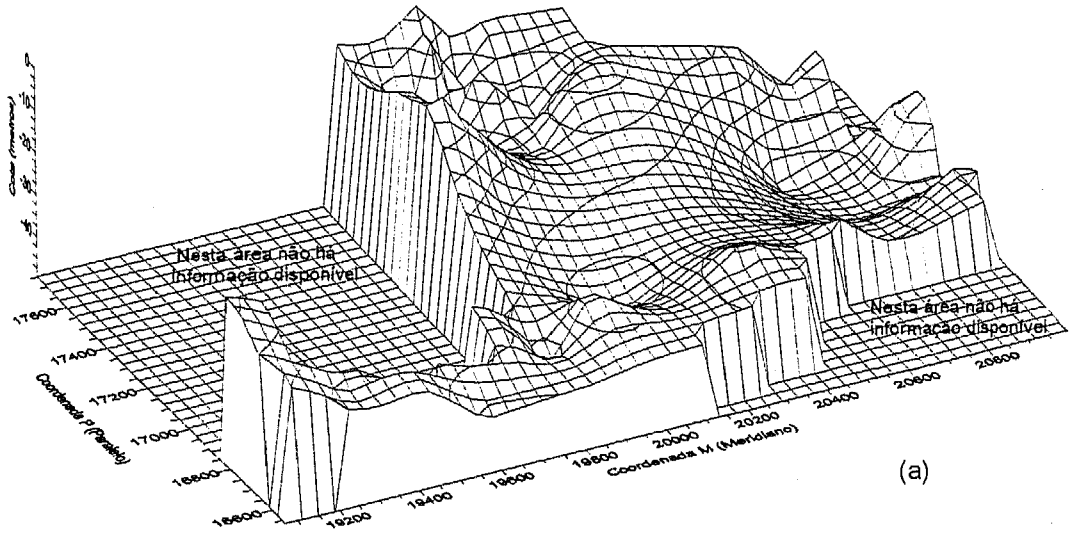
Todavia, a actividade da zona de falha aumenta de NW para SW, implicando o crescimento da falha para SW; o campo de tensões actuante sobre a falha, actualmente, tem compressão máxima segundo N.NW.

## 2.4 Relações Entre os Sistemas Principais de Fracturação e o Andamento do *Bedrock*

Na figura 2.8, gerada no *software* denominado *Surfer for Windows*, versão 5.02, encontra-se o andamento do *bedrock* geotécnico[1]. O *bedrock* geotécnico é constituído pela formação granítica onde, a partir de determinada profundidade, se passa a obter para o parâmetro N, número de pancadas obtido no ensaio *Standard Penetration Test* (SPT), um valor igual ou superior a 100; N = 100 corresponde ao valor limite da 2ª fase do ensaio estipulado pela norma A.S.T.M. 1586-64T.

As depressões visíveis naquela figura apresentam orientações aproximadas às das fracturas indicadas nos sistemas principais de fracturação. As zonas mais alteradas da formação litológica designada por "Granitos Decompostos," visíveis nos perfis geológicos da figura 2.9, coincidem com a maior espessura de alteração e estão relacionadas com as maiores depressões do *bedrock* geotécnico.

[1] Também foi detectado um falso *bedrock* que corresponde ao molhe de acostagem e aos calhaus, ou blocos de rocha, que se encontram intercalados em litologias com resistência mais baixa à penetração mecânica.



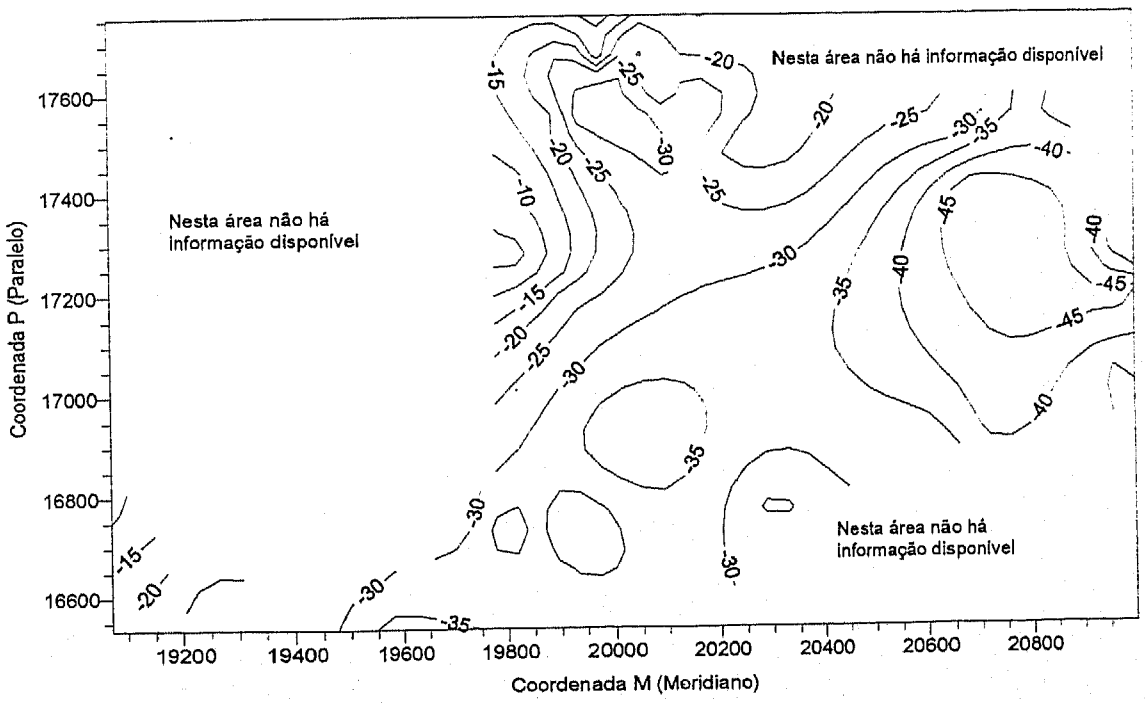
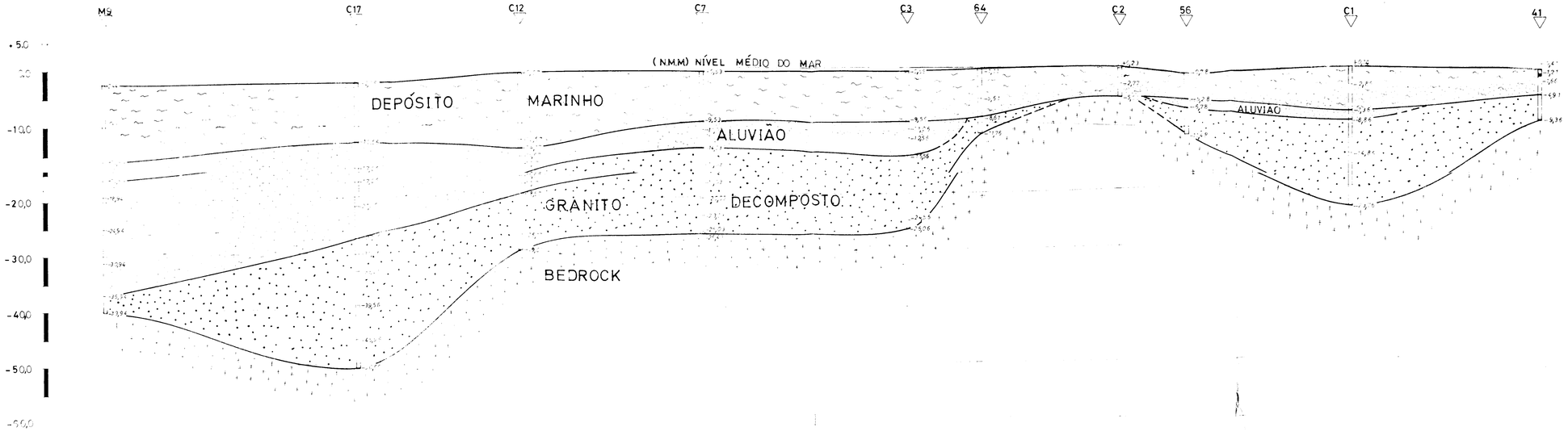
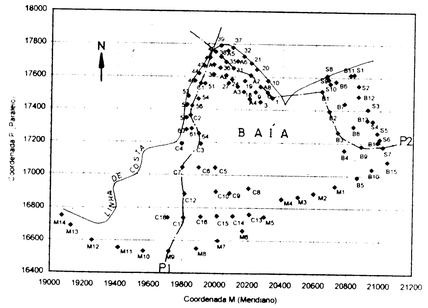




Figura 2.8 - (a): Modelo Digital do Terreno com N(SPT) maior ou igual a 100 (penetração completa e/ou incompleta do amostrador Terzaghi);

(b): Curvas de nível da superfície do bedrock geotécnico.

PERFIL 1

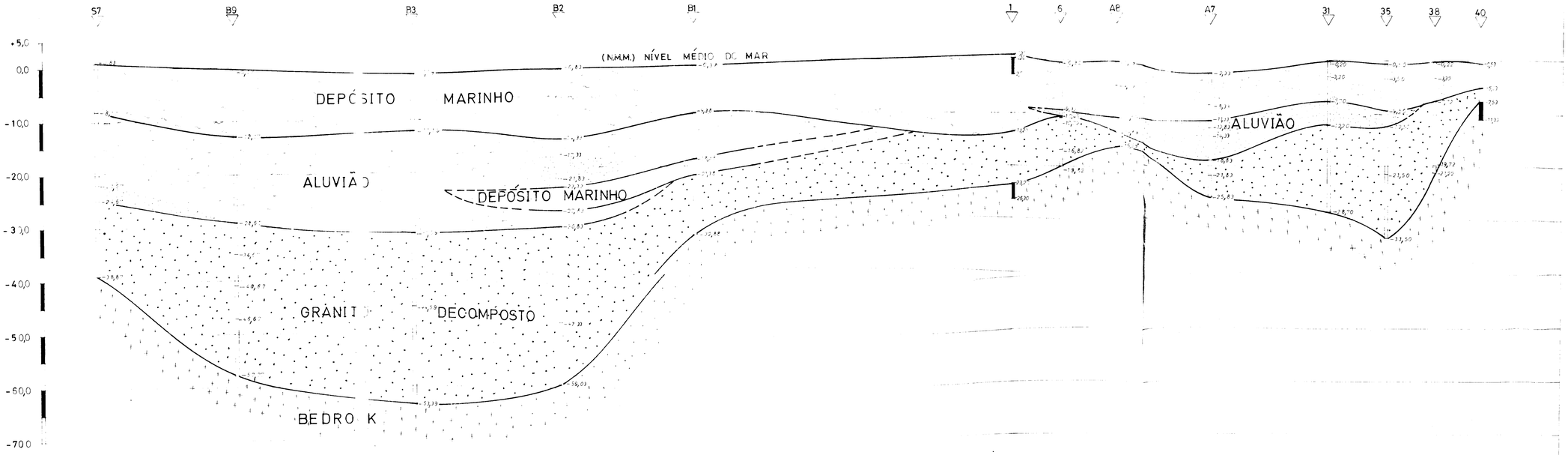



BAIA DA PRAIA GRANDE

(MACAU)

PERFIL 2




PERFIS GEOLÓGICOS - P1, P2

LEGENDA

- DEPÓSITO MARINHO
- ALUVIÃO
- GRANITO DECOMPOSTO
- BEDROCK

ESCALA

V - 1:400

H - 1:2000

FIGURA 2.9

# CAPÍTULO 3. Geologia e Geomorfologia da Baía da Praia Grande.

# 3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BAÍA DA PRAIA GRANDE.

## 3.1 Introdução

Neste capítulo, após tradução da informação contida nos *data sheets* relativos a cada um dos *logs* das sondagens geológicas (sondagens de furação mecânica, verticais) acompanhadas de ensaios SPT (*Standard Penetration Test*), efectuadas nas duas campanhas de reconhecimento geotécnico, descreveram-se e caracterizaram-se quatro formações lito-estratigraficas atravessadas. Possivelmente correspondem a quatro unidades geotécnicas, cujas designações genéricas são: aterro (*Backfill Soil*), depósito marinho (*Marine Deposit*), aluvião (*Alluvium*) e granito decomposto (*C.D.G.- Completely Decomposed Granite*).

O tratamento desta informação iniciou-se com a elaboração de um ficheiro constituído por 97 *logs* simplificados que podem ser consultados no anexo A desta dissertação. Cada um dos *logs*, referenciado pela sondagem a que pertence e respectiva cota da boca do furo (localização exacta dada pelas coordenadas M, meridiano, e P, paralelo), possui o registo do número de pancadas dos ensaios executados às diferentes profundidades (cotas referenciadas ao *MCD - Macau Chart Datum*) e a descrição das unidades lito-estratigráficas sondadas.

## 3.2 Granitos: Granitos Decompostos (*C.D.G.*)

Segundo Eurico Pereira, (1992), os trabalhos de campo para a elaboração da carta geológica de Macau permitiram discriminar quatro fácies de rochas granitóides a que se associam filões felsíticos, micrograníticos e um conjunto de rochas aplíticas e pegmatíticas ligadas às fases tardias de evolução e implantação dos granitóides. Preenchendo fracturas de diferentes direcções, encontram-se outros tipos de rochas intermédias-básicas, em regra, afaníticas ou porfíricas.

Os granitos são, sem dúvida, as mais antigas rochas conhecidas no Território.

De acordo com Allen & Stephens, (1971), *in* Bennett, (1984), o episódio intrusivo atribuído à actividade magmática calco-alcalina ter-se-á processado em quatro fases localizadas no final do Jurássico. A datação radiométrica referida por estes autores aponta para idades da actividade intrusiva entre 163±35 a 140±7 milhões de anos (Jurássico Médio até final do Jurássico ou até Cretácico inicial).

Silva & Almeida, (1986), *in* Fonseca Marques, (1988), e de acordo com os trabalhos daqueles autores, referem que dada a perfeita identidade dos tipos petrográficos e da composição química das rochas de Macau e de Hong Kong, não resta outra hipótese que aceitar e adoptar para o território as mesmas idades apresentadas para Hong Kong. Desta forma, atribuem-se os granitos de Macau ao Jurássico Superior.

Na zona da Baía da Praia Grande, os granitos constituintes do substrato rochoso apresentam profunda alteração, evidente nos dados obtidos em numerosas sondagens localizadas nesta região.

A profunda alteração dos granitos é um fenómeno presente à escala regional, tendo sido bem estudado em Hong Kong. Nesta colónia britânica é aceite um perfil de alteração dos granitos que compreende, quando completo, as unidades esquematizadas na figura 3.1, representando-se do lado direito da mesma, a ferruginação no interior dos blocos.

| DESCRIÇÃO SUMÁRIA | PERCENTAGEM DE BLOCOS | ESPESSURA (METROS) | ZONA |
|---|---|---|---|
| Argila arenosa ou areia argilosa sem estrutura | 0% | 1 a 25 | I |
| Areia siltosa com estrutura original do granito com blocos isolados, arredondados | 50% | até 60 | II |
| Blocos paralelipipédicos separados por areia siltosa | 50% a 90% | 7 a 17 | III |
| Granito decomposto ao longo das diaclases mais importantes, ferruginação frequente | 90% | 3 a 30 | IV |

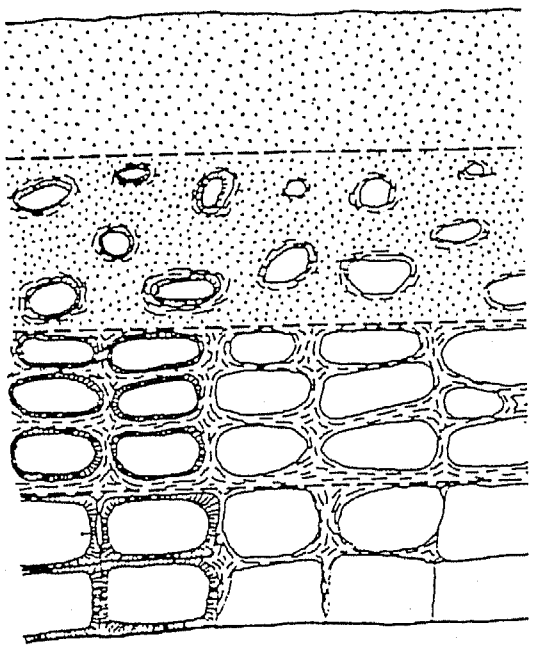


Figura 3.1 – Zonamento de um perfil de alteração de granito em Hong Kong. (Adaptado de Ruxton e Berry, (1957), *in* Fonseca Marques, (1988).

Na zona em estudo, as sondagens das duas campanhas de prospecção geotécnica fornecem espessuras de alteração muito variáveis, entre alguns metros (sondagens 40, A1, A5, A6, A8, C13) e cerca de 33 metros, pois, a maioria dos *logs* das sondagens registam a profundidade final para a qual foi encontrada rocha; à excepção das sondagens C2, C4, C16

e M13, da campanha de 1990, em todas as outras foram detectadas espessuras de alteração; em C16, o aluvião assenta sobre o substrato granítico e em C2, C4 e M13 é o depósito marinho que assenta sobre a rocha.

As sondagens geológicas evidenciam uma zona de alteração designada genericamente por *C.D.G.* (*completely decomposed granite*). Nesta designação aparecem registos de valores do número de pancadas do ensaio SPT baixos até valores com penetração incompleta.

Na campanha de 1992, contrariamente ao que se encontra registado da campanha de 1990 onde os *logs* destas sondagens apenas registam a formação litológica dos granitos decompostos, as sondagens apresentam uma zona de alteração composta essencialmente por rocha correspondente ao estado de alteração $W_5$ (*completely decomposed*) e, numa proporção muito inferior, aos estados $W_2$ (*slightly decomposed*) e $W_3$ (*moderately decomposed*). A ocorrência de rocha do estado de alteração $W_3$ é relativamente rara e, quando ocorre, a sua espessura não ultrapassa normalmente os 3 metros.

Existe um conjunto significativo de sondagens desta campanha de 1992 que, por terem sido concluídas na zona do estado de alteração $W_5$ (granito decomposto), não apresenta registos de outro tipo de estado de alteração do granito nem da profundidade a que se encontra o *bedrock*, o que inviabiliza qualquer conhecimento relativo ao estado de alteração das litologias compreendidas entre o granito decomposto, ($W_5$), e o granito são.

Surgem, por vezes, ao longo do perfil de alteração do granito evidenciado pelas duas campanhas, blocos (*corestones*) de rocha menos alterada, possivelmente do estado de alteração $W_2$, intercalados no granito decomposto[1]. A transição entre a zona alterada e a rocha sã é quase sempre brusca, passando-se geralmente de rocha do estado de alteração $W_5$ directamente para os estados $W_2$ ou $W_1$ (*fresh*).

[1] Trata-se de um falso *bedrock*.

Além de granitos em diferentes estados de alteração foram também detectadas, nas sondagens 6, 27 e 44, rochas filoneanas associadas aos granitos (aplitos graníticos), com espessuras aproximadas respectivamente de 6, 1.5 e 0.2 metros.

Todavia, e sem negligenciar a discutível qualidade da informação disponível nos *logs* das sondagens, as observações desses registos sugerem duas subdivisões principais para o substrato granítico:

- granito decomposto (*completely decomposed*) e possivelmente muito alterado (estado de alteração $W_5$); complexo granítico atravessado pela maior parte das sondagens.

- granito medianamente alterado (estado de alteração $W_3$), pouco alterado e são (estados de alteração $W_2$ e $W_1$); complexo atravessado por um número restrito de sondagens (somente 17 das 97 sondagens coligidas é que apresentam outros estados de alteração para o complexo granítico).

Facilmente se compreende que os dois complexos atrás definidos apresentam características mecânicas distintas. Nesta dissertação apenas são considerados, para o complexo de granitos decompostos a muito alterados, os dados resultantes de ensaios *in situ* e de laboratório característicos do estudo de solos.

## 3.3 Solos Residuais e Coluviões (?)

As informações obtidas das sondagens realizadas na zona da Baía da Praia Grande (área imersa), sugerem a existência de uma cobertura irregular de solos residuais e talvez coluviões indiferenciados sobre o substrato granítico. Estes dois tipos de formações correspondem a rochas graníticas alteradas.

A interpretação dos registos dos *logs* das sondagens sugere que, solos residuais e coluviões se encontram englobados nas designações genéricas: aluvião (*alluvium*) e/ou granito decomposto (*completely decomposed granite*), assentando directamente sobre o substrato granítico mais ou menos alterado.

A bibliografia refere que são habitualmente constituídos por areias siltosas e siltes arenosos em geral conglomeráticos, de cores variadas, amarelo-acastanhados, cor-de-rosa, avermelhados, alaranjados e acinzentados, sendo o seixo constituído por quartzo. Fonseca Marques (1988), afirma que a granulometria destes solos deverá ser semelhante à dos granitos decompostos, possivelmente com percentagem de finos um pouco inferior devido à lixiviação. Alguns dos registos das sondagens possuem, para o topo da formação dos granitos decompostos, valores do número de pancadas do ensaio SPT inferiores aos da formação aluvião cuja base, possivelmente, corresponderá, em algumas sondagens, à formação dos solos residuais e coluviões.

Observando o perfil geral de alteração dos granitos em Hong Kong (figura 3.1), verifica-se que a zona I corresponde a um solo residual cuja evolução se processou sem transporte significativo e onde já foi destruída a estrutura da rocha que lhe deu origem.

Em Hong Kong, grande parte da alteração do substrato granítico é anterior à deposição dos *Lower Alluvial Deposits* ou seja, mais de 40 000 anos, (Fonseca Marques, 1988).

Quanto aos depósitos coluvionares, Lai & Taylor, (1984), *in* Fonseca Marques, (1988), baseados no grau de alteração dos blocos de granito incluídos nestes depósitos, consideram a existência de três unidades distintas:

- a mais recente, holocénica, correspondente ao *New Collovium* de Liu & Gammon, (1984);

- a intermédia, provavelmente do Plistocénico Superior;

- a mais antiga, atribuída ao Plistocénico Médio ou Inferior, correspondente ao *Old Colluvium* de Liu & Gammon.

À semelhança do que sucede em Hong Kong, talvez grande parte da alteração dos granitos ter-se-á processado até ao Plistocénico Superior podendo eventualmente ter-se iniciado no final do Plistocénico.

## 3.4 Aluviões (Plistocénicas)

Sob esta designação engloba-se um conjunto complexo de depósitos sedimentares, que constituem a parte inferior do enchimento das depressões do substrato granítico, mais ou menos alterado, situadas sempre abaixo do actual nível do mar. Estes depósitos encontram-se cobertos por sedimentos fluvio-marinhos holocénicos.

Trata-se de depósitos muito heterogéneos, com grande variabilidade tanto vertical como horizontal, formados, pelo menos em parte, em ambiente fluvial, quando o nível do mar se situava bastante abaixo da sua actual posição. Nas sondagens realizadas na zona da Baía da Praia Grande o topo desta formação ocorre a profundidades variáveis, desde a cota -0.57 metros, (sondagem 55), até cotas superiores a -30 metros, (sondagens B5 e M9).

De acordo com as informações disponíveis nos *logs* das sondagens, estes depósitos assentam sobre solos residuais ou directamente sobre o substrato granítico, em geral profundamente alterado; este complexo é constituído por solos argilosos (que variam entre moles a muito duros, predominando os solos duros) e por solos arenosos (que variam entre soltos a compactos, predominando, com grande representatividade, os solos medianamente compactos).

As aluviões são essencialmente constituídas por argilas, argilas arenosas, siltes argilo-arenosos, areias siltosas e areias silto-argilosas, por vezes, conglomeráticas, de cores muito variadas: avermelhadas, amareladas, cinzento-claras, por vezes brancas, cor-de-rosa e cinzento escuras a negras. As cores mais frequentes parecem ser o vermelho, o amarelo, o cinzento-claro, o amarelo acinzentado e o amarelo pálido; esta diversidade cromática é indicadora da origem aluvial dos sedimentos e da sua deposição em ambiente oxidante. São ainda frequentes nas argilas bolsadas siltosas.

Em Hong Kong, a sequência de depósitos quaternários mais completa que ocorre abaixo do nível actual do mar encontra-se referida no quadro 3.1.

| FORMAÇÃO | IDADE POSSÍVEL |
|---|---|
| *Upper Marine* | < 8 000 anos (período pós-glaciar) Holocénico |
| *Upper Alluvium* | 8 000 - 33 400 anos (último período glaciário) |
| *Lower Marine* | 28 000 - 30 000 anos (?) (último período interglaciário) |
| *Lower Alluvium* | > 33 400 anos (penúltimo período glaciário) |
| Solo residual e *bedrock* alterado | (antepenúltimo período glaciário) |

Quadro 3.1 – Idades possíveis para os depósitos superficiais do fundo do mar de Hong Kong (Adaptado de Yim, 1983a, e Yim & Li, 1983, *in* Bennett, 1984).

Várias sondagens apresentam níveis de sedimentos marinhos ou fluvio-marinhos intercalados no conjunto aluvial (sondagens B2, B6, B7, B10, B11, B12, B15, C5, C9, C12, C13, C14, M1, M2, M3, M4, M6, M8). Esta zona intermédia intercalada compreende, no essencial, argilas cinzentas escuras, firmes, com espessuras de 1.5 e 3 metros; nas sondagens C13 e C14 estas intercalações compreendem, respectivamente, silte arenoso (areia de grão fino) amarelo e cinzento, com muitos fragmentos de conchas, medianamente compacto, e areia grossa argilosa, cinzenta escura, medianamente compacta, tendo as duas intercalações 1.5 metros de espessura.

As sondagens B7, B11, C13, M3 e M8 possuem um nível de sedimentos marinhos na base do aluvião, constituído, respectivamente, por: argila arenosa (areia de grão médio) cinzenta escura, firme, com uma espessura de 4.5 metros; argila siltosa, cinzenta escura, firme, com uma espessura de 3 metros; areia média cinzenta acastanhada, compacta, com uma espessura de 6 metros; argila cinzenta escura, com rara areia grossa, firme, com uma espessura de 6 metros; areia média silto-argilosa, cinzenta escura, compacta, com uma espessura de 4.5 metros.

Dada a correlação com idênticas formações existentes em Hong Kong, as aluviões plistocénicas deverão ter mais de 8 000 anos (*Upper Alluvium*), podendo o seu limite inferior (*Lower Alluvium*), ultrapassar 33 400 anos (Yim & Li, 1983, *in* Fonseca Marques, 1988), ou seja, Plistocénico Superior.

## 3.5 Sedimentos Marinhos (ou Fluvio-Marinhos Holocénicos)

Os sedimentos com a designação genérica de depósitos marinhos (*Marine Deposit*) constituem essencialmente a parte superior da cobertura sedimentar que envolve a área granítica; na figura 3.2 pode visualizar-se a batimetria e o modelo digital do terreno do fundo marinho da Baía da Praia Grande.

Esta formação é constituída essencialmente por sedimentos finos, silto-argilosos, de cores escuras, resultantes da deposição de materiais carreados em grande parte pelo Rio das Pérolas.

Como o Território está actualmente sujeito ao ambiente de sedimentação de carácter misto, denominado fluvio-marinho, (Costa & Sousa, 1964, *in* Fonseca Marques, 1988), a designação genérica de depósitos marinhos, que surge nos *logs* das sondagens da zona da Baía da Praia Grande, parece corresponder aos sedimentos fluvio-marinhos holocénicos referenciados por Fonseca Marques, (1988).

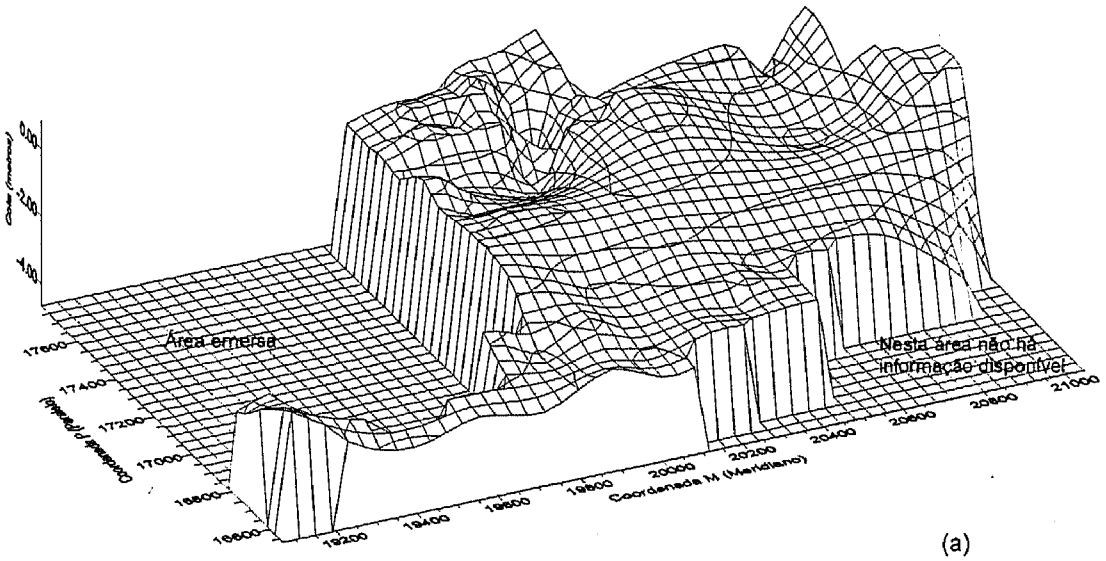
Esta unidade assenta sobre as aluviões plistocénicas e nas sondagens 1, 10, 21, 37, 40, 43, 44, 51, 38, 39, 41, 46, 57, 60, 61, 64, A1, A5, C2, C4 e M13, directamente sobre o substrato granítico mais ou menos alterado.

Nas áreas emersas conquistadas ao mar, estes depósitos encontram-se parcialmente cobertos por aterros, como sucede nas sondagens B12 e B14, onde foi detectada a sua presença.

A espessura desta unidade, reconhecida pelas sondagens, é variável, podendo atingir 13 metros (sondagens 2, 6, M11 e M13). A sequência compreende argila cinzenta acastanhada e cinzenta escura com fragmentos de conchas e areia fina, média e grossa, argilosa, amarela, amarela pálida, amarela acinzentada, cinzenta acastanhada e cinzenta escura, com e sem conchas e fragmentos de conchas.

À semelhança das formações de Hong Kong, correlacionáveis com os sedimentos fluvio-marinhos ou marinhos holocénicos de Macau, os sedimentos da Baía da Praia Grande deverão ter idade inferior a 8 000 anos (*Upper Marine*). Quanto ao nível ou níveis fluvio-

marinhos ou marinhos, intercalados nas aluviões plistocénicas (*Lower Marine*) estes poderão ter idade compreendida entre 28 000 e 30 000 anos, tal como propôs Colhoun *in* Yim & Li, (1983), *in* Fonseca Marques, (1988), para a provável existência deste nível intercalado nas aluviões plistocénicas na Taipa e Coloane.



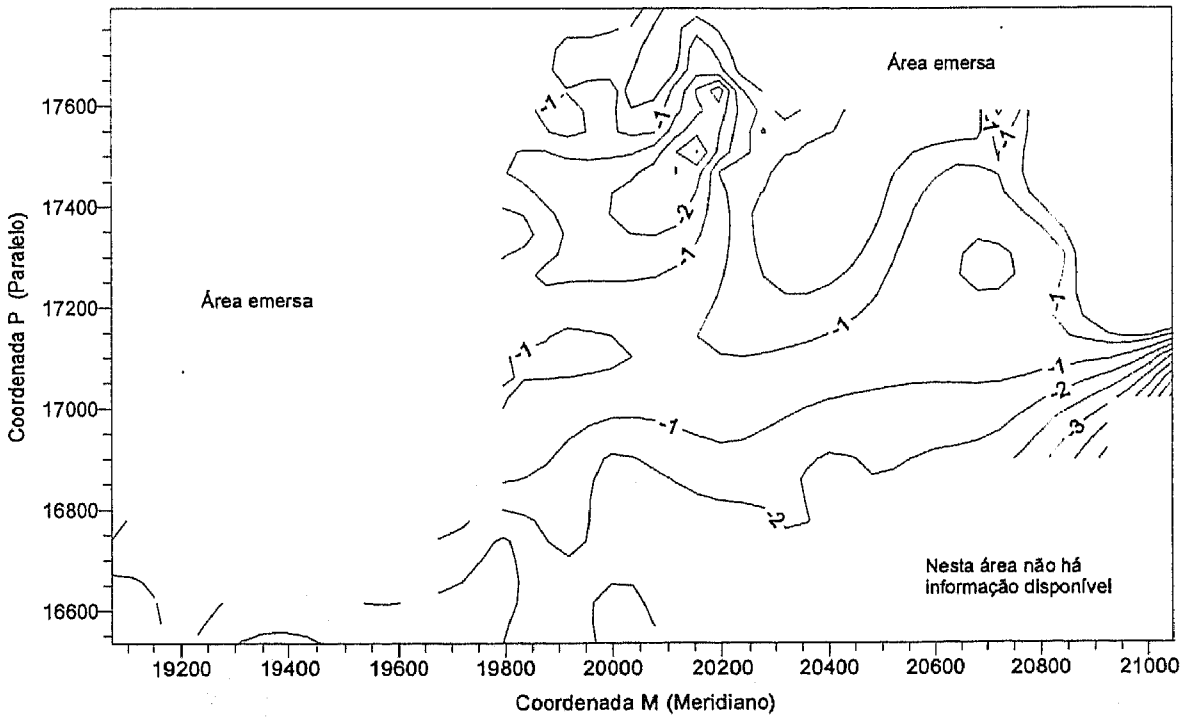




Figura 3.2 - (a): Modelo Digital do Terreno do Fundo Marinho da Baía da Praia Grande;
(b): Batimetria da Baía da Praia Grande.

## 3.6 Aterros

Ocupam importante extensão de terreno no Território correspondendo a zonas conquistadas ao mar.

Assentam, em grande parte, sobre sedimentos marinhos holocénicos e, em menor extensão, sobre o substrato granítico geralmente muito alterado. Trata-se de depósitos muito heterogéneos: materiais dragados do mar, areias de praia importadas da China, solos residuais (areias silto-argilosas) e até lixos da cidade. São materiais, geralmente, com baixas características de resistência que variam com o tipo de material (solo) utilizado na sua execução e com a idade do próprio aterro. Apenas duas das sondagens coligidas (B12 e B14), atravessaram esta formação que assenta sobre sedimentos marinhos holocénicos.

# CAPÍTULO 4. Apresentação e Crítica dos Dados Coligidos. Dados de Campo.

# 4. APRESENTAÇÃO E CRÍTICA DOS DADOS COLIGIDOS. DADOS DE CAMPO.

## 4.1 Generalidades

Neste capítulo, optou-se por apresentar e discutir apenas os dados referentes aos ensaios executados *in situ*; este procedimento, também aplicado aos ensaios de laboratório, encontra-se completado no capítulo 5.

Sai do âmbito deste documento apresentar descrições exaustivas e especificações quer dos ensaios *in situ* quer dos ensaios de laboratório executados no âmbito da prospecção geotécnica na região em estudo. Comentar-se-á, apenas sumariamente, cada um deles.

A caracterização e o tratamento dos dados geotécnicos das formações que ocorrem na Baía da Praia Grande (área imersa), basearam-se nas informações contidas nos relatórios das entidades que os produziram; são provenientes de sondagens e ensaios *in situ*, completados por ensaios de laboratório, e foram registados em ficheiros sob a forma mais próxima possível dos registos: boletins de análise e *data sheets*.

A primeira campanha de sondagens geológicas acompanhadas de ensaios SPT (do inglês *Standard Penetration Test*), subempreitada realizada em 1990, e adjudicada à empresa Ngai Shun Engineering Co. Lda. pela Sociedade de Empreendimentos Nam Van, S.A.R.L., foi completada com ensaios *in situ* e ensaios de laboratório requisitados pela entidade Ngai Shun Engineering Co. Lda. ao Departamento de Geotecnia do Laboratório de Engenharia Civil de Macau (LECM). No relatório do LECM ( Proc. nº DGEODOT/88060)

consta a justificação da selecção de um conjunto de amostras, com base no Módulo Granulométrico e na representatividade das amostras em função da respectiva profundidade, sobre o qual se efectuaram ensaios de consolidação e de resistência ao corte (ensaios triaxiais).

A segunda campanha de sondagens geológicas, realizada em 1992 em duas fases, acompanhadas de ensaios SPT, foi efectuada pela empresa Ngai Shun Engineering Co. Lda., com supervisão de Construções Técnicas, S.A., Sucursal de Macau.

Os ensaios de corte *Vane Test*, e os ensaios de penetração estática, CPT, foram realizados pelo LECM.

Para finalizar convém esclarecer o significado de certos vocábulos frequentemente empregues nesta dissertação. Com efeito, transcrevem-se alguns termos do vocabulário de prospecção geotécnica de terrenos que consta da especificação L.N.E.C. E - 219, 1968:

Reconhecimento (*preliminary surface examination*) - exame preliminar do terreno e das condições locais, para determinado fim.

Prospecção geotécnica (*geotechnical prospecting*) - conjunto de operações realizadas no local da futura obra, visando a determinação da natureza e características do terreno, sua disposição e acidentes com interesse para essa obra.

Sondagem (*prospecting by borings or trial pits*) - operação destinada a reconhecer, em profundidade, e a partir da superfície, a natureza e as características ou acidentes das formações geológicas.

Terreno (ground) - porção da crosta terrestre, quer se trate de um solo, quer de uma rocha.

## 4.2 Apresentação e Crítica dos Dados Geotécnicos

A informação consultada nos relatórios emitidos pelas entidades anteriormente referidas é proveniente de:

1. duas campanhas de sondagens geológicas, acompanhadas de ensaios *in situ* de penetração dinâmica, SPT (do inglês *Standard Penetration Test*);

2. ensaios *in situ* ou de campo:

- penetração estática, CPT (do inglês *Cone Penetration Test)*
- corte rotativo ou de molinete, também conhecidos pela designação inglesa *Vane Test*.

3. ensaios laboratoriais realizados em amostras de solo (análise granulométrica; teor em água, peso volúmico; limites de Atterberg; ensaios de consolidação; ensaios triaxiais).

### 4.2.1 Ensaios *in situ*

#### 4.2.1.1 Ensaio de Penetração Dinâmica, SPT (*Standard Penetration Test*)

Este ensaio é largamente utilizado por ser de fácil e prática execução durante a realização de sondagens. É um ensaio que dá indicações qualitativas (e quantitativas de aproximação grosseira) sobre a compacidade de areias e a resistência e consistência de argilas. Refere-se o particular cuidado em obedecer às especificações e recomendações, sobretudo no que respeita a: peso do pilão, altura de queda e limpeza do furo, aspectos muitas vezes negligenciados. Já que o ensaio é considerado como um método de amostragem percursiva, sendo retirada a amostra para ser geologica e geotecnicamente caracterizada, fornecendo informação vital com pouco esforço adicional, ele deverá ser considerado como um ensaio de amostragem e não, somente, como um ensaio de determinação da resistência mecânica dos solos.

Tal como se referiu no capítulo anterior, estes ensaios acompanharam 97 sondagens de furação mecânica, verticais, com localização exacta dada pelas coordenadas M, meridiano, e P, paralelo, (figura 4.1) e pela cota da boca dos furos, referenciada ao *MCD* (*Macau Chart Datum*): 1.80 metros abaixo do nível médio do mar.

Constituem o maior volume de informação, 1210 ensaios. Na 1ª campanha foram executados 582 ensaios; foi obtida penetração completa do amostrador Terzaghi em 522 destes ensaios e penetração incompleta nos restantes 60. Na 2ª campanha foram executados 628 ensaios; 583 com penetração completa do amostrador e 45 com penetração incompleta.

O ensaio encontra-se parcialmente normalizado pela norma A.S.T.M. 1586-64T.

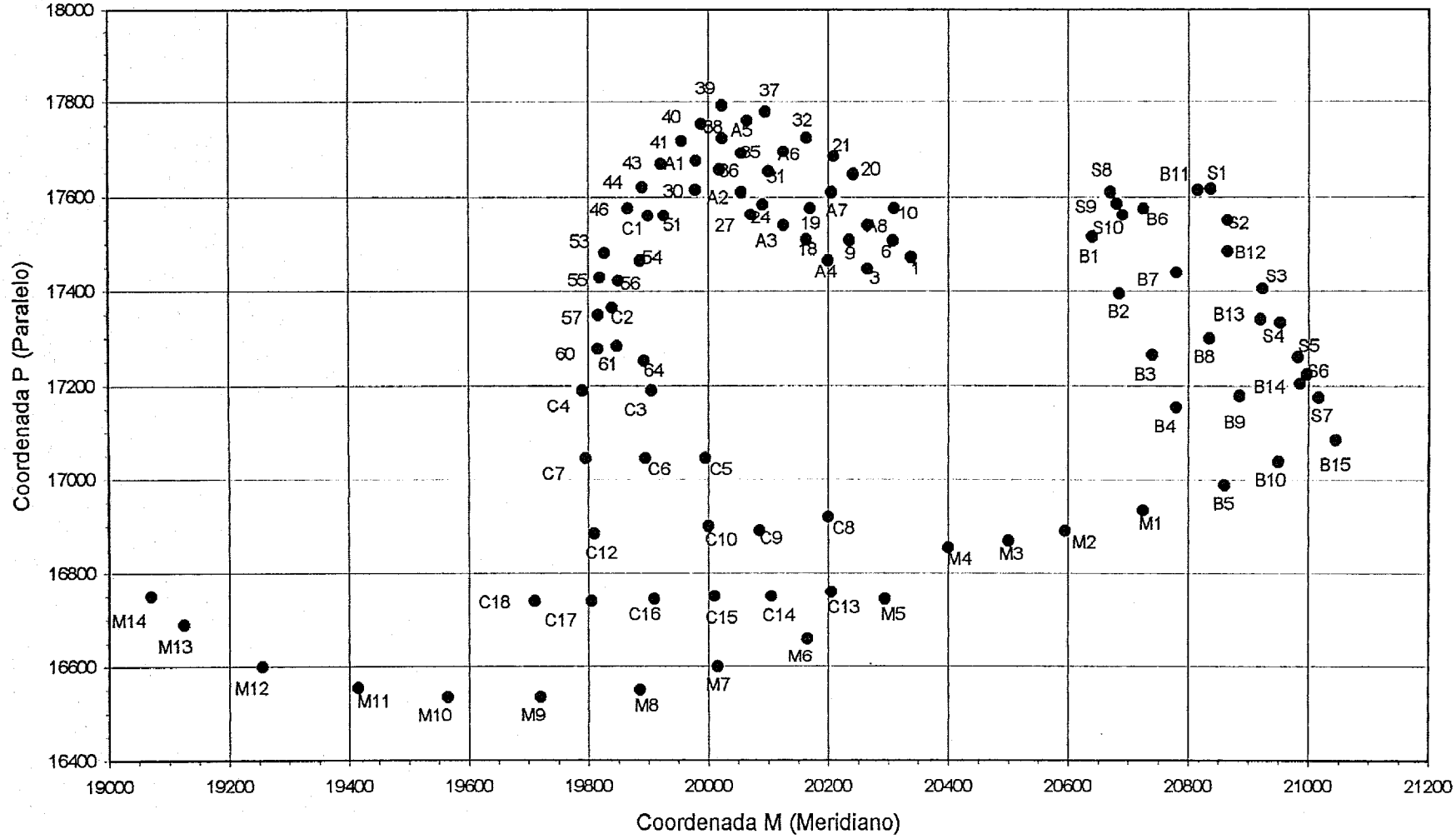



Figura 4.1 - Localização das 97 Sondagens Mecânicas Acompanhadas de Ensaios SPT.

A observação dos dados ( número de pancadas, N, obtido pelo ensaio) suscita alguns comentários:

1. Os relatórios finais não se encontram documentados com o processo de execução dos ensaios nem com o tipo de equipamento utilizado; são, desta forma, informações desconhecidas.

2. Os resultados das fases do ensaio nunca são indicados. Assim, os valores indicados foram considerados como pertencentes apenas à 2ª fase.

3. Existem registos de valores do número de pancadas, N, acompanhados da penetração obtida quando não se atingiu a penetração de 30 cm para a 2ª fase.

4. Nos relatórios consultados são frequentes valores elevados do número de pancadas utilizadas nos ensaios SPT em granitos decompostos (e possivelmente para os granitos muito alterados que nunca aparecem referidos nos relatórios), N=100 e superiores a 100. É possível que a elevada compacidade das formações atravessadas, nomeadamente os granitos decompostos, tenha levado à obtenção do excessivo número de pancadas para obter a penetração completa do amostrador, situação em que N é superior a 100 (tabela 4.1).

Há também valores de N muito superiores a 100 para os quais não houve penetração completa (tabela 4.2), desconhecendo-se o motivo que levou à paragem do ensaio.

| Sondagens (1ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) | Sondagens (2ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) |
|---|---|---|---|---|---|
| S6 | -15,02 | 133 | B1 | -24,08 | 99 |
| S19 | -29,60 | 106 | B3 | -45,78 | 104 |
| | -31,10 | 113 | | -48,78 | 116 |
| S27 | -22,63 | 104 | | -51,78 | 119 |
| | -27,13 | 99 | | -54,78 | 131 |
| S31 | -23,90 | 105 | B9 | -44,87 | 112 |
| | -25,40 | 107 | | -47,87 | 123 |
| S35 | -28,70 | 101 | B10 | -32,47 | 104 |
| | -30,20 | 108 | | -35,47 | 129 |
| S36 | -29,99 | 100 | | -36,97 | 143 |
| | -31,49 | 107 | B14 | -43,08 | 99 |
| S38 | -16,42 | 98 | | -46,08 | 111 |
| | -17,92 | 129 | | -49,08 | 188 |
| S43 | -18,00 | 100 | C1 | -19,06 | 128 |
| | -27,00 | 113 | C13 | -20,62 | 113 |
| S51 | -27,55 | 137 | | -23,62 | 123 |
| S54 | -16,15 | 127 | C14 | -31,46 | 109 |
| S57 | -06,54 | 104 | | -34,46 | 154 |
| Ss1 | -31,95 | 106 | C16 | -21,99 | 131 |
| Ss2 | -29,83 | 101 | | -24,99 | 163 |
| | -31,33 | 114 | C17 | -37,76 | 127 |
| | -32,83 | 125 | | -40,76 | 140 |
| Ss3 | -39,60 | 103 | | -43,76 | 168 |
| | -41,10 | 136 | C18 | -25,32 | 105 |
| Ss4 | -30,58 | 106 | | -28,32 | 136 |
| | -32,08 | 130 | M1 | -40,27 | 132 |
| Ss6 | -37,89 | 138 | M2 | -28,29 | 120 |
| | -39,39 | 117 | M4 | -28,41 | 157 |
| | -40,89 | 132 | M5 | -25,57 | 115 |
| Ss8 | -25,20 | 103 | M8 | -31,26 | 115 |
| Ss9 | -23,71 | 102 | M10 | -34,86 | 101 |
| | | | M11 | -23,27 | 116 |

Tabela 4.1 - Ensaios SPT com excessivo número de pancadas para obter a penetração completa do amostrador Terzaghi (situação em que N ≥ 100).

| Sondagens (1ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) | Sondagens (2ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) |
|---|---|---|---|---|---|
| A1 | -08,94 | 100/0,05 | S3 | -18,23 | 100/0,09 |
| A3 | -28,64 | 100/0,20 | S6 | -16,52 | 100/0,08 |
| A4 | -18,19 | 189/0,19 | | -18,02 | 100/0,12 |
| | -21,19 | 100/0,08 | S9 | -16,76 | 135/0,20 |
| A5 | -11,55 | 100/0,13 | S19 | -32,60 | 149/0,28 |
| A6 | -14,77 | 100/0,07 | S24 | -19,58 | 100/0,13 |
| A7 | -23,03 | 100/0,05 | S27 | -28,63 | 100/0,08 |
| B1 | -25,58 | 100/0,15 | | -30,13 | 147/0,21 |
| | -28,58 | 100/0,09 | | -31,63 | 80/0,10 |
| B2 | -48,53 | 100/0,15 | S30 | -30,56 | 149/0,23 |
| | -51,53 | 100/0,10 | | -32,06 | 100/0,11 |
| | -54,53 | 100/0,07 | S31 | -26,90 | 149/0,26 |
| B3 | -57,78 | 100/0,10 | S32 | -13,93 | 100/0,18 |
| | -60,78 | 100/0,08 | S35 | -31,70 | 100/0,12 |
| B4 | -45,29 | 100/0,15 | S36 | -32,99 | 103/0,14 |
| | -48,29 | 100/0,10 | S38 | -19,42 | 100/0,08 |
| B6 | -29,30 | 100/0,07 | S40 | -04,73 | 104/0,15 |
| | -32,30 | 100/0,11 | S43 | -21,00 | 145/0,26 |
| | -35,30 | 100/0,05 | | -28,50 | 157/0,21 |
| B7 | -41,98 | 100/0,08 | | -30,00 | 100/0,10 |
| | -44,98 | 100/0,11 | | -31,50 | 100/0,07 |
| | -47,98 | 100/0,05 | | -33,00 | 100/0,05 |
| B8 | -45,23 | 100/0,15 | S44 | -17,57 | 100/0,05 |
| | -48,23 | 100/0,12 | S46 | -10,41 | 100/0,05 |
| | -51,23 | 100/0,10 | S51 | -30,55 | 154/0,20 |
| | -54,23 | 120/0,10 | | -32,05 | 100/0,08 |
| B9 | -50,87 | 100/0,10 | S53 | -11,37 | 100/0,07 |
| | -53,87 | 126/0,10 | S54 | -14,65 | 100/0,10 |
| B10 | -39,97 | 100/0,15 | | -17,65 | 100/0,08 |
| | -42,97 | 100/0,10 | | -19,15 | 100/0,06 |
| | -45,97 | 100/0,08 | | -20,65 | 100/0,07 |
| | -48,97 | 100/0,05 | S55 | -06,57 | 142/0,27 |
| B11 | -38,01 | 120/0,15 | S56 | -09,48 | 102/0,08 |
| | -41,01 | 100/0,07 | S57 | -08,04 | 142/0,22 |
| B12 | -37,68 | 100/0,05 | | -09,54 | 100/0,13 |
| B13 | -39,56 | 100/0,08 | S60 | -00,26 | 100/0,07 |
| | -42,56 | 100/0,05 | S61 | -05,37 | 100/0,10 |
| B14 | -52,08 | 100/0,13 | S64 | -09,81 | 100/0,06 |
| | -55,08 | 100/0,13 | Ss3 | -42,60 | 100/0,05 |

Tabela 4.2 - Ensaios SPT com excessivo número de pancadas para obter a penetração incompleta do amostrador Terzaghi (situação em que N ≥ 100). (Continua).

| Sondagens (1ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) | Sondagens (2ª campanha) | Cota (MCD) | N(SPT) |
|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -20,56 | 100/0,14 | Ss4 | -33,58 | 100/0,05 |
| C3 | -21,26 | 100/0,10 | Ss5 | -28,91 | 100/0,05 |
| | -22,76 | 100/0,06 | Ss8 | -26,70 | 142/0,21 |
| C7 | -21,22 | 100/0,20 | | -28,20 | 100/0,13 |
| | -24,22 | 100/0,07 | Ss9 | -25,21 | 100/0,11 |
| C9 | -37,12 | 100/0,10 | | -26,71 | 100/0,07 |
| | -40,12 | 100/0,12 | | | |
| C10 | -37,26 | 100/0,08 | | | |
| C14 | -37,46 | 100/0,10 | | | |
| C17 | -46,76 | 100/0,15 | | | |
| M1 | -43,27 | 100/0,13 | | | |
| | -46,27 | 100/0,12 | | | |
| | -49,27 | 100/0,05 | | | |
| M2 | -31,29 | 100/0,13 | | | |
| M3 | -25,18 | 148/0,25 | | | |
| | -31,18 | 100/0,08 | | | |
| M4 | -31,41 | 100/0,07 | | | |
| M11 | -26,27 | 158/0,20 | | | |
| M12 | -25,71 | 100/0,03 | | | |
| M14 | -07,66 | 100/0,07 | | | |
| | -09,16 | 100/0,05 | | | |

Tabela 4.2 - (Continuação). Ensaios SPT com excessivo número de pancadas para obter a penetração incompleta do amostrador Terzaghi (situação em que N ≥ 100).

Contudo, a norma A.S.T.M. 1586-64T indica como valor limite para a 2ª fase N=100, referindo ainda, que em casos especiais se possam admitir valores de N superiores a 100, dando-se por terminado o ensaio quando a penetração do amostrador seja inferior a 1 polegada (2.54 cm) por cada 50 pancadas. Então, é possível que ao executarem os ensaios, as empresas tenham entrado em consideração com os casos especiais contemplados nesta norma.

5. Os ensaios apresentam um espaçamento fixo, possivelmente pré-determinado, de 3 metros (na 1ª campanha), e de 1.5 metros (na 2ª campanha), que não foi respeitado em algumas das sondagens (sondagens da 1ª campanha: B1, B2, B5, B6, B10, B13, B14, B15, C1, C3, C8, C9, C10, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12; sondagens da 2ª campanha: 1, 10, 18, 20, 21, 37, 44, 46, S8); os blocos (*corestones*) de rocha presentes no terreno, e detectados em algumas das anteriores sondagens, justificam a não exequibilidade do ensaio SPT (ensaio exclusivo de solos) para algumas profundidades porque, na prática, a disjunção esferoidal (*corestones*) conduz ao aumento da secção do amostrador.

6. Na formação identificada como granito decomposto é notória a preocupação em confirmar, na grande maioria das sondagens, a profundidade do *bedrock* ou firme através de sucessivas repetições do ensaio sem ter sido obtida penetração completa até à profundidade em que é encontrada rocha. Por outro lado, existe um conjunto restrito de sondagens para as quais não foi encontrado o firme ou *bedrock* litológico; pelo menos os *logs* dessas sondagens não apresentam qualquer tipo de registo nesse sentido;

7. Na campanha de 1990 (1ª campanha), apenas é apresentada para a formação granítica a unidade denominada granito decomposto (*C.D.G.*). Dentro desta designação aparecem valores de N baixos, desde N=6 até valores superiores a 100 e ainda os valores sem penetração completa. Estes valores, que também se constatam na 2ª campanha, constituem fortes indícios para que esta unidade seja considerada uma unidade geotécnica e nunca uma designação do estado de alteração do granito.

No presente trabalho, por serem desconhecidos o tipo de equipamento e as condições de realização dos ensaios não foram utilizadas quaisquer correcções[1] para o valor de N.

O primeiro tratamento e interpretação dos resultados dos ensaios SPT iniciou-se com o estudo a partir de um ficheiro, previamente elaborado, onde cada ensaio se encontrava referenciado pela profundidade (sempre relativa à boca do furo da respectiva sondagem), número de pancadas N, unidade geotécnica a que pertencia e litologia na qual foi realizado. Seguidamente, calculou-se o coeficiente de correlação e a equação da recta de regressão correspondentes às variáveis (propriedades) profundidade e N para cada unidade geotécnica. Este tipo de tratamento não foi aplicado à unidade aterro dada a falta de representatividade da informação disponível nos relatórios consultados, apenas foram coligidos dois valores de N.

Foram também construídos gráficos de variação de N com a profundidade para cada unidade geotécnica e para o conjunto de todos os valores de N.

No quadro 4.1 podem ver-se os valores estatísticos básicos do parâmetro geotécnico N, para cada unidade. Convém salientar que estamos perante uma variável discreta porque N só pode tomar um número finito de valores de números inteiros.

Relativamente às medidas de tendência central ressalta-se o seguinte: a média não foi calculada porque conhecer a média é como substituir todos os valores de N pelo mesmo valor. Com efeito, por ser muito sensível a valores extremos, este estatístico depende do valor de todos os dados da distribuição e não traz vantagens; a média não caracteriza o

---

[1] De acordo com Matos Fernandes (1995) a utilização durante quase meio século do SPT em praticamente todo o mundo e em condições geotécnicas tão diversificadas permitiu associar empiricamente ao número de pancadas N num determinado tipo de solo certas características, por exemplo em termos de compacidade para as areias e de consistência para as argilas, comportamentos, como a susceptibilidade de maciços arenosos à liquefacção, e até parâmetros mecânicos. A fiabilidade de grande parte dessas correlações, é, todavia, precária porque infelizmente, e apesar do seu nome, o ensaio SPT não é um ensaio verdadeiramente normalizado! (...) Nos últimos 10 anos têm vindo a ser desenvolvidos esforços bem sucedidos no sentido de estabelecer métodos que de forma consistente permitam comparar resultados dos ensaios SPT efectuados de forma diferenciada.

verdadeiro comportamento das lito-estratigrafias atravessadas, quanto à resistência mecânica. Assim, o interesse da mediana relativamente à média é maior porque nos dados existem valores extremos. Como as distribuições de N apresentadas são assimétricas fez mais sentido considerar a mediana.

Contudo, a moda é, entre todas as medidas de tendência central, a que tem maior interesse do ponto de vista geotécnico. Torna-se mais importante saber qual é o número de pancadas que aparece mais vezes, isto é, a moda, do que a média ou até a mediana.

A forma da distribuição do parâmetro N em cada uma das lito-estratigrafias pode ser sintetizada pela utilização de outros valores numéricos - quartis - mais resistentes ou robustos à presença de *outliers*. Nesta óptica foram considerados os quartis 1/4 (1° quartil) e 3/4 (3° quartil) e, através da sua diferença, caracterizou-se a dispersão do parâmetro N; a distância inter-quartis dada pela diferença entre $x_{3/4}$ e $x_{1/4}$ corresponde a 50% dos dados.

Sabendo-se que nas distribuições onde a mediana se encontra mais próxima do quartil inferior ($x_{1/4}$) do que do quartil superior ($x_{3/4}$) a assimetria é positiva e se, pelo contrário, a mediana estiver deslocada para o quartil superior, a assimetria é negativa verificou-se que nas distribuições caracterizadas no quadro 4.1 a assimetria é sempre positiva.

| Lito-estratigrafia | nº de ensaios | mediana | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude | 1º quartil | 3º quartil | distância inter-quartis | assimetria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Depósito Marinho | 346 | 2 | 2 | 113 | 1 | 113 | 112 | 1 | 5 | 4 | 6,9 |
| Aluvião | 323 | 13 | 8 | 27 | 1 | 163 | 162 | 8 | 21 | 13 | 4,5 |
| Granito Decomposto | 434 | 51 | 47 | 13 | 6 | 188 | 182 | 32 | 73 | 41 | 0,9 |
| Todas as Formações | 1105 | 17 | 2 | 115 | 1 | 188 | 187 | 5 | 43 | 38 | 1,6 |

Quadro 4.1 - Descrição sumária dos valores estatísticos básicos para o parâmetro geotécnico N.

## Depósito Marinho

Foram coligidos nesta formação 346 ensaios. O quadro 4.1, onde se registam alguns valores estatísticos básicos, e o histograma da figura 4.2 permitem concluir que nesta formação o valor mais frequente de N (ou a moda) é N=2 estando 75% dos valores de N compreendidos entre 1 (mínimo e 1° quartil) e 5 (3° quartil).

Na figura 4.3 pode observar-se a variação de N com a profundidade, verificando-se uma dispersão relativa dos pontos que se distribuem preferencialmente acima dos 15 metros de profundidade, detectando-se uma grande diminuição do número de ensaios para profundidades superiores. Os *outliers* detectados a profundidades mais elevadas são prováveis indicadores da existência da formação mais antiga de depósitos marinhos (*Lower Marine*) consolidada, de idade compreendida entre 28 000 e 30 000 anos, também com ocorrência intercalada nas aluviões plistocénicas, conforme foi identificada em algumas sondagens.

O coeficiente de correlação entre N e a profundidade é baixo, r = 0.36, tendo-se obtido a seguinte equação da recta de correlação:

$$N = 0.22533 + 0.78230 * \text{Profundidade} \qquad \text{(profundidade em metros)}$$

Os depósitos marinhos compreendem sedimentos silto-argilosos com intercalações e níveis de areias silto-argilosas, mais frequentes na base da unidade.

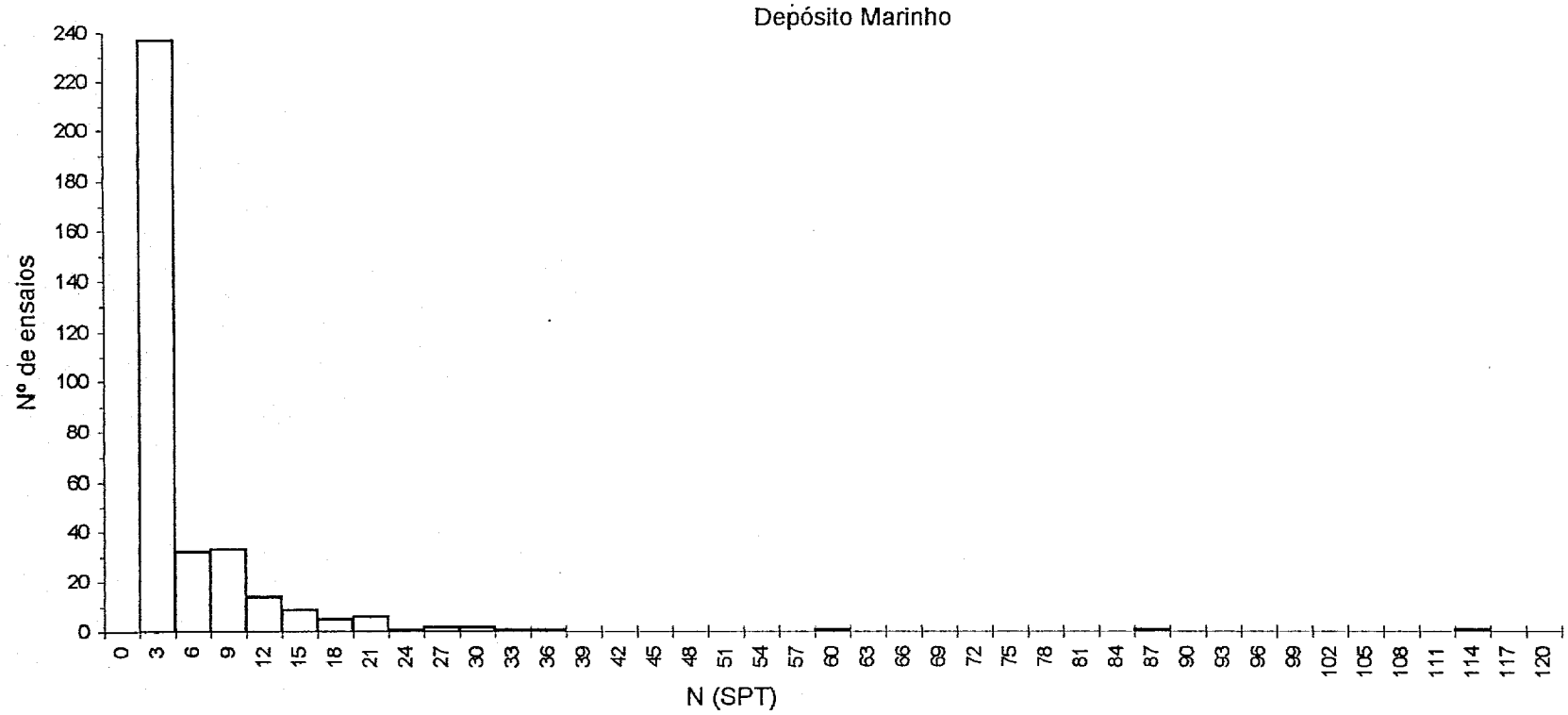



Figura 4.2 - Histograma da distribuição dos valores de N (SPT) da formação depósito marinho.

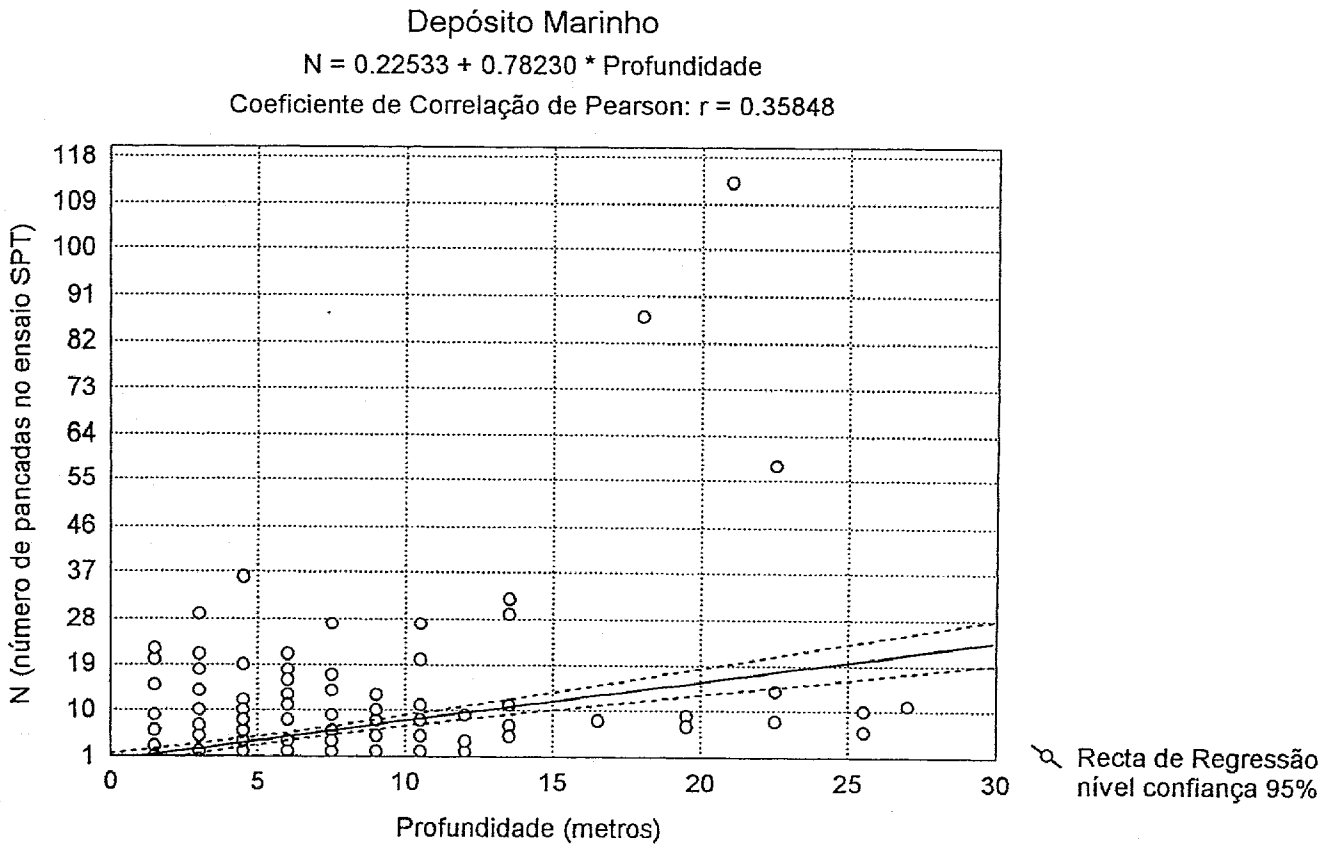

Depósito Marinho
N = 0.22533 + 0.78230 * Profundidade
Coeficiente de Correlação de Pearson: r = 0.35848
N (número de pancadas no ensaio SPT)
118
109
100
91
82
73
64
55
46
37
28
19
10
1
0
5
10
15
20
25
30
Profundidade (metros)
Recta de Regressão
nível confiança 95%

Figura 4.3

## Aluvião

Os ensaios SPT realizados neste complexo, num total de 323, apresentam valores de N desde 1 até 163 pancadas sendo os valores mais frequentes, 50%, compreendidos entre 8 (moda e 1º quartil) e 21 (3º quartil), (ver histograma da figura 4.4 e quadro 4.1).

Na figura 4.5 pode observar-se a variação de N com a profundidade; verifica-se uma concentração dos ensaios numa mancha bem definida embora seja imediatamente observável uma ligeira tendência de dispersão de resultados. Os *outliers*, valores de N excessivamente elevados e dispersos dos restantes valores da distribuição, correspondem aos solos argilosos muito duros e duros e aos solos arenosos compactos. Estes depósitos podem ser correlacionados com as formações *Lower Alluvium* detectadas em Hong Kong, cujo limite inferior pode ultrapassar 33 400 anos (Plistocénico Superior).

O coeficiente de correlação entre N e a profundidade é baixo, r = 0.28, tendo-se obtido a seguinte equação da recta de correlação:

$$N = 3.5322 + 0.81442 * \text{Profundidade} \qquad \text{(profundidade em metros)}$$

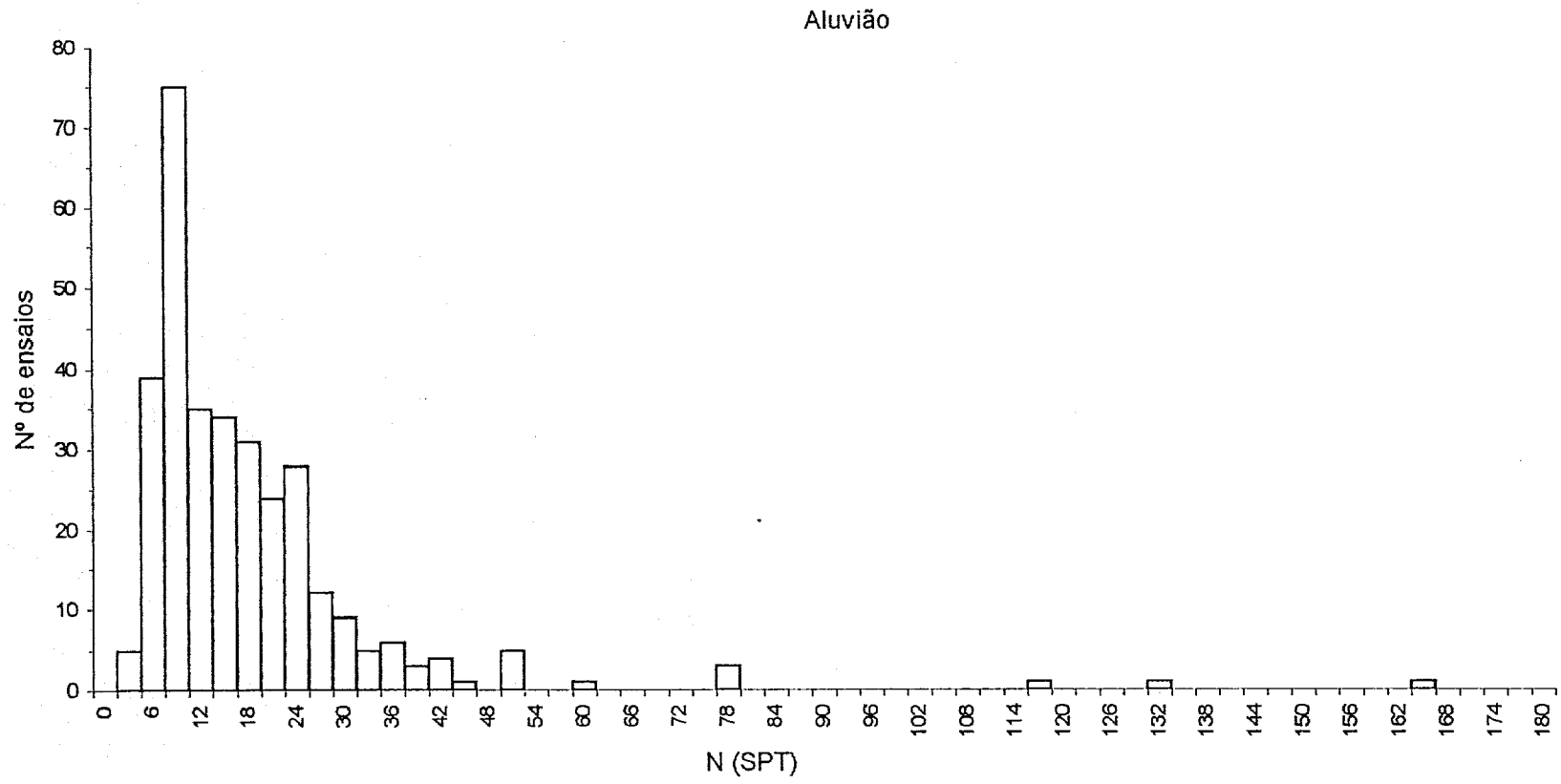



Figura 4.4 - Histograma da distribuição dos valores de N (SPT) da formação aluvião.

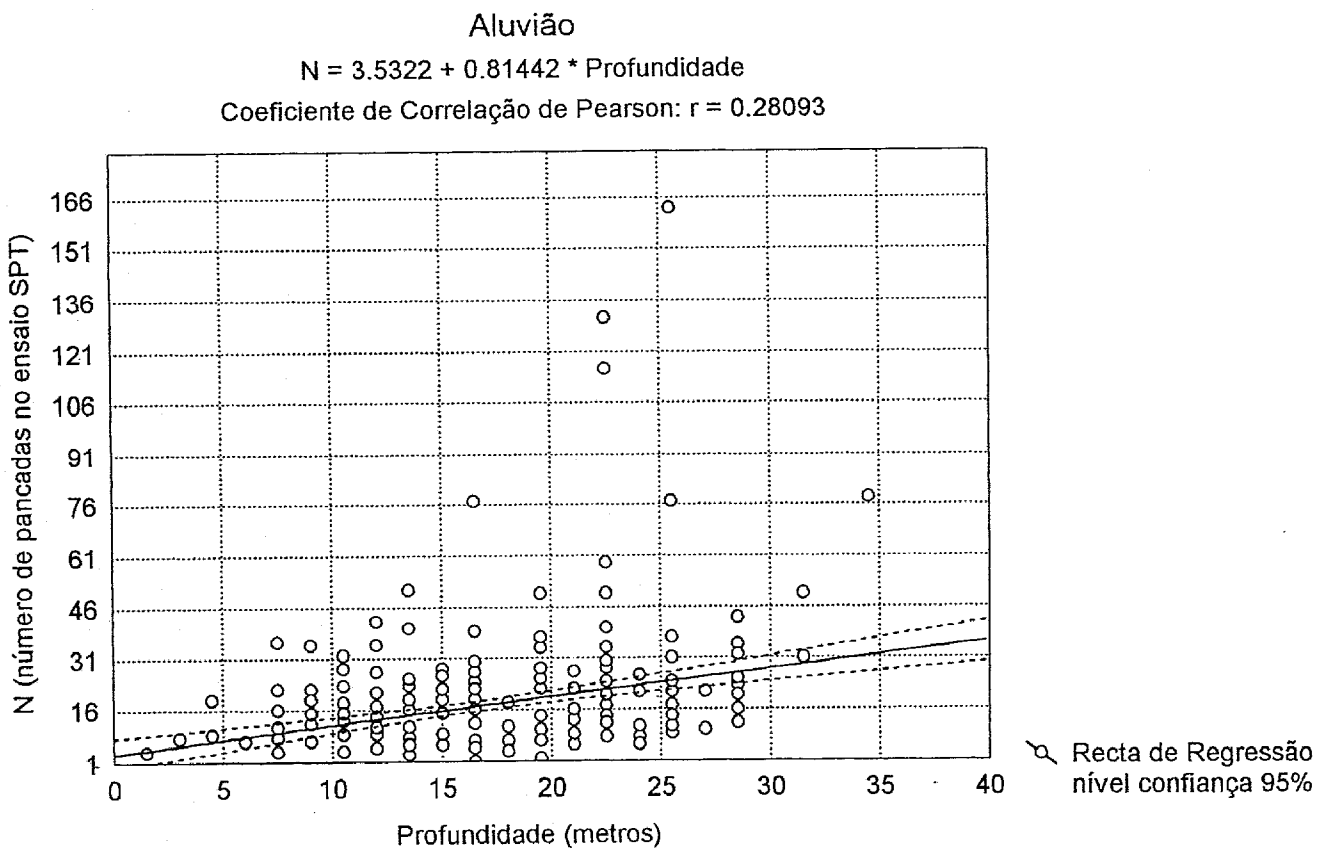

Aluvião
N = 3.5322 + 0.81442 * Profundidade
Coeficiente de Correlação de Pearson: r = 0.28093
N (número de pancadas no ensaio SPT)
166
151
136
121
106
91
76
61
46
31
16
1
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Profundidade (metros)
Recta de Regressão
nível confiança 95%

Figura 4.5

## Granitos Decompostos

Constituem o maior volume de informação, tendo sido coligidos 539 ensaios, 434 com penetração completa do amostrador Terzaghi e 105 com penetração incompleta. Contudo, apesar do grande volume de ensaios, apenas são referidas interpretações para o volume dos ensaios com penetração completa.

No que respeita à distribuição do valor de N, verifica-se, pela observação e interpretação do histograma da figura 4.6 e do quadro 4.1, que esta é grosseiramente uniforme a partir de N=18 até cerca de N=75, com um número de ensaios, por cada classe de 3 valores de N, da ordem de 13 a 23. A amplitude entre os valores máximo e mínimo atesta bem a grande variação de compacidade deste complexo, estando directamente correlacionada com os diferentes estados de alteração da formação granítica. Contudo, 50% dos valores de N estão compreendidos entre os valores 32 (1° quartil) e 73 (3° quartil).

Na figura 4.7 pode observar-se a variação de N com a profundidade; verifica-se uma concentração dos ensaios numa mancha mal definida sendo imediatamente observável uma grande dispersão de resultados tal como se constata no histograma. A correlação de 0.49 pode considerar-se ligeiramente representativa. Apesar das variações, por vezes bastante significativas, do desenvolvimento dos perfis de alteração de local para local, existe um número representativo de sondagens com perfis de alteração bem desenvolvidos, como já foi visto no capítulo 3. A recta de correlação obtida para esta formação foi a seguinte:

$$N = 21.664 + 1.4866 * \text{Profundidade} \qquad \text{(profundidade em metros)}$$

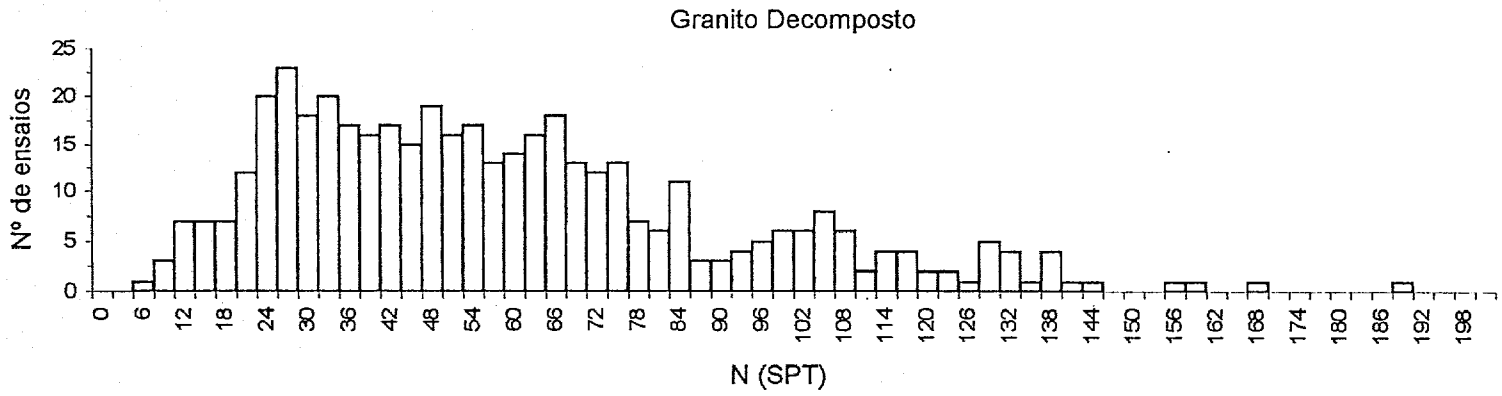



Figura 4.6 - Histograma da distribuição dos valores de N (SPT) da formação granito decomposto. (Só valores do ensaio com penetração completa).

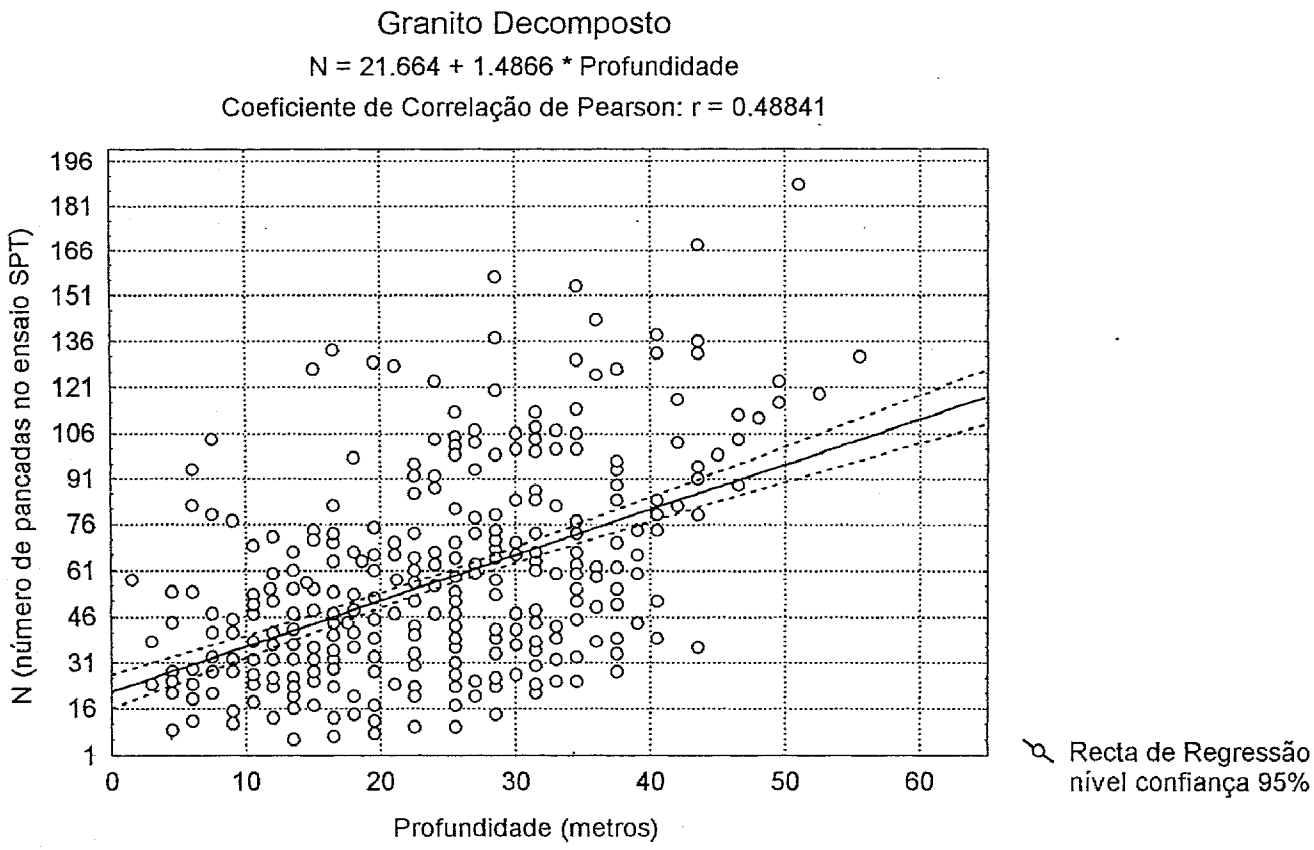

Granito Decomposto
N = 21.664 + 1.4866 * Profundidade
Coeficiente de Correlação de Pearson: r = 0.48841
N (número de pancadas no ensaio SPT)
196
181
166
151
136
121
106
91
76
61
46
31
16
1
0
10
20
30
40
50
60
Profundidade (metros)
Recta de Regressão
nível confiança 95%

Figura 4.7

## Conjunto das quatro unidades (aterro, depósito marinho, aluvião e granito decomposto)

A interpretação do histograma da figura 4.8 relativo ao conjunto de todos os dados de SPT coligidos, num total de 1105 ensaios com penetração completa, permite dar uma visão mais genérica da grande variação do comportamento do solo da Baía da Praia Grande quanto à resistência à penetração mecânica.

Na figura 4.9 pode observar-se a variação de N com a profundidade; verifica-se uma concentração dos ensaios numa mancha relativamente bem definida sendo observável uma grande dispersão de resultados. A correlação encontrada foi de 0.68. No histograma pode ver-se a frequência dos casos em que N é largamente superior aos limites de validade do ensaio normalmente considerados. Deste modo, e de acordo com Fonseca Marques (1988), chama-se a atenção para a possibilidade de uma parte dos resultados não ser directamente correlacionável com características de resistência do material, sendo provavelmente afectados, com intensidade desconhecida, pelas próprias limitações do ensaio. A recta de correlação obtida para o subsolo da Baía da Praia Grande foi a seguinte:

$$N = -4.533 + 2.0721 * \text{Profundidade} \qquad \text{(profundidade em metros)}$$

Face ao exposto, os sedimentos aluviais apresentam habitualmente maior compacidade do que os depósitos marinhos e menor compacidade do que a formação dos granitos decompostos. Contudo, não se pode subestimar a faixa de sobreposição entre os valores característicos de N apontados para cada uma das formações.

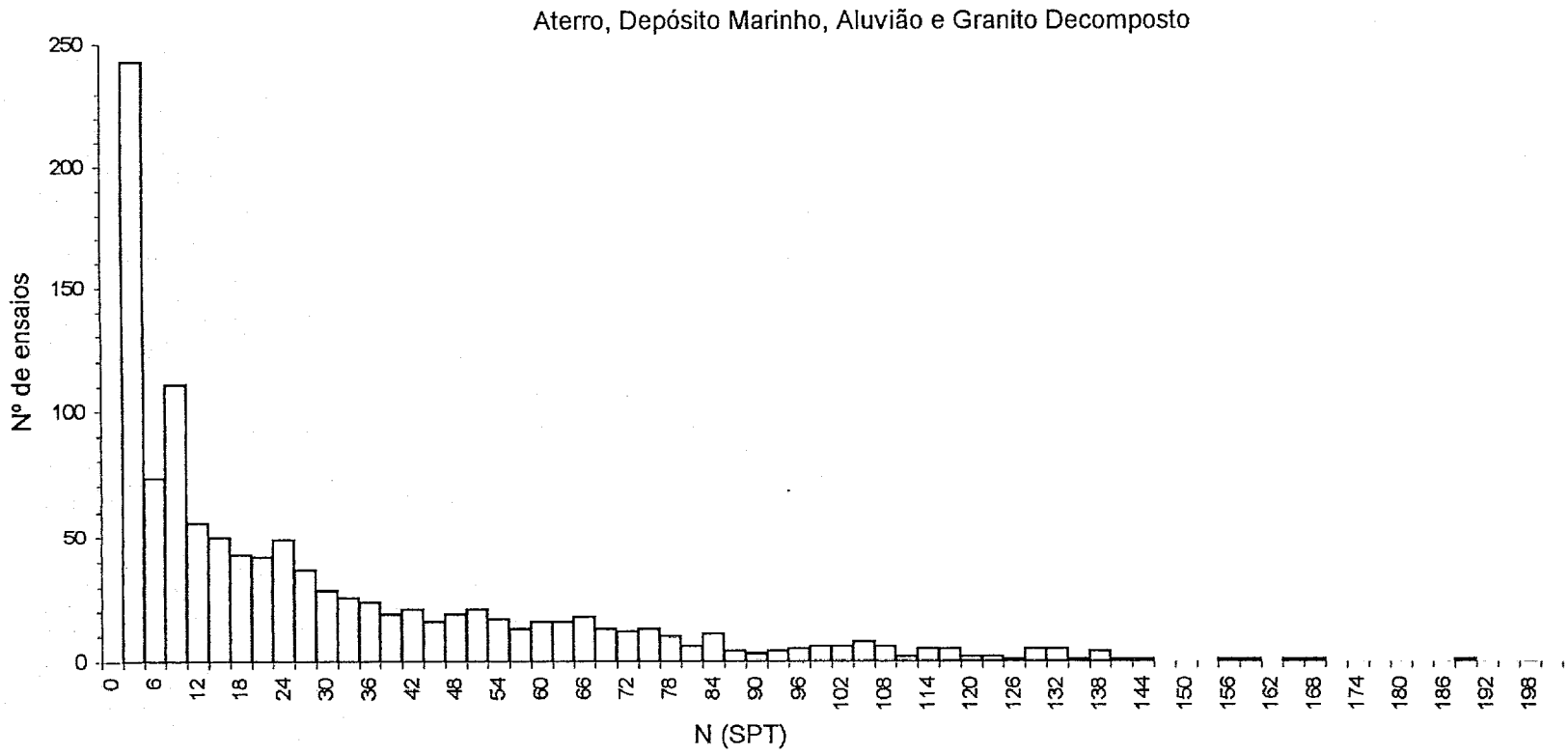



Figura 4.8 - Histograma da distribuição dos valores de N (SPT) de todas as formações onde foi obtida a penetração completa (30 cm).

Conjunto das Quatro Fomações

(Aterro, Depósito Marinho, Aluvião e Granito Decomposto)

N = -4.533 + 2.0721 * Profundidade

Coeficiente de Correlação de Pearson: r = 0.68485

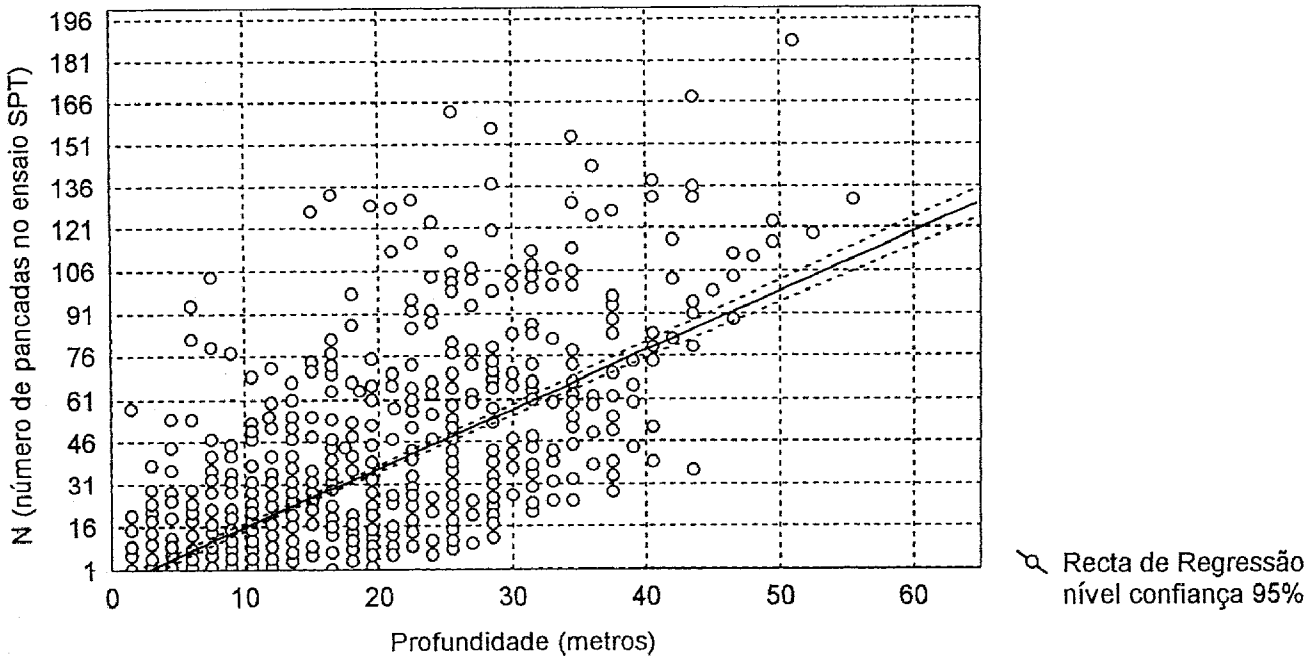



Figura 4.9

### 4.2.1.2 Ensaio de Penetração Estática, CPT (do Inglês *Cone Penetration Test)*

O ensaio, também designado por ensaio de penetração estática ou ensaio com penetrómetro holandês, permite a avaliação contínua da compacidade de areias e da resistência ao corte não-drenada de argilas. Fundamentalmente o ensaio consiste na cravação, por meio de um sistema hidráulico, de uma ponteira de aço normalizada, representada na figura 4.10.

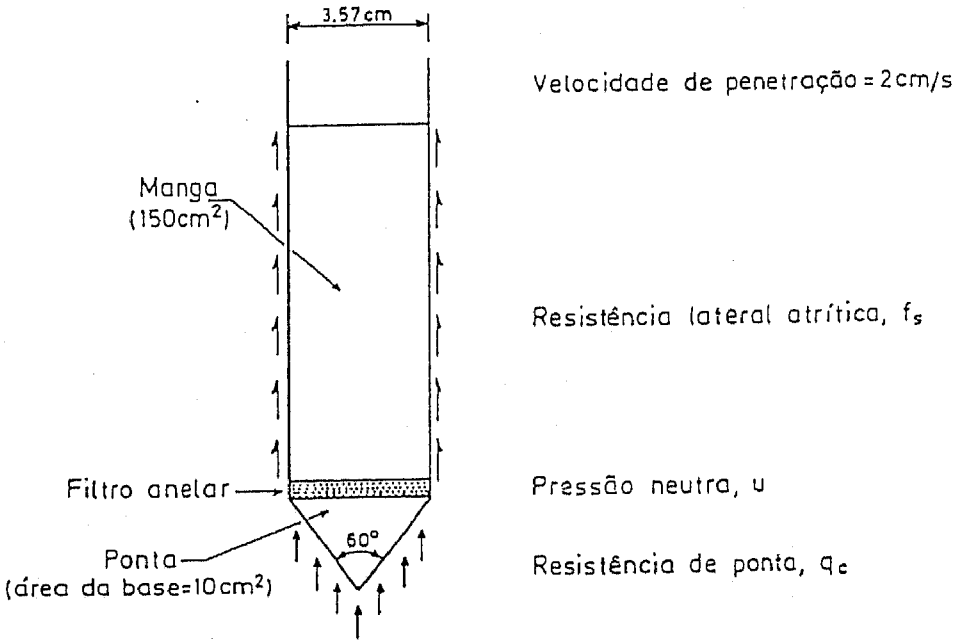



Figura 4.10 - Esquema da ponteira do CPT e grandezas medidas no ensaio; (*in* Matos Fernandes, 1995).

Por meio de um transdutor colocado no interior da ponteira é possível medir durante a cravação a chamada resistência de ponta, enquanto a resistência lateral ao longo da manga é medida noutro transdutor colocado junto à superfície desta. A figura mostra a versão mais recente do aparelho, designada por "piezocone", onde entre a ponta cónica e a manga existe um filtro anelar que permite a transmissão das pressões da água no solo a um transdutor de pressão colocado no interior da ponteira e que se destina a medir as pressões neutras.

Na execução do ensaio foi utilizado o Penetrómetro Mecânico com capacidade máxima de 100 KN (Kilo-Newton); tendo o ensaio terminado quando foi atingido o limite de 10 KN, (note-se: 1 Kilo-Newton é igual a $0.101972 \times 10^3$ Kg).

Na figura 4.11 apresenta-se a localização dos ensaios CPT, executados nos depósitos marinhos holocénicos e nas aluviões plistocénicas, em 25 sondagens. Nos boletins dos ensaios encontram-se registados os seguintes parâmetros cujas leituras, em geral, foram registadas com intervalos de 25 cm de penetração:

- profundidade, (cm);
- $R_t$, (N), resistência total do sistema de varas e ponteira cravada (a resistência vai sendo incrementada com a profundidade porque as varas vão sendo acrescentadas à medida que a penetração avança);
- $R_p$, (N), resistência de ponta;
- $R_m$, (N), resistência da manga (atrito);
- $q_c = R_p/S_p$ (MPa), tensão de ponta;
- $q_s = R_m/S_m$ (KPa), tensão de atrito, também identificada por $f_s$;
- $f_r = q_s/q_c \times 100$ (%), coeficiente de atrito ou razão atrítica;

sendo $S_p$ a secção da ponta (10 $cm^2$) e $S_m$ a secção da manga (150 $cm^2$).

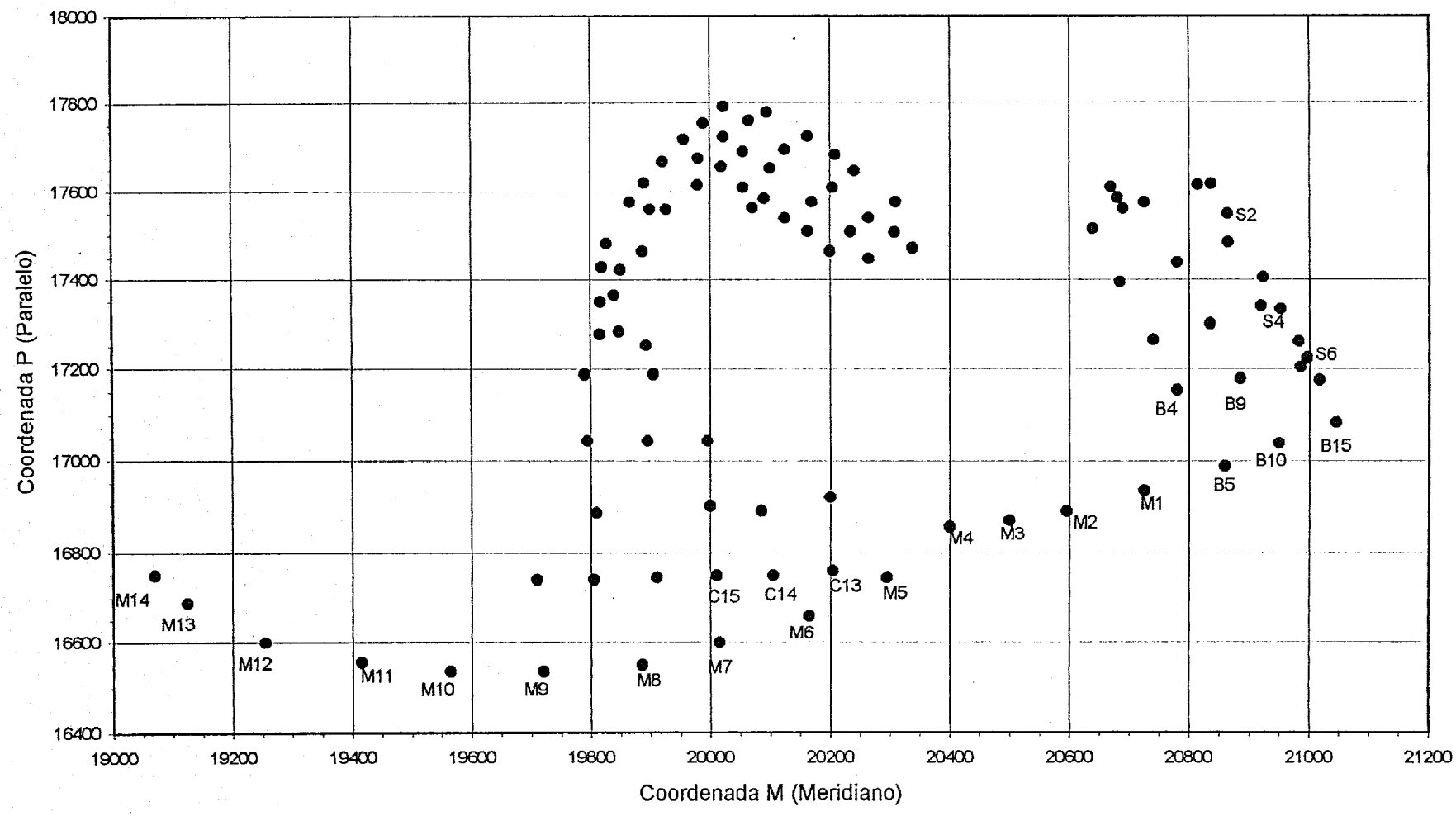



Figura 4.11 - Localização dos Ensaios CPT.

O esforço necessário para fazer penetrar no terreno o conjunto do cone e do tubo exterior representa a resistência total $R_t$ (de ponta e do atrito lateral) ao longo do tubo. Em seguida, mantendo o tubo imóvel, e fazendo penetrar só o cone no terreno, obtém-se a resistência de rotura do terreno à acção da ponta do penetrómetro e que se designa por $R_p$. Dividindo $R_p$ pela área da secção transversal do cone (igual a 10 $cm^2$) obtém-se a resistência de ponta por $cm^2$, designada nos relatórios consultados por tensão de ponta, $q_c$.

Foi também medida a resistência da manga, $R_m$, (atrito lateral) que ao ser dividida pela secção da manga (igual a 150 $cm^2$) dá a tensão de atrito, $q_s$ ou $f_s$. A razão entre $q_c$ e $f_s$ permite obter ainda o chamado coeficiente de atrito ou razão atrítica, bastante útil para a identificação do tipo de estratos atravessados.

Ao contrário do ensaio SPT, com o ensaio CPT não é possível a colheita de amostras. Foram realizados como complemento das sondagens de furação que permitiram identificar visualmente, por meio de amostras colhidas no decurso da furação, a estratigrafia do solo. Por vezes, o CPT pode ser usado isoladamente com o objectivo de permitir a estimativa de parâmetros mecânicos para projecto.

No anexo B encontram-se os registos simplificados dos ensaios CPT executados em cada uma das sondagens.

Através da interpretação das figuras 4.12, 4.13, 4.14 e da carta simplificada de classificação dos solos a partir dos resultados do CPT (Robertson & Campanela, 1983, *in* Matos Fernandes, 1995), figura 4.15, tentou-se de modo expedito prever, em cada unidade geotécnica, os tipos de terrenos atravessados com base nos valores da razão atrítica e da resistência de ponta por $cm^2$.

De acordo com a carta simplificada de classificação dos solos existe uma grande diversidade de solos: siltes arenosos, siltes, siltes argilosos e argilas nas formações dos depósitos marinhos e das aluviões. Na formação dos granitos decompostos os solos são constituídos por areias e areias siltosas, siltes arenosos e siltes.

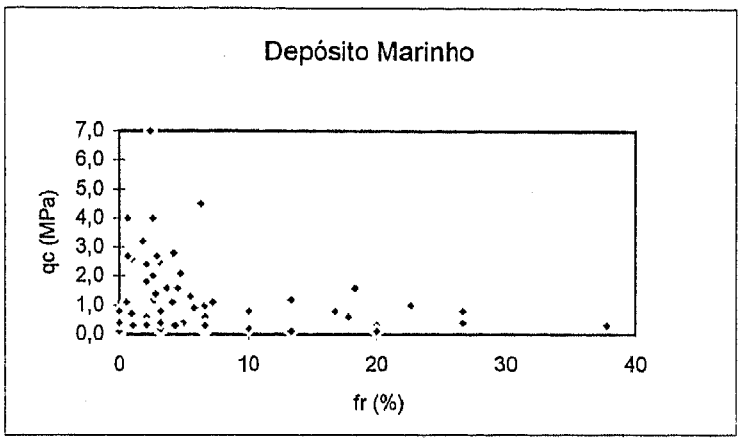



Figura 4.12

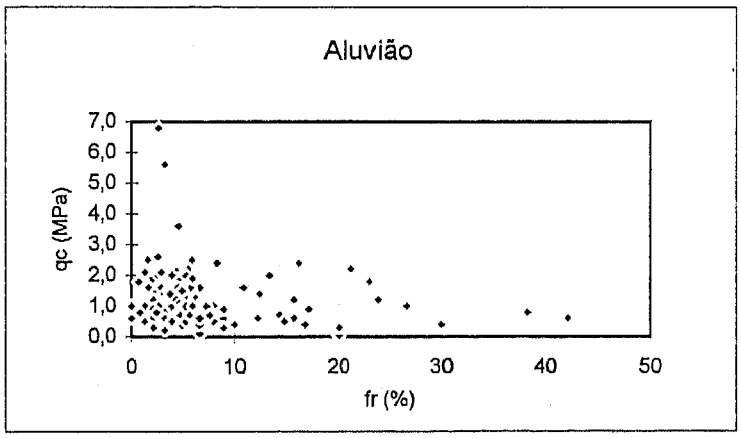



Figura 4.13

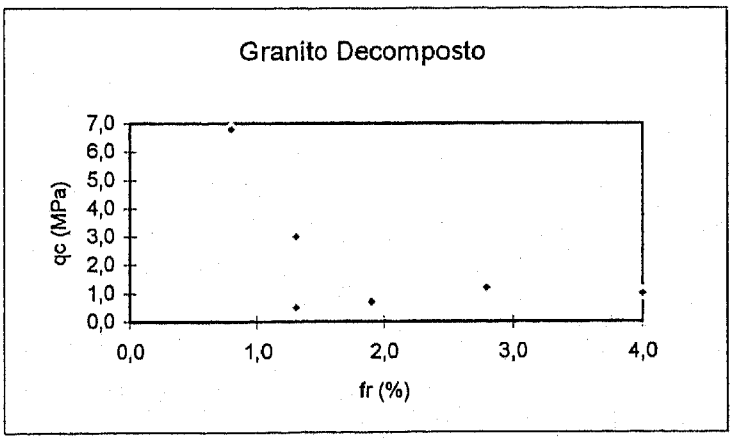



Figura 4.14

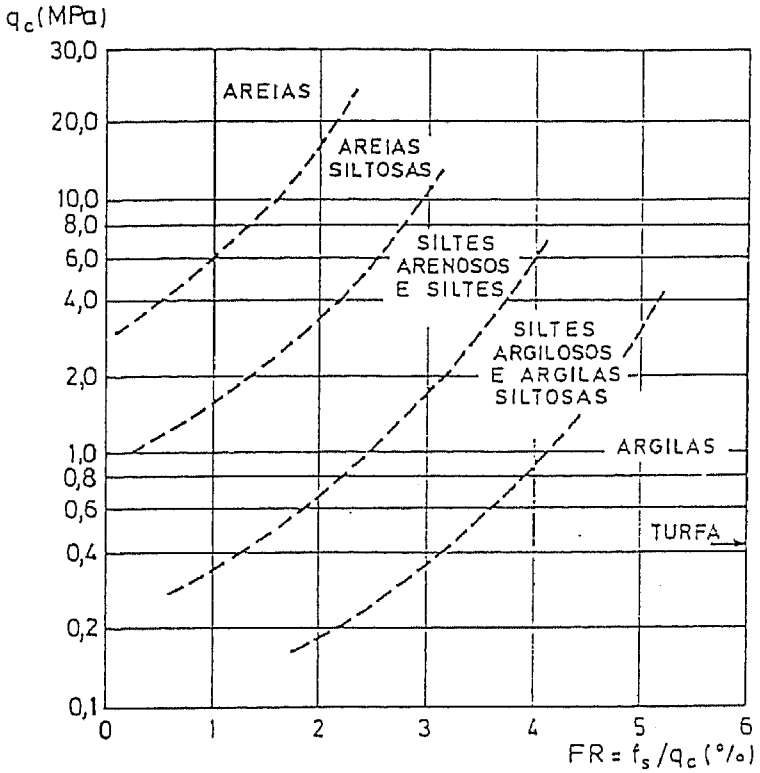



Figura 4.15 - Carta simplificada de classificação dos solos a partir dos resultados do CPT; (Robertson & Campanella, 1983, *in* Matos Fernandes, 1995).

A profundidade a que se deve estabelecer a fundação das edificações pode, em geral, definir-se através da interpretação destes ensaios conjuntamente com informação complementar; a profundidade não pode ser estabelecida tomando apenas o nível onde se obtiveram resistências muito elevadas. Mesmo que o penetrómetro faculte resultados de resistências máximas de ponta pode estar-se em presença de um estrato de reduzida espessura, que a sonda não conseguiu atravessar; este estrato pode não apresentar características adequadas. Nesta situação torna-se essencial fundamentar as decisões a tomar, em relação às características que se possam antever para o estrato. Um estudo complementar, através das informações obtidas da prospecção com sondagens de furação, permitirá esclarecer as condições geológico-geotécnicas em profundidade.

Após o primeiro tratamento e interpretação dos resultados dos ensaios CPT desenvolvidos até ao momento, cada um dos seguintes parâmetros: profundidade, $R_t$, $q_c$, $q_s$ e $f_r$, foi considerado como uma propriedade a caracterizar e a interpretar através do tratamento estatístico pelo método de Análise de Dados aplicado no capítulo 7.

### 4.2.1.3 Ensaio de Corte Rotativo ou de Molinete (ou *Vane Test*)

O ensaio permite determinar, com boa precisão, a resistência ao corte não-drenado de solos coesivos moles (solos argilosos brandos: argilas muito moles, moles e médias); a figura 4.16 mostra a localização dos ensaios, todos executados em depósitos marinhos moles constituídos por argilas cinzentas acastanhadas e por argilas cinzentas acastanhadas a cinzentas escuras.

O ensaio consiste em introduzir no terreno um molinete, ou seja, uma cruzeta de pás que corresponde a um conjunto de quatro lâminas rectangulares soldadas a uma vara central, esta última ligada à superfície do terreno, conforme ilustra a figura 4.17(a). Ao equipamento, depois de introduzido no terreno à profundidade desejada, é comunicado um movimento de rotação, interessando nesse movimento um cilindro de solo que se destaca do terreno envolvente, figura 4.17(b), procedendo-se ao registo da relação entre o binário aplicado e a rotação produzida figura 4.17(c). O ensaio é executado, numa primeira fase, para determinar a resistência ao corte não drenado do solo inalterado; dada a velocidade com que o solo é cortado, a resistência medida é considerada como a de um ensaio não drenado, pois a água dos poros não tem tempo de ser expelida em solos argilosos. Seguindo-se uma fase posterior, exige-se uma rotação rápida do aparelho para que no solo, depois de remexido, seja executado, em seguida, novo ensaio para determinar a resistência do solo remexido (resistência residual). A resistência não drenada do solo, $c_u$, mobilizada em toda a superfície exterior do cilindro de solo ensaiado, compreendendo a superfície lateral e as duas bases, e admitindo o maciço isotrópico, permite a avaliação da capacidade de suporte dos materiais e pode ser calculado a partir da equação:

$$c_u = M_{ft} / (\pi D^2 (H + D/3)$$

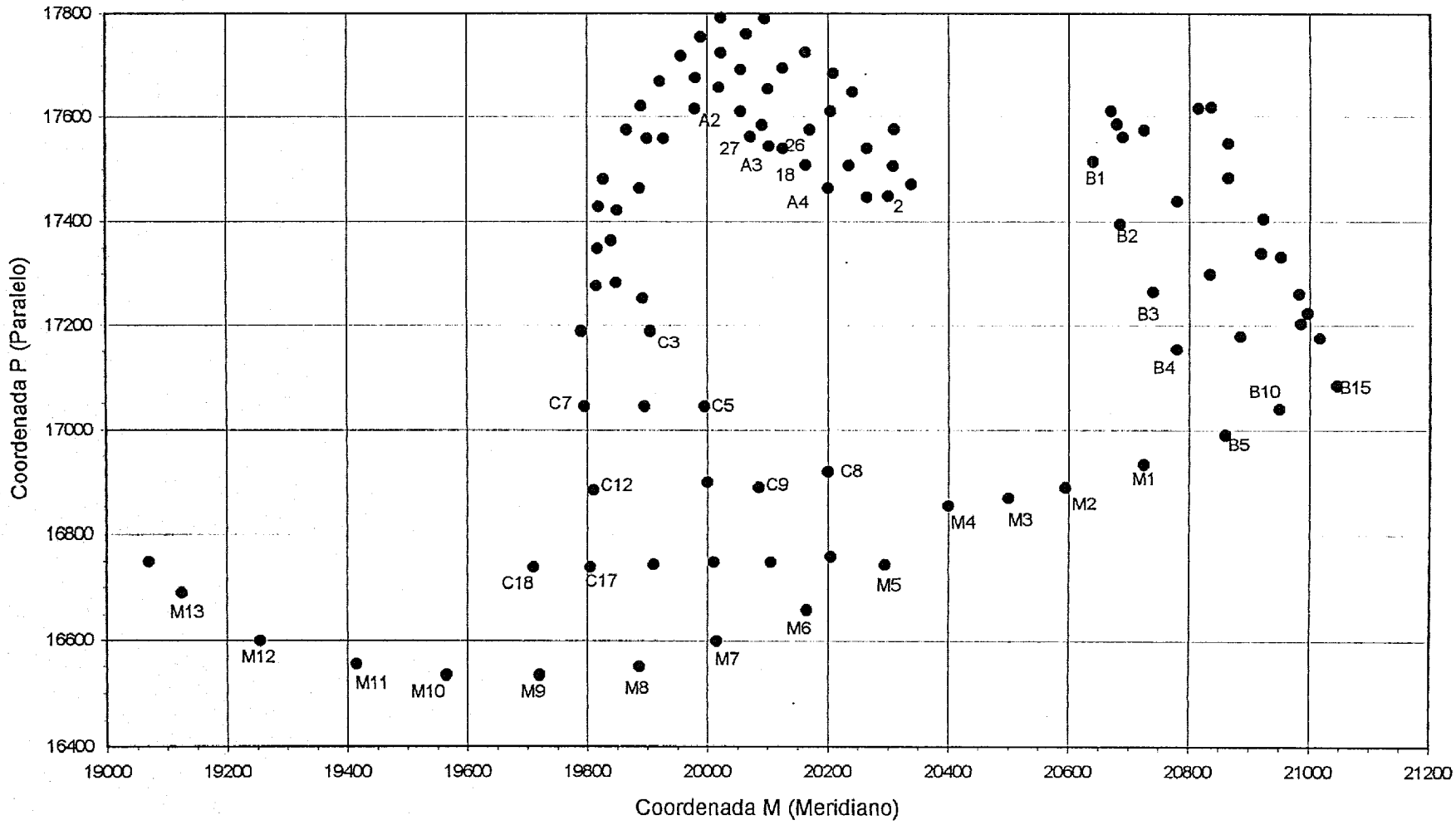



Figura 4.16 - Localização dos Ensaios de Corte *Vane Test*.

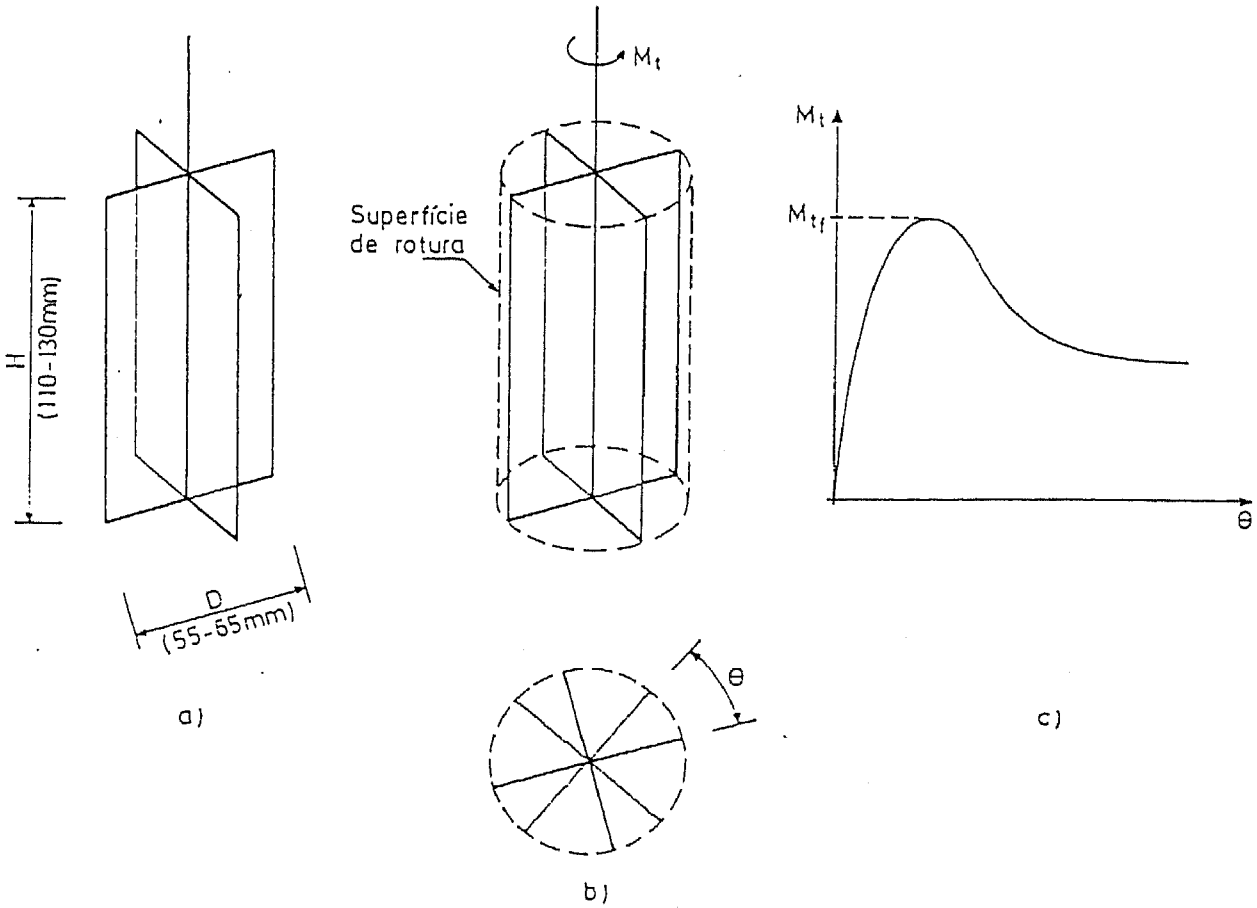



Figura 4.17 - Ensaio de corte rotativo: a) molinete; b) figura de rotura; c) diagrama momento torsor-rotação; (*in* Matos Fernandes, 1995).

Após observação dos dados relativos ao ensaio do molinete procedeu-se ao cálculo da relação entre as resistências ao corte máxima e mínima. Este procedimento teve como finalidade obter uma ideia da sensibilidade dos solos argilosos ensaiados. No quadro 4.2 encontram-se registados os valores da sensibilidade das argilas nas quais foi executado o ensaio *Vane Test*.

| teste nº | profundidade (m) | Resistência do solo inalterado (KPa) | Resistência do solo remexido (KPa) | $S_E$ (sensibilidade) |
|---|---|---|---|---|
| BH-18 | 3,30 | 3,70 | 1,4 | 2,6 |
| BH-18 | 4,00 | 17,30 | 12,3 | 1,4 |
| BH-26 | 3,40 | 13,50 | 4,3 | 3,1 |
| V-2 | 2,70 | 4,8 | 3,0 | 1,6 |
| V-2 | 4,70 | 6,4 | 4,2 | 1,5 |
| V-27 | 3,50 | 5,60 | 1,0 | 5,6 |
| V-27 | 5,50 | 7,20 | 2,1 | 3,4 |
| V-27 | 6,50 | 13,50 | 3,2 | 4,2 |
| V-27 | 7,50 | 12,50 | 3,0 | 4,2 |
| A2 | 3,25 | 9,40 | 3,8 | 2,5 |
| A3 | 4,35 | 8,50 | 2,9 | 2,9 |
| A4 | 3,50 | 2,10 | 1,4 | 1,5 |
| A4 | 5,95 | 11,90 | 5,9 | 2,0 |
| B1 | 5,45 | 4,90 | 1,8 | 2,7 |
| B2 | 4,10 | 5,20 | 2,6 | 2,0 |
| B2 | 7,00 | 6,50 | 2,7 | 2,4 |
| B3 | 6,25 | 6,80 | 3,0 | 2,3 |
| B4 | 4,55 | 5,12 | 1,3 | 3,9 |
| B4 | 7,55 | 10,00 | 3,3 | 3,0 |
| B5 | 5,55 | 5,40 | 2,2 | 2,5 |
| B10 | 7,25 | 16,30 | 8,3 | 2,0 |
| B15 | 5,55 | 3,40 | 1,6 | 2,1 |
| C3 | 4,25 | 2,70 | 1,0 | 2,7 |
| C5 | 4,60 | 6,40 | 3,1 | 2,1 |
| C5 | 7,65 | 7,50 | 2,9 | 2,6 |
| C7 | 6,15 | 3,70 | 1,3 | 2,8 |
| C8 | 5,25 | 7,70 | 1,9 | 4,1 |
| C9 | 6,60 | 13,20 | 4,5 | 2,9 |
| C12 | 4,35 | 6,80 | 3,4 | 2,0 |
| C12 | 7,40 | 61,00 | 30,8 | 2,0 |
| C17 | 6,45 | 6,20 | 1,8 | 3,4 |
| C18 | 5,65 | 3,50 | 1,6 | 2,2 |
| M1 | 5,95 | 7,20 | 2,1 | 3,4 |
| M2 | 7,25 | 11,30 | 3,2 | 3,5 |
| M3 | 6,50 | 9,50 | 4,0 | 2,4 |
| M4 | 5,25 | 8,90 | 3,1 | 2,9 |
| M4 | 7,80 | 13,10 | 5,1 | 2,6 |

Quadro 4.2; (continua).

| teste nº | profundidade (m) | Resistência do solo | | $S_E$ (sensibilidade) |
|---|---|---|---|---|
| | | inalterado (KPa) | remexido (KPa) | |
| M5 | 6,70 | 12,10 | 3,9 | 3,1 |
| M6 | 5,20 | 7,10 | 2,8 | 2,5 |
| M6 | 7,95 | 29,50 | 11,2 | 2,6 |
| M7 | 6,25 | 7,90 | 2,2 | 3,6 |
| M8 | 4,55 | 3,20 | 2,0 | 1,6 |
| M8 | 7,55 | 6,70 | 3,0 | 2,2 |
| M9 | 5,80 | 10,70 | 4,6 | 2,3 |
| M10 | 3,95 | 5,60 | 2,4 | 2,3 |
| M10 | 5,45 | 17,90 | 7,8 | 2,3 |
| M11 | 6,25 | 3,20 | 1,4 | 2,3 |
| M12 | 4,50 | 7,10 | 3,3 | 2,2 |
| M12 | 7,10 | 10,30 | 4,2 | 2,5 |
| M13 | 4,00 | 69,00 | 36,9 | 1,9 |

Quadro 4.2; (continuação).

Note-se que, sendo a sensibilidade definida em relação aos resultados de ensaios de compressão simples, os valores obtidos com o molinete podem não coincidir com os de compressão simples. Assim, definindo-se o grau de sensibilidade de uma argila ,$S_E$, como o quociente entre a resistência da amostra intacta e a resistência da amostra remoldada, as argilas podem classificar-se de acordo com a sua sensibilidade em:

- argilas insensíveis ($S_E$ =1)
- argilas pouco a medianamente sensíveis ($S_E$ =1 a 4)
- argilas sensíveis ($S_E$ =4 a 8)
- argilas extra-sensíveis ($S_E$ =8 a 16)
- argilas "rápidas" (*quick clays*) ($S_E$ >16)

A observação do quadro 4.2 dá uma ideia aproximada da sensibilidade dos solos argilosos ensaiados com o molinete. Assim, pode constatar-se que:

1. em V-27, às profundidades de 3.5, 6.5 e 7.5 metros, os valores da sensibilidade são, respectivamente, 5.6, 4.2 e 4.2; em C8, aos 5.25 metros de profundidade, a sensibilidade é igual a 4.1. Estes solos argilosos podem ser classificados, de acordo com a sua sensibilidade, em argilas sensíveis;

2. à excepção dos solos anteriores, os restantes solos argilosos podem ser classificados em argilas pouco a medianamente sensíveis.

Deve, no entanto, ter-se em mente, que não foi possível o estudo comparativo entre a sensibilidade obtida com o molinete e com os ensaios de compressão simples pelo facto destes não terem sido executados. O facto dos ensaios de molinete executados terem a identificação e as coordenadas M e P de determinado furo de sondagem constitui um indicador de que o molinete foi introduzido no furo de sondagem previamente realizado. É usual, durante a execução de sondagens convencionais parar a furação e executar ensaios de corte rotativo quando é atingida uma camada argilosa branda. Convirá enterrar, nestes casos, o molinete pelo menos até uma profundidade de 0.50 m abaixo do fundo do furo de sondagem para evitar ensaiar uma zona de solo remexido pela furação.

Reconhece-se, em geral, que os ensaios podem ser afectados por vários factores, tais como raízes, estratificação irregular, anisotropia, fissuras e blocos. Por outro lado, é especialmente adequado em argilas sensíveis de amostragem difícil ou em argilas tão moles que tornem o manuseamento das amostras impraticável como acontece com os lodos quase fluídos.

A caracterização e a interpretação dos parâmetros: profundidade, resistência ao corte máxima e resistência ao corte mínima encontram-se complementadas no capítulo 7.

# CAPÍTULO 5. Apresentação e Crítica dos Dados de Laboratório.

# 5. APRESENTAÇÃO E CRÍTICA DOS DADOS DE LABORATÓRIO.

## 5.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica de 29 amostras de solo foi efectuada de acordo com a Especificação LNEC E - 239, 1970.

A composição granulométrica das partículas de maiores dimensões, foi determinada pelo método da peneiração que obrigou o solo a passar por uma série de peneiros de malha quadrada, normalizada, e cada vez mais apertada. A série da ASTM (*American Society of Testing Materials*) empregue foi a seguinte:

| Nº do peneiro | 3/4" | 3/8" | 4 | 10 | 20 | 40 | 60 | 140 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Malha (mm) | 19.000 | 9.510 | 4.760 | 2.000 | 0.850 | 0.425 | 0.250 | 0.106 | 0.075 |

O material que ficou retido num determinado peneiro representa a fracção do solo com dimensão superior à da malha desse peneiro, mas inferior à do peneiro precedente, do conjunto de peneiros utilizado. Esse material foi pesado para averiguar que percentagem representa do peso total da amostra. Para o material passado no peneiro nº 200, cuja malha tem 0,075 mm de lado, peneiro de malha mais apertada na série, a distribuição da fracção granulométrica silto-argilosa foi realizada por sedimentação.

Na figura 5.1 localizam-se as sondagens onde foram colhidas as 29 amostras de solo e na tabela 5.1 encontra-se a respectiva descrição litológica dos estratos que cada uma representa.

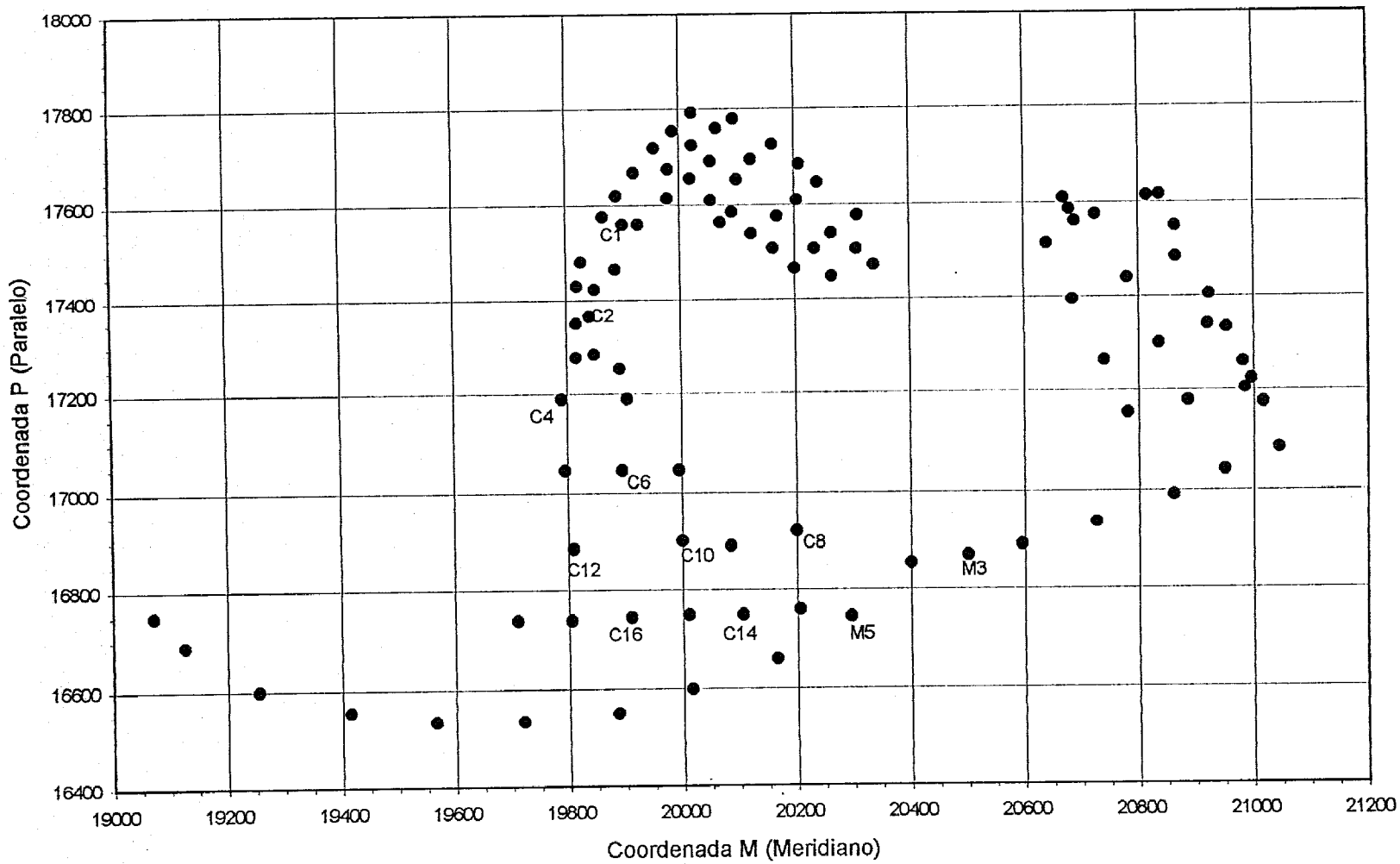



Figura 5.1 - Localização das 29 amostras intactas de solo utilizadas na determinação da análise granulométrica, teor em água, peso específico e Limites de Atterberg.

| Descrição litológica do estrato onde foi colhida a amostra de solo | Amostra (nº) |
|---|---|
| Areia média a grossa argilosa, amarela, com alguns fragmentos de conchas e cascalho, solta. DEPÓSITO MARINHO. | 401 |
| Areia média a grossa argilosa, amarela, com alguns fragmentos de conchas e cascalho, solta. DEPÓSITO MARINHO. | 402 |
| Silte arenoso (areia de grão médio), ligeiramente argiloso, negro, manchado de branco e matizado de amarelo, medianamente compacto. GRANITO DECOMPOSTO. | 403 |
| Areia grossa argilosa, cinzenta acastanhada, com alguns fragmentos de conchas, muito solta. DEPÓSITO MARINHO. | 404 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole.DEPÓSITO MARINHO. | 405 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole.DEPÓSITO MARINHO. | 406 |
| Areia média siltosa, amarela, medianamente compacta. ALUVIÃO. | 407 |
| Areia grossa argilosa, amarela, medianamente compacta. ALUVIÃO. | 408 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole.DEPÓSITO MARINHO. | 409 |
| Argila amarela e cinzenta clara, firme a dura. ALUVIÃO. | 410 |
| Argila amarela e cinzenta clara, firme a dura. ALUVIÃO. | 411 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole.DEPÓSITO MARINHO. | 412 |
| Argila arenosa (areia de grão médio), amarela e cinzenta, firme. ALUVIÃO. | 413 |
| Areia grossa argilosa, vermelha e amarela, medianamente compacta. ALUVIÃO. | 414 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole. DEPÓSITO MARINHO. | 415 |
| Argila cinzenta escura, com alguma areia fina, mole. DEPÓSITO MARINHO. | 416 |
| Silte arenoso (areia de grão médio), amarelo pálido com algumas manchas brancas, medianamente compacto. GRANITO DECOMPOSTO. | 417 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole. DEPÓSITO MARINHO. | 418 |
| Argila amarela e cinzenta clara, com bolsadas de silte, dura. ALUVIÃO. | 419 |
| Silte argiloso, branco matizado de cor de rosa, com alguma areia média, medianamente compacto.GRANITO DECOMPOSTO. | 420 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole.DEPÓSITO MARINHO. | 421 |
| Silte argilo-arenoso (areia de grão grosso), vermelho e amarelo, medianamente compacto. ALUVIÃO. | 422 |
| Argila cinzenta, com alguma areia média, muito dura. ALUVIÃO. | 423 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole. DEPÓSITO MARINHO | 424 |
| Argila vermelha, amarela e cinzenta clara, com bolsadas de silte, firme a dura. ALUVIÃO. | 425 |
| Argila cinzenta escura, com rara areia grossa, firme. DEPÓSITO MARINHO. | 426 |
| Argila cinzenta acastanhada, mole. DEPÓSITO MARINHO. | 427 |
| Argila vermelha, amarela e cinzenta clara, com rara areia média e seixo, dura. ALUVIÃO. | 428 |
| Argila arenosa (areia de grão médio), amarela acinzentada, dura. ALUVIÃO. | 429 |

Tabela 5.1

Os resultados da análise granulométrica das 29 amostras de solo estão representados nas curvas granulométricas do anexo C e na tabela 5.2. Em geral, e como se pode constatar, estes solos naturais são constituídos por partículas, cujas dimensões da fracção granulométrica mais representativa, são variáveis.

| Amostra (nº) | % Acumulada que passa nos peneiros de # (mm) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 19,000 | 9,510 | 4,760 | 2,000 | 0,850 | 0,425 | 0,250 | 0,106 | 0,075 |
| 401 | 100,0 | 90,9 | 82,5 | 52,6 | 28,8 | 19,3 | 14,9 | 11,1 | 10,4 |
| 402 | 100,0 | 98,1 | 90,1 | 57,2 | 33,0 | 21,1 | 16,9 | 13,6 | 13,0 |
| 403 | 100,0 | 100,0 | 95,1 | 72,2 | 55,3 | 42,1 | 35,0 | 25,0 | 22,0 |
| 404 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,5 | 98,5 | 97,5 | 96,0 | 95,2 |
| 405 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,4 | 99,1 | 98,5 | 97,5 | 97,0 |
| 406 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,5 | 98,7 | 98,3 | 97,2 | 94,9 |
| 407 | 100,0 | 100,0 | 96,0 | 74,2 | 53,2 | 35,5 | 29,9 | 25,7 | 24,8 |
| 408 | 100,0 | 99,3 | 86,4 | 57,0 | 44,5 | 38,9 | 36,4 | 32,7 | 31,6 |
| 409 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 99,3 | 98,7 | 98,5 | 98,3 |
| 410 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,8 | 96,8 | 93,6 | 91,7 | 90,2 | 89,9 |
| 411 | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 97,5 | 93,1 | 89,7 | 87,6 | 85,1 | 84,5 |
| 412 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,4 | 99,2 | 98,1 | 97,7 | 97,5 |
| 413 | 100,0 | 100,0 | 99,3 | 87,4 | 69,7 | 59,5 | 54,3 | 49,8 | 48,7 |
| 414 | 100,0 | 100,0 | 95,5 | 66,4 | 40,5 | 27,1 | 22,1 | 17,6 | 16,7 |
| 415 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,8 | 98,4 | 98,1 | 97,6 | 97,3 |
| 416 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 89,6 | 85,1 | 78,7 | 71,1 | 70,0 |
| 417 | 100,0 | 100,0 | 98,8 | 92,0 | 82,2 | 73,5 | 67,1 | 54,6 | 51,0 |
| 418 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,9 | 99,6 | 99,5 | 99,3 | 99,1 |
| 419 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 97,3 | 95,5 | 94,7 | 94,0 | 89,6 | 89,4 |
| 420 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 97,1 | 66,6 | 47,0 | 40,0 | 32,7 | 31,4 |
| 421 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,7 | 99,6 | 98,6 | 98,1 | 97,2 |
| 422 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,3 | 91,8 | 90,1 | 88,1 | 81,6 | 80,4 |
| 423 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 85,8 | 77,6 | 66,9 | 54,4 | 52,7 |
| 424 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 99,6 | 99,4 | 98,7 | 98,4 |
| 425 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,7 | 96,8 | 95,4 | 93,1 | 92,4 |
| 426 | 100,0 | 100,0 | 99,7 | 93,6 | 80,8 | 73,2 | 68,8 | 63,3 | 60,9 |
| 427 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,9 | 99,8 | 99,7 | 99,5 | 99,4 |
| 428 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 92,5 | 86,1 | 83,2 | 81,8 | 79,4 | 78,3 |
| 429 | 100,0 | 100,0 | 94,4 | 90,1 | 74,7 | 60,8 | 52,9 | 46,5 | 45,3 |

Tabela 5.2 - Amostras Intactas. Análise Granulométrica.

### 5.1.1 Importância da Análise Granulométrica nos Solos Granulares

É em especial nos solos granulares[1] que o comportamento é altamente dependente da forma e dimensões das respectivas partículas. À partida, os solos de granulometria mais variada apresentam índices de vazios em média, menores do que os solos mais uniformes. Dado na região ser prática corrente o recurso a terrenos de empréstimo retirados do mar, deixa-se aqui como sugestão a aplicação da interpretação anterior à detecção dos locais onde eventualmente possam ser identificados os materiais com melhores qualidades quando aplicados como materiais de aterro.

### 5.1.2 Considerações Finais

As características granulométricas dos solos amostrados revelam algumas diferenças nos respectivos ambientes de deposição.

Correlacionados com as flutuações do nível do mar, referidas no capítulo 2, encontram-se os solos provenientes das aluviões plistocénicas depositadas durante o final do Plistocénico, quando o nível do mar se situava bastante abaixo da sua actual posição; à semelhança dos depósitos quaternários de Hong Kong, possivelmente, também estes depósitos foram dispostos pela acção conjunta de correntes fluviais e litorais sobre a superfície irregular do substrato granítico mais ou menos alterado (figura 2.8 e 2.9, capítulo 2). As cores claras dos sedimentos aluviais, nomeadamente amarelo e vermelho, indicam que a sua deposição ocorreu em ambiente oxidante. Contudo, a presença de

[1] Designam-se desta forma os solos essencialmente constituídos por grãos que se distinguem macroscopicamente, ou seja, siltes e, em especial, areias e seixos.

depósitos aluviais escuros, acinzentados, justificam a existência de condições redutoras como por exemplo em charcos e pântanos de maré, situados no leito de inundação destes canais antigos que actualmente se encontram preenchidos.

Intercalados nas aluviões encontram-se, como facilmente se pode constatar pelo exposto no capítulo 3, níveis de depósitos marinhos, que deverão, talvez, corresponder ao último período interglaciar. Ao final da transgressão, ocorrida entre 15 000 e 10 500 anos atrás (figura 2.3, capítulo 2), estarão eventualmente associados os solos mais finos, silto-argilosos e argilosos, da formação dos depósitos marinhos depositados geralmente sobre a formação aluvionar; desde então o nível do mar continuou a descer desde o início do Holocénico até há 6 000 anos. Esta descida permite explicar a ocorrência dos solos grosseiros dos depósitos marinhos holocénicos.

Por conseguinte, os solos mais finos, com maior representatividade da fracção silto-argilosa, reflectem, possivelmente, ambientes de deposição relacionados com fases transgressivas do nível do mar durante o Plistocénico e o Holocénico.

## 5.2 Limites de Consistência (ou Limites de Atterberg)

A análise granulométrica foi completada com a determinação dos valores para o limite de liquidez, $w_L$, o limite de plasticidade, $w_P$, e o índice de plasticidade, $I_P$, cujos resultados se encontram na tabela 5.3, expressos em percentagem e arredondados às unidades.

O limite de liquidez marca a transição do estado líquido para o estado plástico e indica se o solo no seu estado natural se encontra ou não perto do limite de liquidez.

O limite de plasticidade marca a transição do estado plástico para o estado sólido e indica a gama de teores em humidade na qual o solo se compacta plasticamente.

O índice de plasticidade, $I_P$, é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade ($I_P = w_L - w_P$).

Note-se que estes três parâmetros geotécnicos, $w_L$, $w_P$ e $I_P$, são determinados sobre amostras de solo que ficam completamente remexidas, transformando-se numa mistura uniforme de água e solo. Não dão, assim, nenhuma indicação do arranjo estrutural ou de ligações residuais entre as partículas do solo natural porque são destruídas na preparação da amostra para a realização do ensaio.

Segundo a Norma Portuguesa NP-143, que define e fixa os processos de determinar os limites de consistência[2] de solos para efeitos de Engenharia Civil, a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade é somente aplicável a solos com cerca de 30% ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0.05 mm. Como foram excluídos desta determinação os solos nºS 412, 413, 418, 421, 424 e 427, embora os motivos da exclusão sejam desconhecidos, julga-se que deverão estar relacionados com uma insuficiente

[2] O conjunto das condições físicas dum solo para um determinado teor em humidade denomina-se consistência. A consistência é, pois, a forma como o solo se opõe à sua deformação e é, portanto, uma indicação do seu comportamento reológico. As especificações para separar os estados de consistência do solo baseiam-se nos trabalhos de Atterberg (1908), por isso são chamados Limites de Atterberg, que são os teores em humidade para os quais a consistência do solo muda de um estado para outro.

| Amostra (nº) | $W_L$ (%) | $W_P$ (%) | $I_P$ (%) |
|---|---|---|---|
| 401 | 50 | 29 | 21 |
| 402 | 48 | 24 | 24 |
| 403 | N.P. | N.P. | N.P. |
| 404 | 59 | 34 | 25 |
| 405 | 57 | 32 | 25 |
| 406 | 59 | 31 | 28 |
| 407 | 30 | 16 | 14 |
| 408 | 52 | 42 | 10 |
| 409 | 61 | 30 | 31 |
| 410 | 52 | 24 | 28 |
| 411 | 49 | 23 | 28 |
| 412 | / | / | / |
| 413 | / | / | / |
| 414 | 57 | 33 | 24 |
| 415 | 55 | 31 | 24 |
| 416 | 36 | 20 | 16 |
| 417 | 34 | 27 | 7 |
| 418 | / | / | / |
| 419 | 48 | 22 | 26 |
| 420 | 55 | 37 | 18 |
| 421 | / | / | / |
| 422 | 39 | 19 | 20 |
| 423 | 37 | 19 | 18 |
| 424 | / | / | / |
| 425 | 51 | 23 | 28 |
| 426 | 39 | 21 | 18 |
| 427 | / | / | / |
| 428 | 47 | 24 | 23 |
| 429 | 53 | 28 | 25 |

Tabela 5.3

quantidade de amostra ou com o facto de alguns solos serem predominantemente arenosos, para os quais o ensaio, mesmo quando possível, perde o seu significado. No caso da amostra nº 403 não foi possível a determinação dos limites de consistência e, como tal, os registos indicam que o solo é "não plástico".

### 5.2.1 Relação Entre os Limites de Atterberg e a Composição do Solo

Com efeito, é nos solos com cerca de 30% ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0.05 mm, que a quantidade de água presente afecta de modo determinante o respectivo comportamento mecânico. No entanto, para os solos mais grosseiros, siltes e, sobretudo, areias e seixos, assumem importância naquele comportamento as dimensões, a forma e a arrumação das respectivas partículas; a comparação do teor em água com os limites de consistência pode fornecer informações muito úteis sobre o seu comportamento.

A determinação dos limites de consistência é, como se depreende, efectuada sobre solos finos, solos argilosos. Os limites, de plasticidade e de liquidez, permitem a reflexão, embora grosseira, sobre os tipos e quantidades de minerais de argila existentes na fracção fina do solo. Devem, contudo, ser considerados como fronteiras de difícil definição entre os estados de consistência em que os solos finos podem existir, e não se dar demasiado significado aos valores exactos determinados.

Partindo do princípio de que os limites estão relacionados com a quantidade de água que adere às superfícies das partículas de solo será de esperar que a quantidade de água adsorvida pelo solo seja principalmente dependente da quantidade da argila presente no solo. Com base neste conceito Skempton, (1953), definiu o Coeficiente de Actividade da

Argila, $A_t$, ($A_t$ = índice de plasticidade / % de peso dos finos menores que 2μ). $A_t$ exprime a grandeza relativa das forças de superfície entre partículas.

Somente nas amostras que constam da tabela 5.4 foi possível calcular o índice de actividade de Skempton. De acordo com a respectiva Actividade, o valores obtidos para as amostras n$^{os}$ 420 e 429 correspondem a argilas normais, ($0.75 < A_t < 1.25$). As outras amostras correspondem a argilas inactivas, ($A_t < 0.75$), sugerindo uma composição mineralógica da fracção argilosa pouco variável.

Os limites têm ainda um papel relevante na identificação e classificação de solos.

Na tabela 5.5 pode ver-se, onde foi possível proceder à classificação geotécnica, a classificação unificada e a classificação para fins rodoviários (com os respectivos índices de grupo).

| Amostra (nº) | Actividade de Skempton |
|---|---|
| 404 | 0,42 |
| 405 | 0,42 |
| 406 | 0,64 |
| 409 | 0,53 |
| 410 | 0,60 |
| 411 | 0,62 |
| 415 | 0,47 |
| 416 | 0,46 |
| 417 | 0,44 |
| 419 | 0,50 |
| 420 | 0,82 |
| 422 | 0,49 |
| 423 | 0,50 |
| 425 | 0,51 |
| 426 | 0,72 |
| 428 | 0,59 |
| 429 | 0,93 |

Tabela 5.4

| Amostra (nº) | Tipo de formação | Classificação unificada | Classificação para fins rodoviários |
|---|---|---|---|
| 401 | Depósito marinho | SP-SM | A-2-7 (0) |
| 402 | Depósito marinho | SC | A-2-7 (0) |
| 403 | Granito decomposto | / | A-1-b (0) |
| 404 | Depósito marinho | OH ou MH | A-7-5 (18) |
| 405 | Depósito marinho | OH ou MH | A-7-5 (17) |
| 406 | Depósito marinho | CH ou OH ou MH | A-7-5 (19) |
| 407 | Aluvião | SC | A-2-6 (0) |
| 408 | Aluvião | SM | A-2-5 (0) |
| 409 | Depósito marinho | CH ou OH ou MH | A-7-5 (20) |
| 410 | Aluvião | CH | A-7-6 (18) |
| 411 | Aluvião | CL | A-7-6 (18) |
| 412 | Depósito marinho | / | / |
| 413 | Aluvião | / | / |
| 414 | Aluvião | SM | A-2-7 (0) |
| 415 | Depósito marinho | OH ou MH | A-7-5 (17) |
| 416 | Depósito marinho | CL | A-6 (9) |
| 417 | Granito decomposto | ML ou OL | A-4 (3) |
| 418 | Depósito marinho | / | / |
| 419 | Aluvião | CL | A-7-6 (16) |
| 420 | Granito decomposto | / | A-2-7 (1) |
| 421 | Depósito marinho | / | / |
| 422 | Aluvião | CL | A-6 (12) |
| 423 | Aluvião | CL | A-6 (7) |
| 424 | Depósito marinho | / | / |
| 425 | Aluvião | CH | A-7-6 (17) |
| 426 | Depósito marinho | CL | A-6 (8) |
| 427 | Depósito marinho | / | / |
| 428 | Aluvião | CL | A-7-6 (15) |
| 429 | Aluvião | / | A-7-6 (7) |

Tabela 5.5 - Classificação geotécnica dos solos amostrados.

## 5.3 Teor em Água, w. Peso Específico (ou Peso Volúmico).

A tabela 5.6 regista, para os solos amostrados, os dados destes dois parâmetros geotécnicos. Os solos em estudo são amostras saturadas que apresentam grandes variações do teor em água, w (%), com a profundidade (figura 5.2). Parte significativa das amostras exibe teores superiores ao limite de liquidez, tratando-se, pois, de solos sensíveis;. na figura 5.3 está representada a relação entre o teor em água, w, e o limite de liquidez.

O peso específico natural, $\gamma_n$ (g/cm$^3$), ou peso específico do terreno, foi determinado a partir do quociente entre o peso natural do provete, em gramas, e o volume do mesmo provete, em cm$^3$.

| Amostra (nº) | w (%) | Peso específico natural (g/cm3) |
|---|---|---|
| 401 | 14,7 | 2,19 |
| 402 | 11,6 | 2,24 |
| 403 | 23,3 | 1,65 |
| 404 | 94,4 | 1,50 |
| 405 | 85,8 | 1,53 |
| 406 | 85,1 | 1,51 |
| 407 | 11,8 | 2,22 |
| 408 | 26,2 | 1,95 |
| 409 | 88,5 | 1,38 |
| 410 | 30,0 | 1,80 |
| 411 | 31,7 | 1,84 |
| 412 | 86,7 | 1,38 |
| 413 | 18,2 | 2,07 |
| 414 | 18,4 | 1,63 |
| 415 | 80,5 | 1,54 |
| 416 | 35,7 | 1,86 |
| 417 | 18,7 | 2,12 |
| 418 | 88,0 | 1,66 |
| 419 | 31,4 | 1,93 |
| 420 | 31,7 | 1,83 |
| 421 | 87,1 | 1,48 |
| 422 | 28,9 | 1,64 |
| 423 | 18,8 | 2,08 |
| 424 | 95,3 | 1,60 |
| 425 | 30,1 | 2,02 |
| 426 | 25,4 | 2,00 |
| 427 | 88,7 | 1,99 |
| 428 | 32,9 | 2,00 |
| 429 | 30,3 | 1,92 |

Tabela 5.6

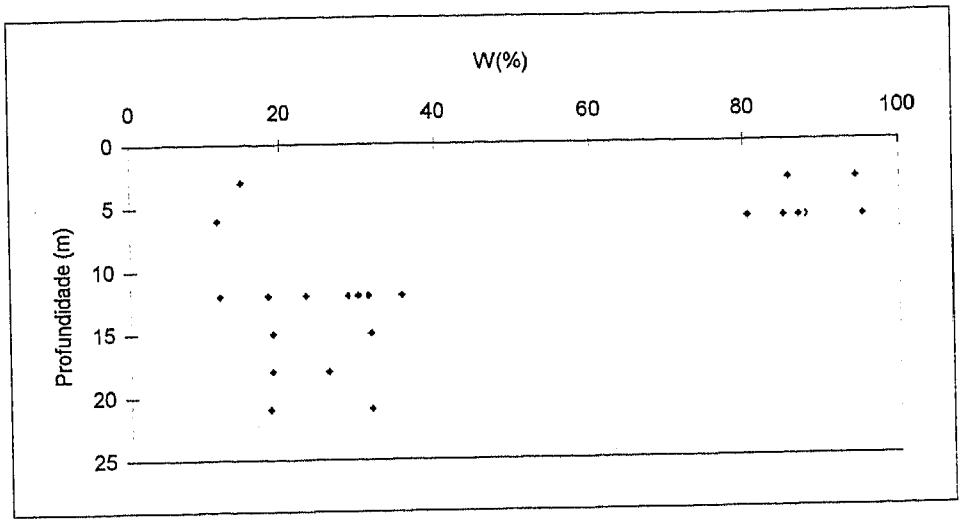



Figura 5.2

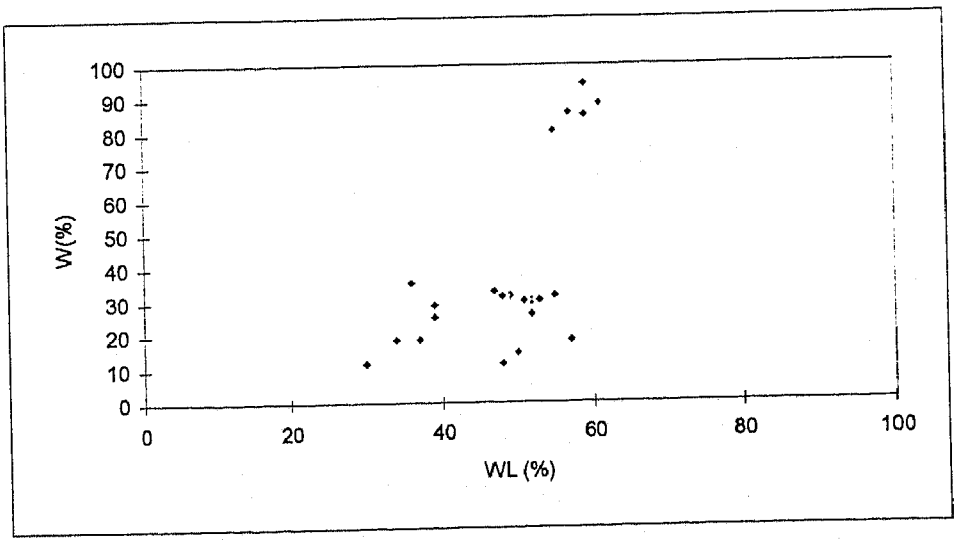



Figura 5.3

## 5.4 Ensaios de Consolidação

O objectivo do ensaio de consolidação consiste na obtenção de parâmetros utilizados na previsão de assentamentos. O ensaio permite traçar:

– a curva de compressibilidade que relaciona o índice de vazios, e, com a tensão, $\sigma$, aplicada (efectiva). Esta curva permite obter os parâmetros necessários ao cálculo dos assentamentos totais.

– a curva de consolidação que relaciona os assentamentos com os tempos, para cada nível de tensão considerado. A curva permite obter o parâmetro necessário ao cálculo dos assentamentos ao longo do tempo.

Nos relatórios consultados apenas constam os gráficos das curvas de compressibilidade acompanhados dos registos do índice de vazios, e, da tensão de pré-consolidação ou tensão de adensamento em kg/cm$^2$, $\sigma_P$, e do índice de compressibilidade do ramo virgem, $C_c$.

Na tabela 5.7 constam os parâmetros retirados deste ensaio tecnológico.

A informação conjunta das tabelas 5.1 e 5.7 permite concluir que os solos das amostras ensaiadas atestam bem a grande dispersão dos resultados, nas formações dos depósitos marinhos e das aluviões, por se tratar de formações heterogéneas quanto à consolidação.

| Amostra (nº) | Profundidade (m) | Sondagem | Índice de vazios (e) | | Tensão de pré-consolidação ($Kg\ cm^{-2}$) | Índice de compressibilidade ($C_c$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | inicial | final | | |
| 402 | 6,00 - 6,45 | C1 | 0,4238 | 0,3522 | 1,40 | 0,0728 |
| 407 | 12,00 - 12,45 | C6 | 0,3212 | 0,2541 | 1,70 | 0,0576 |
| 410 | 12,00 - 12,45 | C8 | 0,8014 | 0,6743 | 2,20 | 0,2200 |
| 414 | 21,00 - 21,45 | C10 | 0,3810 | 0,2890 | 1,40 | 0,0680 |
| 420 | 21,00 - 21,45 | C14 | 0,9600 | 0,8850 | 2,30 | 0,1140 |
| 422 | 12,00 - 12,45 | C16 | 0,4650 | 0,3410 | 1,70 | 0,1650 |
| 423 | 15,00 - 15,45 | C16 | 0,6180 | 0,5710 | 1,50 | 0,1570 |
| 427 | 6,00 - 6,45 | M5 | 2,2670 | 1,2510 | 0,65 | 0,8050 |
| 429 | 18,00 - 18,45 | M5 | 0,9220 | 0,7140 | 2,00 | 0,3370 |

Tabela 5.7 - Parâmetros do Ensaio de Consolidação: índice de vazios; tensão de pré-consolidação e índice de compressibilidade.

## 5.5 Ensaios Triaxiais (Tipo Consolidados não Drenados)

Estes ensaios, sempre do tipo consolidado não drenado, destinaram-se à determinação dos parâmetros de resistência ao corte, com resultados expressos em termos de tensões efectivas, coesão, c', e ângulo de atrito, $\phi'$. Nos ensaios triaxiais do tipo consolidado não drenado a drenagem é permitida após a aplicação da pressão hidrostática da célula, de forma a que o provete consolide totalmente sob este estado de tensão. Porém, durante a aplicação da tensão desviadora ($\sigma_1$ - $\sigma_3$) não é permitida drenagem, podendo-se medir as tensões neutras geradas.

Os resultados encontram-se condensados na tabela 5.8; os valores de c' são muito variáveis; os valores de $\phi'$ são muito baixos e, relativamente aos restantes, poder-se-ão explicar por uma granularidade mais fina.

Um aspecto marcante deduzido dos resultados dos ensaios é constituído pelos valores de $\phi'$ compreendidos entre 14 e 36°; os valores de $\phi'$ mais elevados devem-se à presença de clastos mais angulosos o que justifica ângulos de atrito interno desta ordem de grandeza.

As areias (amostras n$^{os}$ 402, 407 e 410) apresentam coesões baixas ou nulas e ângulos de atrito elevados, por vezes superiores a 35° (amostra 402).

| Amostra (nº) | Sondagem | Profundidade (m) | Descrição litológica da amostra | c' (KPa) | Φ (graus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 402 | C1 | 6,00 - 6,45 | Silte areno-argiloso amarelo, duro. | 10,82 | 36,37 |
| 407 | C6 | 12,00 - 12,45 | Areia siltosa castanha amarelada, compacta | 0,00 | 34,33 |
| 410 | C8 | 12,00 - 12,45 | Silte argilo-arenoso cinzento acastanhado, firme. | 5,92 | 25,84 |
| 414 | C10 | 21,00 - 21,45 | Silte areno-argiloso vermelho amarelado, muito firme. | 31,25 | 24,90 |
| 420 | C14 | 21,00 - 21,45 | Silte arenoso com cascalho, cor de rosa, firme. | 31,99 | 31,07 |
| 422 | C16 | 12,00 - 12,45 | Silte argilo-arenoso acastanho acinzentado, firme. | 27,11 | 29,38 |
| 423 | C16 | 15,00 - 15,45 | Silte argilo-arenoso cinzento, firme. | 38,25 | 14,14 |
| 427 | M5 | 6,00 - 6,45 | Silte argiloso, cinzento, muito mole. | 13,24 | 22,50 |
| 429 | M5 | 18,00 - 18,45 | Silte areno-argiloso, amarelo acastanhado, firme. | 29,28 | 17,58 |

Tabela 5.8

# CAPÍTULO 6. Aplicação da Análise de Dados a Dados Geotécnicos: Análise Grupal.

# 6. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS A DADOS GEOTÉCNICOS: ANÁLISE GRUPAL.

## 6.1 Generalidades

Considerando a Análise de Dados como um conjunto de técnicas de processamento de dados com suporte teórico no domínio da Estatística Multidimensional e da Álgebra Linear, pretende-se, ao longo dos capítulos 6 e 7, mostrar que o verdadeiro conhecimento geológico e geotécnico de determinada região poderá, também, ser apreendido pela detecção e compreensão das relações existentes entre a informação coligida durante uma campanha de reconhecimento e de prospecção geotécnica.

A Análise de Dados detem um papel fulcral na medida em que, a partir de um conjunto de dados informativos, mais ou menos avulso, sobre determinado fenómeno, tem por finalidade sumariar a informação de partida segundo um pequeno número de factores (métodos factoriais) detectando a existência de relações entre esses dados, permitindo a descrição do fenómeno e, num outro plano, implica a criação de grupos de indivíduos ou propriedades com elevada similitude relativamente a um critério definido *à priori* (métodos de classificação - Análise Grupal).

Assim, uma vez estabelecidas as duas metodologias que seguidamente se apresentam e, após crítica dos dados do ponto de vista semântico[1] foi elaborado um estudo dos valores estatísticos básicos das propriedades presentes em cada um dos ensaios e um estudo das correlações existentes entre as propriedades. Seguidamente, deu-se início ao tratamento estatístico multidimensional dos dados tendo sido utilizado como *software* o

[1] Ou seja: significado das linhas e colunas da matriz, representatividade do conjunto dos indivíduos e das propriedades, ausência de valores, ...

Programa *STATISTICA for Windows*, versão 4.0, nomeadamente os módulos *Cluster Analysis* (Módulo de Análise Grupal) e *Factor Analysis* (Módulo de Análise Factorial).

Na aplicação do método classificativo desenvolvido neste capítulo, denominado Análise Grupal (Agrupamento Hierárquico) e considerado nesta dissertação como metodologia 1, utilizou-se como *input* um quadro de dados de partida que resultou de uma crítica exaustiva e de um pré-processamento. Estes procedimentos forneceram indicações suficientes para ultimar e validar a aplicação de tal método.

No capítulo 7, depois de submeter os dados ao método descritivo de Análise Factorial, denominado Análise em Componentes Principais (ACP) e considerado como metodologia 2, que conduziu a uma série de *outputs* (cargas dos factores, projecções das cargas em gráficos planos), procedeu-se à sua interpretação.

A interpretação relativa a alguns dos ensaios desta metodologia, como se pode averiguar ao longo do respectivo capítulo, levou a retomar o estudo inicial e a reformular o quadro dos dados de partida.

Durante o decurso do trabalho compararam-se também os resultados da interpretação dos diferentes ensaios relativos a cada metodologia.

## 6.2 Metodologia 1

### 6.2.1 Introdução

Nesta metodologia aplicou-se o método de Análise Grupal (*Cluster Analysis*).

A Análise Grupal é o nome dado a um conjunto de técnicas utilizadas para classificar observações em grupos, sendo cada um deles mais ou menos homogéneo e distinto dos outros. Pelo facto de não existir uma solução analítica única para este problema, e sendo as técnicas hierárquicas as mais utilizadas, apenas se aborda o Agrupamento Hierárquico; o algorítmo desta técnica junta as observações mais semelhantes e liga sucessivamente a próxima observação mais semelhante a estas. Inicialmente é calculada uma matriz de semelhanças n x n entre todas as observações; os pares com maior semelhança são agrupados, e a matriz recalculada; o processo é iterado sucessivamente até se reduzir a matriz de semelhanças a uma dimensão 2 x 2. Os níveis de semelhança a que as observações se agrupam são utilizados para construir um dendograma (*output* gráfico).

Concretizando, ao dispor-se de um conjunto de sondagens geológicas (97 indivíduos) com as respectivas determinações (relativas à resistência mecânica à penetração) em escala ordinal, em 21 profundidades (propriedades), pretende-se, com esta metodologia 1, obter agrupamentos (segundo uma classificação hierárquica em modo-R), correspondentes a grupos de profundidades (horizontes) onde possam ser detectados, em cada um destes grupos, zonamentos cartográficos obtidos através de uma classificação hierárquica em modo-Q; o modo-Q estabelece relações entre os indivíduos, tentando descobrir padrões comuns. Estes zonamentos são definidos por agrupamentos de sondagens (indivíduos) representativos de locais geográficos constituídos por formações lito-

estratigráficas, com um determinado comportamento quanto à resistência mecânica (resistência à penetração).

Com vista a atingir os objectivos acima expressos, a metodologia 1 compreende a sequência de ensaios que se apresentam em 6.2.5 e em 6.2.6.

### 6.2.2 Crítica e Pré-processamento dos Dados

O conjunto de valores (medidas) de N obtidos no ensaio SPT realizados em cada sondagem geológica (indivíduo) constituem os dados iniciais. Ao se dispor de 97 sondagens (n = 97 indivíduos), nas quais foi medida a resistência mecânica do solo, N, em m profundidades (propriedades), os dados são uma matriz 97 x m, sendo o valor de m variável de sondagem para sondagem. Visto ser a sondagem B3 a que apresenta valores de N a profundidades mais elevadas, m corresponde a cada um dos espaçamentos de 3 em 3 metros de profundidade, aos quais foi executado o ensaio SPT nesta sondagem; assim, generalizou-se, para todas as sondagens, m=21.

Note-se que no capítulo 4 desta dissertação se procurou justificar a notória ausência, a determinadas profundidades, de certos valores de N dos dados iniciais, facilmente percebida pela observação dos *logs* do anexo A.

Por conseguinte, visto o espaçamento fixo de execução do ensaio, possivelmente pré-determinado, não ter sido respeitado em algumas das sondagens, foi necessário proceder em primeiro lugar à uniformização (correcção) de N para intervalos de profundidade constantes.

Desta forma, estabeleceu-se, para espaçamento fixo, a profundidade de 3 metros por ser aquela que possui informação de valores de N comuns às duas campanhas de prospecção geotécnica.

Seguidamente foram estimados alguns valores de N, à partida inexistentes, para estas novas profundidades; a estimação obedeceu aos seguintes critérios:

1. quando, à profundidade corrigida, as características litológicas (descritas nos *logs*) da formação são as mesmas que as do(s) ensaio(s) executado(s) nessa formação, então, o valor de N é o obtido para a profundidade mais próxima da profundidade corrigida.

2. quando a nova profundidade passa a representar um outro tipo de litologia é considerado, neste caso, o valor de N nesta litologia que mais próximo se encontra da profundidade em questão;

3. se, para a respectiva profundidade, na sondagem onde se efectua a estimação do valor de N não há nenhum valor do ensaio, então, deve procurar-se o valor de N em outra sondagem onde existe a mesma litologia e um tipo de perfil litológico semelhante;

4. se a profundidade corrigida passar a representar zonas onde ocorre ou penetração incompleta do amostrador Terzaghi ou o substrato granítico, então, não se regista nenhum valor de N.

Deste pré-processamento dos dados obteve-se o quadro 6.1 (a) do anexo D que ainda não constitui a matriz de partida. Para eliminar as ausências, presentes neste quadro, procedeu-se à recodificação[2] dos dados. À semelhança do que acontece em Hong Kong

[2] Entende-se aqui por recodificação dos dados todo o conjunto de transformações, passagem para a escala ordinal de medida apresentada na figura 6.2, a que os dados foram sujeitos.

também no Território de Macau e, nomeadamente, na Baía da Praia Grande, têm sido atingidos valores de N muito elevados em ensaios realizados em granitos decompostos. Segundo Fonseca Marques, Lumb, 1977, (*in* Howat, 1985) propôs correlações entre a densidade relativa e N para granitos decompostos, (figura 6.1).

| Densidade Relativa | N de SPT |
|---|---|
| Solto | 3 - 6 |
| Médio | 7 - 50 |
| Denso | 51 - 250 |

Figura 6.1 - Correlação entre N de SPT e a densidade relativa para granitos decompostos e muito alterados, *in* Fonseca Marques (segundo Lumb,1977, *in* Howat, 1985).

A proposta de Lumb foi o ponto de partida para a recodificação dos dados. Assim, construiu-se a escala ordinal de medida representada na figura 6.2.

Note-se que esta escala, contrariamente à proposta de Lumb, destinada apenas a granitos decompostos, engloba além de todas as formações lito-estratigráficas onde o ensaio foi executado com penetração completa do amostrador Terzaghi, (aterro, depósito marinho, aluvião e granito decomposto), a formação dos granitos decompostos na qual resultou penetração incompleta do amostrador e a formação contituída pelo substrato granítico onde o ensaio não é exequível.

Os dados foram ordenados segundo uma hierarquia de estados do comportamento geotécnico relativo à resistência à penetração mecânica; assim, atribuiu-se à classe de N (1 - 6) o valor ordinal 1, à classe de N (7 - 50) o valor ordinal 2 e à classe de N (51- 250) o valor ordinal 3. A escala foi completada com o valor ordinal 4 para a ocorrência de valores de N com penetração incompleta e, finalmente, para a presença de rocha foi atribuído o valor ordinal 5.

| | |
|---|---|
| 1 | N de 1 a 6 |
| 2 | N de 7 a 50 |
| 3 | N de 51 a 250 |
| 4 | Penetração incompleta do amostrador Terzaghi |
| 5 | Presença de substrato rochoso |

Figura 6.2 - Escala ordinal.

Esta recodificação teve por objectivo, através da escala ordinal surgida em consequência de uma ausência de elementos e adoptada como metodologia, assegurar a homogeneidade das propriedades (profundidades) submetidas à análise. O significado prático conseguido com este procedimento, inerente à construção do quadro de partida destinado à Análise Grupal, reside em permitir incorporar nos dados iniciais um conjunto de informação geotécnica mais abrangente e com mais significado para o estudo em questão.

Chama-se a atenção para o facto desta escala ser apenas uma entre eventuais propostas de recodificação dos dados[3].

Sendo do conhecimento que os valores pertencentes ao sistema ordinal só admitem a igualdade e a relação de ordem, então, é possível estabelecer, entre os dados de partida para a análise grupal (quadro 6.1 (b) do anexo D), uma relação de ordem parcial. Esta caracteriza-se formalmente pelas propriedades de reflexividade, anti-simetria e transitividade[4].

O ficheiro de partida possui, como já foi referido, 97 sondagens (indivíduos) e 21 profundidades (variáveis ou propriedades).

As sondagens estão codificadas com o nome que possuem nos registos dos relatórios consultados precedido da letra "S"[5]; assim, por exemplo, a sondagem 1 está codificada com o nome S1. Cada sondagem contém informação em 21 produndidades.

A codificação das profundidades, referenciadas à cota da boca do furo de sondagem, é a seguinte:

Z1: 1.5 metros
Z2: 4.5 metros
Z3: 7.5 metros
Z4: 10.5 metros
Z5: 13.5 metros
Z6: 16.5 metros
Z7: 19.5 metros
Z8: 22.5 metros

[3] Chama-se a atenção para o facto da análise de dados produzir resultados diferentes quando a codificação das variáveis é alterada, sendo pois necessário interpretar os resultados atendendo à codificação ensaiada.

[4] Sejam E um conjunto e $x \sim y$ uma relação em E. Esta relação é uma relação de ordem parcial se:

(a) $\forall x, x \sim x$ (reflexividade)

(b) $\forall x, y \in E, x \sim y, y \sim x \Rightarrow y = x$ ( anti-simetria)

(c) $\forall x, y, z \in E, x \sim y$ e $y \sim z, \Rightarrow x \sim z$ (transitividade).

[5] Não foi possível identificar as sondagens com os mesmos nomes que constam nos relatórios porque o módulo *Cluster Analysis* do programa *Statística* não reconhece nomes onde apenas figurem caracteres numéricos.

Z9: 25.5 metros
Z10: 28.5 metros
Z11: 31.5 metros
Z12: 34.5 metros
Z13: 37.5 metros
Z14: 40.5 metros
Z15: 43.5 metros
Z16: 46.5 metros
Z17: 49.5 metros
Z18: 52.5 metros
Z19: 55.5 metros
Z20: 58.5 metros
Z21: 61.5 metros

Então o quadro dos dados de partida, sobre o qual se aplicou o Método de Análise Grupal, está transcrito sob a forma de uma matriz de dimensões 97 x 21, contendo em linha e em coluna os respectivos identificadores.

### 6.2.3 Critérios de Distância e de Aglomeração Utilizados pelo Algorítmo de Classificação Hierárquica Ascendente

A Análise Grupal foi utilizada como instrumento definidor de tipologias, isto é, enquanto "ferramenta" que permite a formação de grupos de sondagens (indivíduos) ou profundidades (propriedades) com elevado grau de similitude entre si.

Dada a natureza dos dados optou-se por utilizar como medida de similitude a percentagem de desacordo (*percent disagreement*); esta medida é particularmente utilizada quando os dados em análise estão categorizados. O seu cálculo é determinado pela expressão:

$$\text{distância } (x , y) = (\text{número de } x_i \neq y_i) / i ,$$

em que:

$x_i$ ( $i = 1, 2, \cdots , n$ ) - nº de classes contidas em x,

$y_i$ ( $i = 1, 2, \cdots , n$ ) - nº de classes contidas em y.

Quanto ao critério de aglomeração optou-se pelo Método de Ward (*Ward's method*); este método utiliza na análise a aproximação da variância (semelhança da variância), para avaliar as distâncias entre grupos (*clusters*); o método tenta minimizar as somas quadráticas entre dois hipotéticos grupos que eventualmente possam ser formados em cada passo do algorítmo. Note-se que os critérios adoptados, comuns a todos os ensaios desenvolvidos na metodologia 1, foram ajustados pelos dois tipos de modos de análise:

1. modo-Q — deste modo de análise resultou a agregação sucessiva das 97 sondagens (indivíduos ou linhas da matriz);

2. modo-R — com a análise em modo-R obteve-se a classificação das profundidades (ou colunas da matriz).

### 6.2.4 Tipo de *Outputs* Produzidos e Interpretação

Obviamente, os algorítmos englobados dentro dos respectivos modos de análise assentaram nos critérios de similitude e de aglomeração escolhidos em função da natureza ordinal dos dados. Com efeito estes parâmetros condicionaram os resultados obtidos. Assim, através da aplicação da metodologia 1 em cada ensaio, foram produzidos os seguintes *outputs*:

- matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes propriedades;
- dendograma.

Para obter uma tipologia foi necessário efectuar cortes nos dendogramas, retendo como "tipos" os conjuntos disjuntos, equivalentes a grupos de sondagens ou de profundidades, cujas similitudes internas são superiores ao corte; opcionalmente escolheu-se determinada distância de corte.

Por via dos cortes efectuados nos dendogramas obtidos em cada um dos ensaios, fez-se uma reflexão sobre todos os agrupamentos produzidos em modo-Q e em modo-R. Tentou-se enquadrar, ainda, no contexto geológico-geotécnico da zona a que se reportam os dados, cada um dos grupos obtidos.

Note-se que, dada a natureza não métrica dos dados de partida, somente se registaram os valores estatísticos básicos que, à partida, fazem sentido para dados geotécnicos em escala ordinal.

### 6.2.5 Ensaio 1

Sobre a matriz dos dados do quadro 6.1 (b) do anexo D aplicaram-se os dois modos de análise: modo-Q e modo-R.

#### 6.2.5.1 Análise Em Modo-Q

Este modo de análise foi aplicado com o objectivo de obter grupos de sondagens mais ou menos homogéneos e distintos. Aplicando ao dendograma obtido ( figura 6.3), um corte à distância de ligação de 1.7 (ou coeficiente de corte igual a 1.7), constituiram-se 5 grupos, de respectivamente 23, 6, 30, 21 e 17 indivíduos (tabela 6.1). Seguidamente apresenta-se, para cada profundidade, a matriz das percentagens de desacordo (quadro 6.2), e a descrição sumária dos valores estatísticos básicos (tabela 6.2).

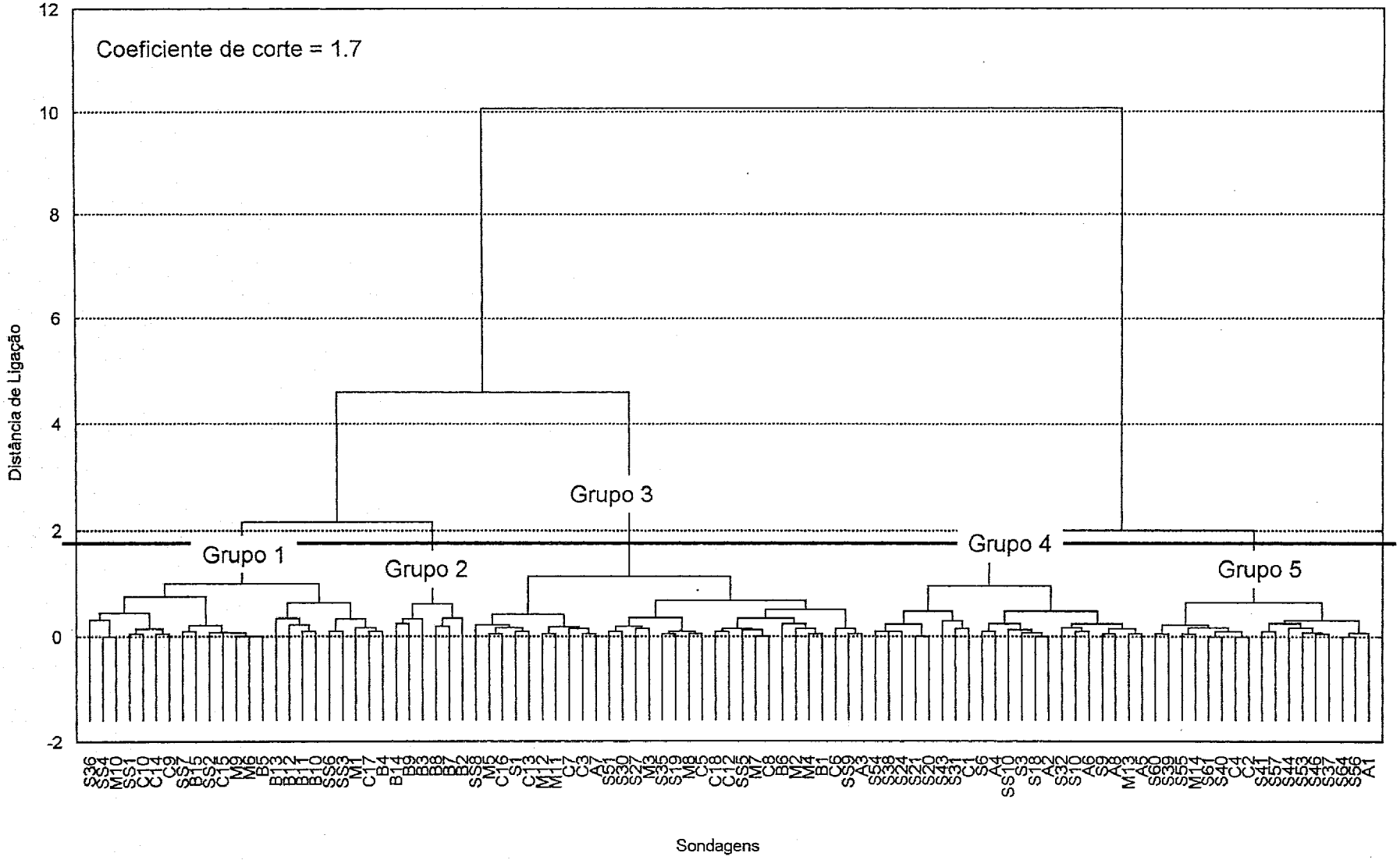



Figura 6.3 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Coeficiente de corte = 1,7
Número de grupos = 5

| Grupo | Sondagens (indivíduos) |
|---|---|
| 1 | S36, SS4, M10, SS1, C10, C14, C9, SS7, B15, SS2, C15, M9, M6, B5, B13, B12, B11, B10, SS6, SS3, M1, C17, B4 |
| 2 | B14, B9, B3, B8, B7, B2 |
| 3 | SS8, M5, C16, S1, C13, M12, M11, C7, C3, A7, S51, S30, S27, M3, S35, S19, M8, C5, C18, C12, SS5, M7, C8, B6, M2, M4, B1, C6, SS9, A3 |
| 4 | S54, S38, S24, S21, S20, S43, S31, C1, S6, A4, SS10, S3, S18, A2, S32, S10, A6, S9, A8, M13, A5 |
| 5 | S60, S39, S55, M14, S61, S40, C4, C2, S41, S57, S44, S53, S46, S37, S64, S56, A1 |

Tabela 6.1

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,22 | 0,33 | 0,61 | 0,86 | 0,90 | 0,93 | 0,95 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | Z2 | 0,18 | 0,48 | 0,79 | 0,86 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 |
| | | Z3 | 0,36 | 0,69 | 0,77 | 0,87 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | | | Z4 | 0,41 | 0,60 | 0,70 | 0,73 | 0,80 | 0,82 | 0,87 | 0,90 | 0,90 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| | | | | Z5 | 0,28 | 0,38 | 0,46 | 0,56 | 0,65 | 0,71 | 0,79 | 0,81 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| | | | | | Z6 | 0,30 | 0,37 | 0,47 | 0,58 | 0,64 | 0,73 | 0,75 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| | | | | | | Z7 | 0,29 | 0,39 | 0,49 | 0,57 | 0,68 | 0,69 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| | | | | | | | Z8 | 0,22 | 0,38 | 0,46 | 0,59 | 0,61 | 0,65 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,24 | 0,35 | 0,52 | 0,56 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,20 | 0,40 | 0,46 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,28 | 0,37 | 0,44 | 0,44 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,11 | 0,25 | 0,27 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,05 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,16 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,10 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,08 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,01 | 0,05 | 0,05 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,04 | 0,05 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,01 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.2 - Matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades (propriedades).

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 97 | 1 | 83 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 97 | 1 | 72 | 1 | 5 | 4 |
| Z3 | 97 | 1 | 64 | 1 | 5 | 4 |
| Z4 | 97 | 2 | 45 | 1 | 5 | 4 |
| Z5 | 97 | 2 | 62 | 1 | 5 | 4 |
| Z6 | 97 | 2 | 57 | 1 | 5 | 4 |
| Z7 | 97 | 2 | 52 | 1 | 5 | 4 |
| Z8 | 97 | 2 | 43 | 1 | 5 | 4 |
| Z9 | 97 | 5 | 39 | 1 | 5 | 4 |
| Z10 | 97 | 5 | 46 | 1 | 5 | 4 |
| Z11 | 97 | 5 | 52 | 2 | 5 | 3 |
| Z12 | 97 | 5 | 67 | 2 | 5 | 3 |
| Z13 | 97 | 5 | 73 | 2 | 5 | 3 |
| Z14 | 97 | 5 | 81 | 2 | 5 | 3 |
| Z15 | 97 | 5 | 83 | 2 | 5 | 3 |
| Z16 | 97 | 5 | 87 | 3 | 5 | 2 |
| Z17 | 97 | 5 | 89 | 3 | 5 | 2 |
| Z18 | 97 | 5 | 92 | 3 | 5 | 2 |
| Z19 | 97 | 5 | 92 | 3 | 5 | 2 |
| Z20 | 97 | 5 | 95 | 4 | 5 | 1 |
| Z21 | 97 | 5 | 96 | 4 | 5 | 1 |

Tabela 6.2 -Valores estatísticos básicos para cada profundidade.

Nas páginas que se seguem encontra-se uma série de quadros (quadro 6.3 até quadro 6.7) que compreendem, para cada um dos 5 grupos de sondagens individualidados, as matrizes das percentagens de desacordo e uma série de tabelas com os estatísticos básicos das 21 profundidades (tabelas 6.3 até 6.7).

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,04 | 0,09 | 0,30 | 0,78 | 0,91 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z2 | 0,04 | 0,26 | 0,83 | 0,87 | 0,91 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z3 | 0,22 | 0,78 | 0,83 | 0,87 | 0,87 | 0,91 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z4 | 0,57 | 0,70 | 0,65 | 0,65 | 0,70 | 0,74 | 0,83 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z5 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,30 | 0,43 | 0,57 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | Z6 | 0,13 | 0,04 | 0,17 | 0,39 | 0,57 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | Z7 | 0,09 | 0,13 | 0,35 | 0,48 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | Z8 | 0,13 | 0,35 | 0,52 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,22 | 0,39 | 0,83 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,17 | 0,65 | 0,87 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,48 | 0,78 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,39 | 0,83 | 0,91 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,52 | 0,65 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,17 | 0,39 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,26 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.3 - Grupo 1: matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades.

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,50 | 0,83 | 1,00 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z2 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,50 | 0,83 | 1,00 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z3 | 0,00 | 0,33 | 0,50 | 0,83 | 1,00 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z4 | 0,33 | 0,50 | 0,83 | 1,00 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z5 | 0,50 | 0,83 | 0,67 | 0,50 | 0,50 | 0,67 | 0,67 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | Z6 | 0,67 | 0,50 | 0,33 | 0,33 | 0,50 | 0,67 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | Z7 | 0,17 | 0,33 | 0,33 | 0,17 | 0,33 | 0,33 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | Z8 | 0,17 | 0,17 | 0,00 | 0,17 | 0,33 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,00 | 0,17 | 0,33 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,17 | 0,33 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,17 | 0,33 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,17 | 0,67 | 0,67 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,50 | 0,50 | 0,67 | 0,67 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,17 | 0,50 | 0,50 | 0,67 | 0,83 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,33 | 0,33 | 0,67 | 0,83 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,17 | 0,50 | 0,67 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,33 | 0,50 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,17 | 0,83 | 0,83 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,67 | 0,83 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,17 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.4 - Grupo 2: matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades.

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,07 | 0,20 | 0;57 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,97 | 0,97 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| | Z2 | 0,13 | 0,50 | 0,87 | 0,87 | 1,00 | 0,97 | 1,00 | 1,00 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 |
| | | Z3 | 0,37 | 0,77 | 0,77 | 0,93 | 0,90 | 0,97 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z4 | 0,40 | 0,53 | 0,63 | 0,73 | 0,93 | 0,97 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z5 | 0,20 | 0,27 | 0,57 | 0,77 | 0,93 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | Z6 | 0,27 | 0,60 | 0,83 | 0,97 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | Z7 | 0,50 | 0,73 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | Z8 | 0,47 | 0,77 | 0,93 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,53 | 0,73 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,43 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,47 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.5 - Grupo 3: matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades.

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,33 | 0,48 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,81 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| | Z2 | 0,24 | 0,71 | 0,81 | 0,95 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z3 | 0,52 | 0,67 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z4 | 0,29 | 0,71 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z5 | 0,57 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | Z6 | 0,62 | 0,67 | 0,71 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 |
| | | | | | | Z7 | 0,43 | 0,48 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| | | | | | | | Z8 | 0,14 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.6 - Grupo 4: matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades.

| | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 0,59 | 0,82 | 0,88 | 0,88 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | Z2 | 0,47 | 0,71 | 0,82 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| | | Z3 | 0,47 | 0,59 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| | | | Z4 | 0,41 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 |
| | | | | Z5 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| | | | | | Z6 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | Z7 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| | | | | | | | Z8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | Z9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | Z10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | Z11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | Z12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | Z13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | Z14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | Z15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | Z16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Z17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.7 - Grupo 5: matriz das percentagens de desacordo entre as diferentes profundidades.

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 23 | 1 | 23 | 1 | 1 | 0 |
| Z2 | 23 | 1 | 22 | 1 | 2 | 1 |
| Z3 | 23 | 1 | 21 | 1 | 2 | 1 |
| Z4 | 23 | 1 | 16 | 1 | 2 | 1 |
| Z5 | 23 | 2 | 18 | 1 | 2 | 1 |
| Z6 | 23 | 2 | 21 | 1 | 2 | 1 |
| Z7 | 23 | 2 | 22 | 1 | 2 | 1 |
| Z8 | 23 | 2 | 22 | 1 | 2 | 1 |
| Z9 | 23 | 2 | 21 | 2 | 3 | 1 |
| Z10 | 23 | 2 | 16 | 2 | 3 | 1 |
| Z11 | 23 | 2 | 12 | 2 | 3 | 1 |
| Z12 | 23 | 3 | 20 | 2 | 4 | 2 |
| Z13 | 23 | 3 | 14 | 2 | 5 | 3 |
| Z14 | 23 | 5 | 13 | 3 | 5 | 2 |
| Z15 | 23 | 5 | 15 | 3 | 5 | 2 |
| Z16 | 23 | 5 | 19 | 4 | 5 | 1 |
| Z17 | 23 | 5 | 21 | 4 | 5 | 1 |
| Z18 | 23 | 5 | 23 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 23 | 5 | 23 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 23 | 5 | 23 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 23 | 5 | 23 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.3 - Grupo 1: valores estatísticos básicos para cada profundidade.

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| Z2 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| Z3 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| Z4 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| Z5 | 6 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Z6 | 6 | 1 e 2 | 3 ; 3 | 1 | 2 | 1 |
| Z7 | 6 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| Z8 | 6 | 2 | 6 | 2 | 2 | 0 |
| Z9 | 6 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| Z10 | 6 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| Z11 | 6 | 2 | 6 | 2 | 2 | 0 |
| Z12 | 6 | 2 | 5 | 2 | 3 | 1 |
| Z13 | 6 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| Z14 | 6 | 3 | 5 | 2 | 3 | 1 |
| Z15 | 6 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| Z16 | 6 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| Z17 | 6 | 3 e 4 | 3 ; 3 | 3 | 4 | 1 |
| Z18 | 6 | 4 | 3 | 3 | 5 | 2 |
| Z19 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Z20 | 6 | 5 | 4 | 4 | 5 | 1 |
| Z21 | 6 | 5 | 5 | 4 | 5 | 1 |

Tabela 6.4 - Grupo 2: valores estatísticos básicos para cada profundidade.

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 30 | 1 | 28 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 30 | 1 | 28 | 1 | 5 | 4 |
| Z3 | 30 | 1 | 26 | 1 | 2 | 1 |
| Z4 | 30 | 1 e 2 | 15 ; 15 | 1 | 2 | 1 |
| Z5 | 30 | 2 | 27 | 1 | 2 | 1 |
| Z6 | 30 | 2 | 27 | 1 | 2 | 1 |
| Z7 | 30 | 2 | 25 | 2 | 3 | 1 |
| Z8 | 30 | 2 | 14 | 2 | 4 | 2 |
| Z9 | 30 | 3 | 15 | 2 | 5 | 3 |
| Z10 | 30 | 3 | 14 | 2 | 5 | 3 |
| Z11 | 30 | 5 | 15 | 3 | 5 | 2 |
| Z12 | 30 | 5 | 29 | 4 | 5 | 1 |
| Z13 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z14 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z15 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z16 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z17 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z18 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 30 | 5 | 30 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.5 - Grupo 3: valores estatísticos básicos para cada profundidade.

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 21 | 1 | 17 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 21 | 1 | 14 | 1 | 2 | 1 |
| Z3 | 21 | 1 | 11 | 1 | 2 | 1 |
| Z4 | 21 | 2 | 20 | 2 | 3 | 1 |
| Z5 | 21 | 2 | 14 | 2 | 4 | 2 |
| Z6 | 21 | 3 | 9 | 2 | 5 | 3 |
| Z7 | 21 | 5 | 9 | 1 | 5 | 4 |
| Z8 | 21 | 5 | 16 | 2 | 5 | 3 |
| Z9 | 21 | 5 | 19 | 3 | 5 | 2 |
| Z10 | 21 | 5 | 19 | 4 | 5 | 1 |
| Z11 | 21 | 5 | 20 | 4 | 5 | 1 |
| Z12 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z13 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z14 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z15 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z16 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z17 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z18 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 21 | 5 | 21 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.6 - Grupo 4: valores estatísticos básicos para cada profundidade.

| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 17 | 1 | 9 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 17 | 2 | 10 | 1 | 5 | 4 |
| Z3 | 17 | 2 | 7 | 2 | 5 | 3 |
| Z4 | 17 | 5 | 9 | 2 | 5 | 3 |
| Z5 | 17 | 5 | 16 | 2 | 5 | 3 |
| Z6 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z7 | 17 | 5 | 16 | 4 | 5 | 1 |
| Z8 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z9 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z10 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z11 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z12 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z13 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z14 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z15 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z16 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z17 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z18 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.7 - Grupo 5: valores estatísticos básicos para cada profundidade.

## Interpretação da informação obtida pela análise em modo-Q

Atendendo à informação contida nas tabelas anteriores foi possível reflectir sobre cada um dos agrupamentos produzidos; tentou-se estabelecer algumas relações com o conhecimento geológico-geotécnico da zona a que se reportam os dados. A informação relativa a 97 sondagens foi condensada em 5 grupos que correspondem a:

— Grupo 1 —

Embora não se consiga obter um zonamento geográfico com as sondagens deste grupo pode dizer-se que, em cada profundidade, as formações lito-estratigráficas são particularmente homogéneas; isto é, a classe nominal mais frequente (a moda) foi obtida a partir de uma percentagem elevada dos casos detectados (23 sondagens).

O terreno identificado através destas sondagens corresponde muito provavelmente a zonas onde se poderá quase que garantir, para os diferentes estratos, uma profundidade razoavelmente constante. Se este grupo correspondesse a um zonamento geográfico, o planeamento em relação à profundidade da estacaria a cravar no respectivo local estaria optimizado.

— Grupos 2 e 3 —

Nestes dois grupos há, respectivamente, às profundidades Z6 (16.5m) e Z4 (10.5m) dois valores modais: 1 e 2. Estas profundidades devem marcar níveis erosivos cavados nos sedimentos, correspondendo, muito provavelmente, às cotas das regressões das quais resultou a instalação de um regime fluvio-deltaico com deposição de sedimentos mais grosseiros. A base dos sedimentos grosseiros, constituída por sedimentos mais finos depositados antes da regressão, foi erodida (ou apenas parcialmente erodida) durante a actuação do regime fluvio-deltaico. Em seguida é provável que tenha ocorrido uma transgressão, responsável pela passagem, mesmo lateralmente, de sedimentos mais grosseiros a mais finos (ver figura 2.9, capítulo 2).

O grupo 2 é, de todos os grupos, o que apresenta uma maior espessura de sedimentos com menor resistência à penetração mecânica; o *bedrock* geotécnico encontra-se a partir de Z15 (43.5m) porque o valor máximo para esta profundidade é 4 (ver tabela 6.4).

No grupo 3 o valor 5 detectado na tabela 6.5 como valor máximo para as profundidades Z1 (1.5m) e Z2 (4.5m) corresponde ao falso *bedrock* (molhe de acostagem).

Abaixo do molhe de acostagem encontram-se, entre Z3 (7.5m) e Z7 (19.5m), as litologias menos resistentes à penetração mecânica. Trata-se, fundamentalmente, de solos constituídos por sedimentos não consolidados do Holocénico e Plistocénico.

O grupo compreende, ainda, o único conjunto de sondagens que, entre as profundidades Z8 (22.5m) e Z11 (31.5), apresenta uma zona de marcada heterogeneidade; apenas cerca de 50% dos casos (nº de sondagens), contribuiram para o cálculo da moda; isto significa que existem sedimentos diversos e *bedrock* geotécnico às mesmas profundidades; o grupo é caracterizado pelo *bedrock* aparecer à profundidade Z8 (19.5m).

— Grupo 4 —

No grupo 4, tal como no grupo 3, há também uma zona de transição que aqui está marcada pelas profundidades Z6 (16.5m) e Z7 (19.5m); os valores da moda (3 e 5) correspondem a uma frequência total de 9 casos (sondagens) em 21 possíveis; isto significa que para estas profundidades os solos possuem um comportamento heterogéneo.

A partir de Z5 (13.5m) inclusivé até Z9 (25.5m), há variações substanciais da profundidade de ocorrência do *bedrock* geotécnico, esta interpretação tornou-se clara a partir dos valores de mínimo e de máximo expressos na tabela 6.6.

— Grupo 5 —

No grupo 5 a moda passa do valor 2 para o valor 5 sem as transições relativas aos valores modais 3 e 4. Existe heterogeneidade nas formações atravessadas entre as profundidades Z2 (4.5m) e Z4 (10.5m) porque a moda é 2 para Z2 (4.5m) e Z3 (7.5m) e para Z4 é 5; estas duas modas correspondem apenas a cerca de metade do total das determinações. Há também grandes variações da profundidade do *bedrock* geotécnico porque o máximo é sempre 5.

Na figura 6.4, localizam-se espacialmente os 5 grupos de sondagens. Os grupos 2, 4 e 5 representados na figura com as cores: preta, castanha e verde, respectivamente, aproximam-se a três zonamentos geográficos distintos.

— Zonamento 1 —

É formado a partir das sondagens do grupo 2 e está representado a preto: esta zona encontra-se geograficamente bem definida.

— Zonamento 2 —

Encontra-se representado a castanho e é formado a partir das sondagens do grupo 4. Dada a existência de intercalações de sondagens que pertencem ao grupo 3, esta zona aparenta um comportamento mais heterogéneo quando comparada com as outras duas. As profundidades que foram associadas a zonas de marcada heterogeneidade caracterizam, muito provavelmente, a transição do talude da Baía da Praia Grande.

— Zonamento 3 —

Este zonamento é formado pelas sondagens mais próximas da linha de costa. Os solos caracterizam-se pela presença de sedimentos, com predominância dos holocénicos, que encimam um *bedrock* geotécnico constituído por granitos alterados e pouco alterados e que se encontra a pequena profundidade. Nesta zona verifica-se que a sondagem M14 está

geograficamente bastante afastada das restantes. Apesar do notório afastamento em virtude da ausência de informação entre M14 e o grande conjunto de sondagens aquela foi englobada no zonamento.

Esta insuficiente informação[6], permite sugerir a utilização da Análise Grupal como técnica estatística de acompanhamento da execução de campanhas de sondagens geológicas; julga-se que a ausência de informação detectada através da aplicação desta metodologia, durante determinada campanha, poderá constituir argumento válido para sugerir a execução de algumas sondagens[7] nos respectivos locais, de forma a eliminar incertezas.

[6] No caso, meramente aparente porque a região entre M14 e as restantes sondagens faz parte da zona de *inshore*, com *bedrock* aflorante.

[7] Uma ou mais, consoante a necessidade.

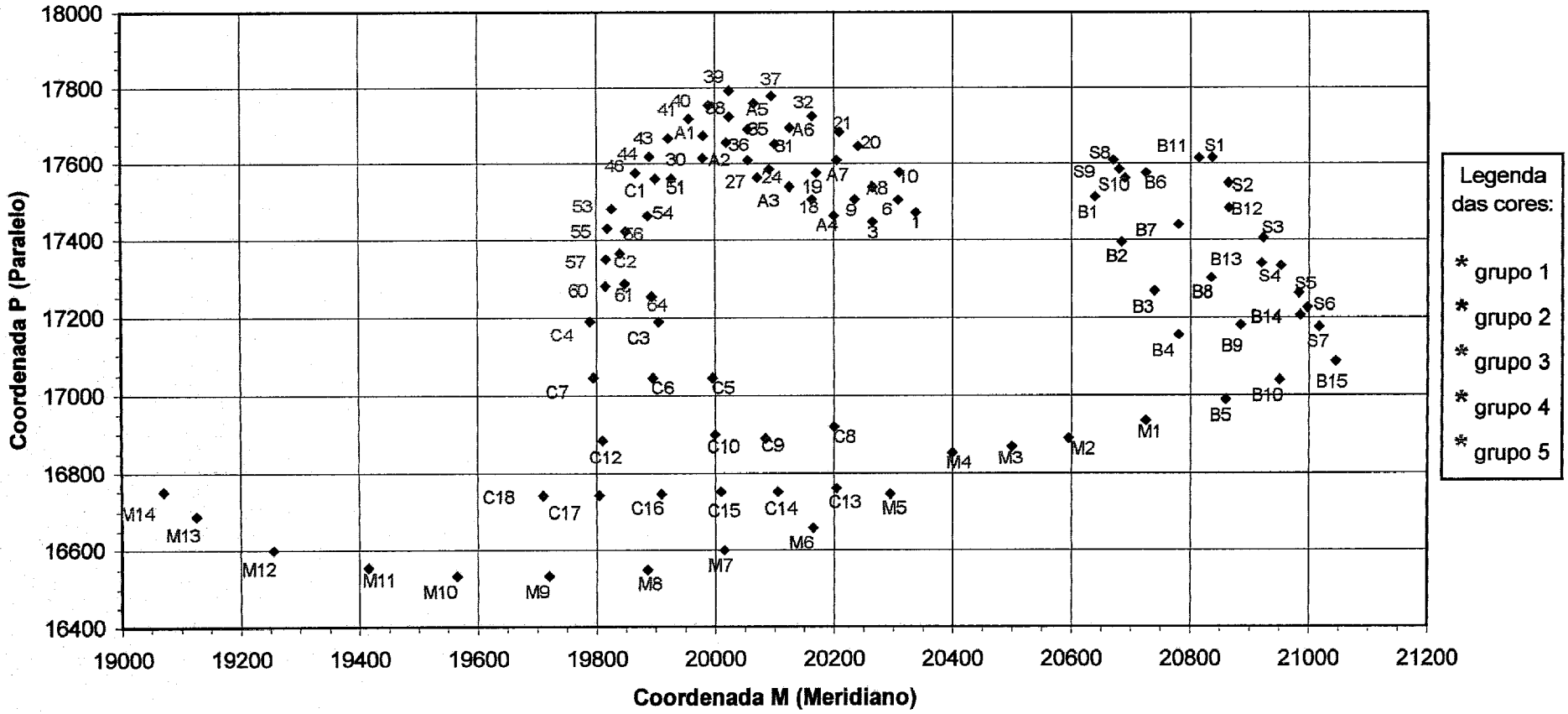



Figura 6.4 - Tentativa de zonamento geográfico a partir da localização espacial dos 5 grupos de sondagens.

### 6.2.5.2 Análise Em Modo-R

Pretendeu-se, com este modo de análise, obter uma classificação das profundidades com a finalidade de detectar horizontes de comportamento distinto quanto à resistência à penetração mecânica.

Sobre o dendograma da figura 6.5 efectuou-se um corte à distância de ligação de 0.75, tendo-se individualizado 4 grupos de profundidades - 4 horizontes - com respectivamente 10, 4, 3 e 4 elementos. Os resultados estão representados na tabela 6.8. A matriz das percentagens de desacordo e a descrição sumária dos valores estatísticos básicos para cada profundidade encontram-se no ponto 6.2.5.1 da análise em modo-Q, no quadro 6.2 e na tabela 6.2, respectivamente. A informação contida neste quadro e nesta tabela constituiu o ponto de partida para a caracterização dos diferentes horizontes.

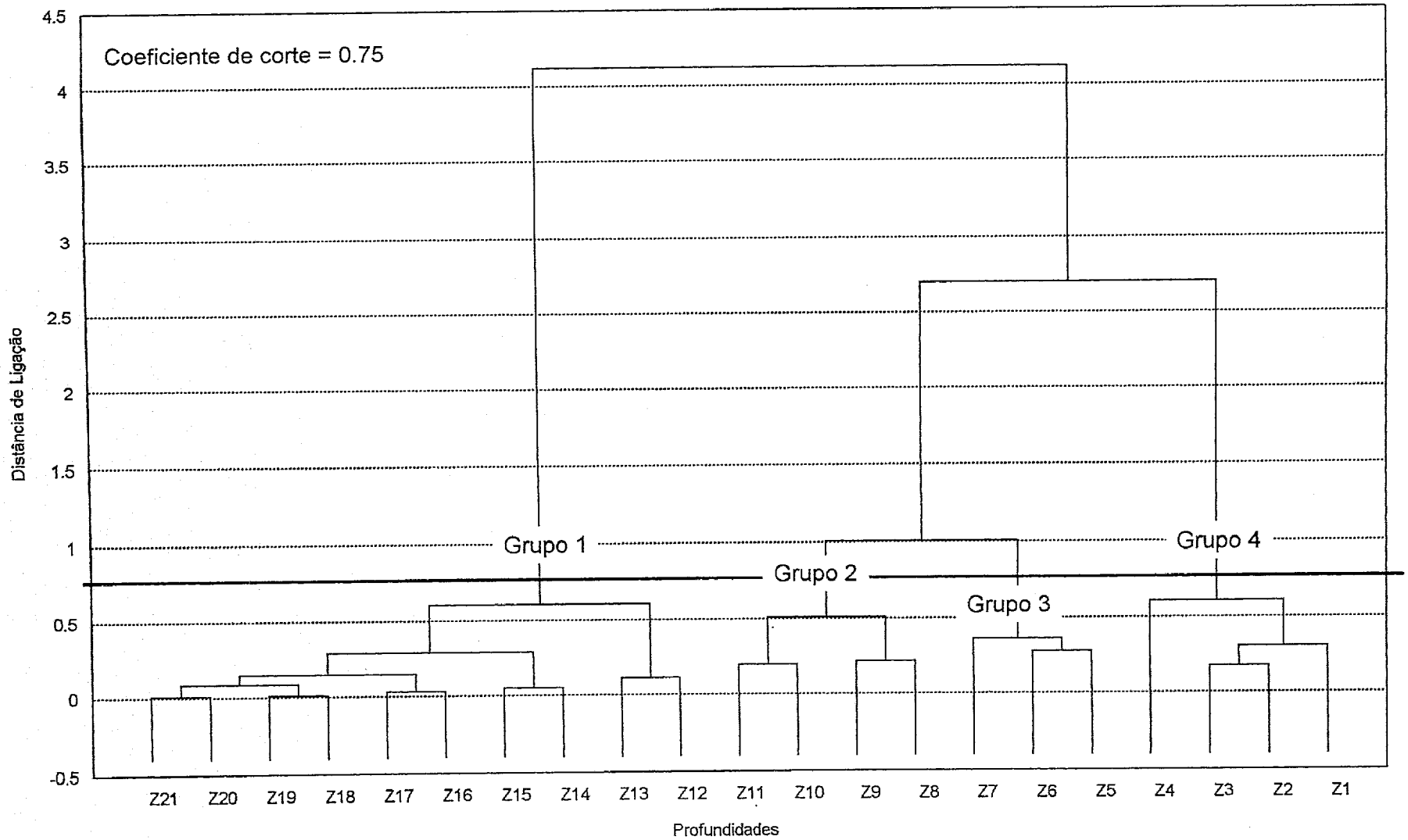



Figura 6.5 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Coeficiente de corte = 0,75
Número de grupos = 4 horizontes

| Horizonte | Profundidades |
|---|---|
| 1 | Z1, Z2, Z3, Z4 |
| 2 | Z5, Z6, Z7 |
| 3 | Z8, Z9, Z10, Z11 |
| 4 | Z12, Z13, Z14, Z15, Z16, Z17, Z18, Z19, Z20, Z21 |

Tabela 6.8

## Interpretação da informação obtida pela análise em modo-R

— Horizonte 1 —

Trata-se do horizonte mais superficial com 10.5 metros de espessura atingindo 10.5 metros de profundidade.

— Horizonte 2 —

Apresenta uma espessura de 9 metros e situa-se entre os 10.5 e os 19.5 metros de profundidade.

— Horizonte 3 —

Corresponde a uma espessura de 12 metros e está compreendido entre os 19.5 e os 31.5 metros de profundidade.

— Horizonte 4 —

É o horizonte mais profundo estando compreendido entre os 31.5 e os 61.5 metros de profundidade. O horizonte apresenta uma espessura de 30 metros.

No anexo E (figuras 6.6 a 6.26), podem ver-se os mapas categorizados[8] para cada uma das profundidades em estudo.

[8] Nestes mapas pode observar-se a localização geográfica da informação do ensaio SPT categorizada através da escala da figura 6.2, escala utilizada na recodificação dos dados.

### 6.2.5.3 Conclusões Relativas ao Ensaio 1

Como conclusão parcial pode dizer-se que a Análise Grupal nos modos Q e R permitiu distinguir geograficamente, três zonas.

Até aos 61.5 metros de profundidade, cada zonamento pode ser subdividido em quatro grandes horizontes com comportamentos distintos quanto à resistência à penetração mecânica.

### 6.2.6 Ensaio 2

Com o objectivo de evidenciar outras "estruturas" ou seja, outros zonamentos geográficos, repetiu-se, para cada horizonte obtido no procedimento anterior, a análise em modo-Q.

#### 6.2.6.1 Análise Em Modo-Q Para Cada Horizonte

Horizonte 1

Depois de efectuado o corte à distância de ligação 2 obtiveram-se 5 grupos de sondagens com respectivamente 38, 25, 11, 7 e 16 elementos. Os resultados estão representados no dendograma da figura 6.27 e na tabela 6.9; assim, para cada grupo, apresentam-se nos quadros 6.8 a 6.12 as matrizes das percentagens de desacordo e na tabela 6.10 os estatísticos básicos para as profundidades que constituem o horizonte.

Partindo da informação contida nas figuras, nas tabelas e nos quadros anteriores tentou-se interpretar os grupos deste horizonte.

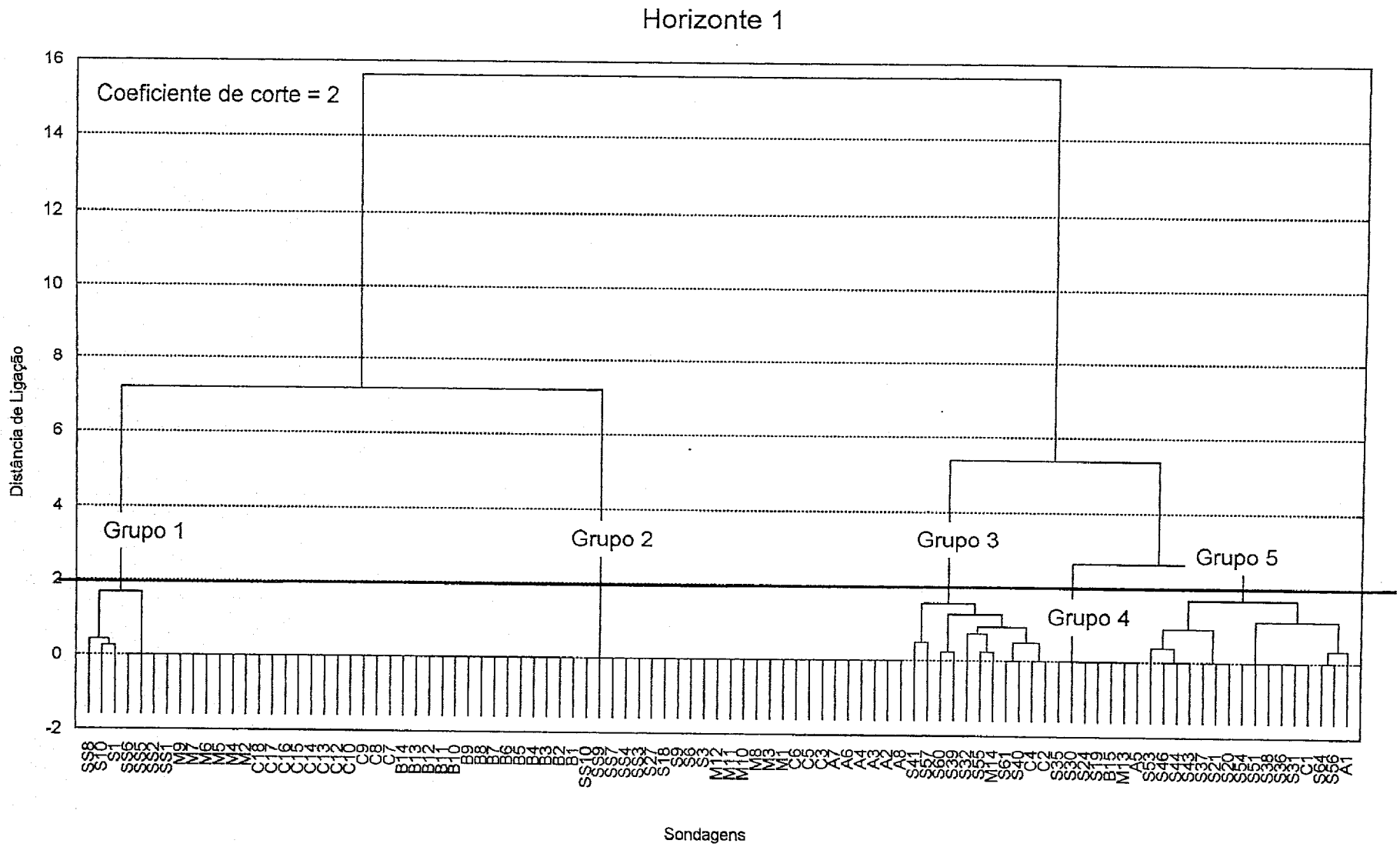



Figura 6.27 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Horizonte 1

Coeficiente de corte = 2
Número de grupos = 5

| Grupo | Sondagens (indivíduos) |
|---|---|
| 1 | SS8, S10, S1, SS6, SS5, SS2, SS1, M9, M7, M6, M5, M4, M2, C18, C17, C16, C15, C14, C13, C12, C10, C9, C8, C7, B14, B13, B12, B11, B10, B9, B8, B7, B6, B5, B4, B3, B2, B1 |
| 2 | SS10, SS9, SS7, SS4, SS3, S27, S18, S9, S6, S3, M12, M11, M10, M8, M3, M1, C6, C5, C3, A7, A6, A4, A3, A2, A8 |
| 3 | S41, S57, S60, S39, S32, S55, M14, S61, S40, C4, C2 |
| 4 | S35, S30, S24, S19, B15, M13, A5 |
| 5 | S53, S46, S44, S43, S37, S21, S20, S54, S51, S38, S36, S31, C1, S64, S56, A1 |

Tabela 6.9

HORIZONTE 1

| | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|
| Z1 | 0,05 | 0,08 | 0,08 |
| | Z2 | 0,03 | 0,05 |
| | | Z3 | 0,03 |
| | | | Z4 |

Quadro 6.8 - Grupo 1: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|
| Z1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Z2 | 0,00 | 1,00 |
| | | Z3 | 1,00 |
| | | | Z4 |

Quadro 6.9 - Grupo 2: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|
| Z1 | 0,73 | 0,91 | 1,00 |
| | Z2 | 0,73 | 0,82 |
| | | Z3 | 0,45 |
| | | | Z4 |

Quadro 6.10 - Grupo 3: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|
| Z1 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z2 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z3 | 0,00 |
| | | | Z4 |

Quadro 6.11 - Grupo 4: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|
| Z1 | 0,69 | 0,75 | 0,81 |
| | Z2 | 0,06 | 0,25 |
| | | Z3 | 0,25 |
| | | | Z4 |

Quadro 6.12 - Grupo 5: matriz das percentagens de desacordo.

| GRUPO 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z1 | 38 | 1 | 35 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 38 | 1 | 37 | 1 | 5 | 4 |
| Z3 | 38 | 1 | 38 | 1 | 1 | 0 |
| Z4 | 38 | 1 | 37 | 1 | 2 | 1 |
| GRUPO 2 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z1 | 25 | 1 | 25 | 1 | 1 | 0 |
| Z2 | 25 | 1 | 25 | 1 | 1 | 0 |
| Z3 | 25 | 1 | 25 | 1 | 1 | 0 |
| Z4 | 25 | 2 | 25 | 2 | 2 | 0 |
| GRUPO 3 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z1 | 11 | 1 | 7 | 1 | 4 | 3 |
| Z2 | 11 | 2 | 5 | 1 | 5 | 4 |
| Z3 | 11 | 5 | 6 | 1 | 5 | 4 |
| Z4 | 11 | 5 | 9 | 3 | 5 | 2 |
| GRUPO 4 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z1 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 0 |
| Z2 | 7 | 1 | 7 | 1 | 1 | 0 |
| Z3 | 7 | 2 | 7 | 2 | 2 | 0 |
| Z4 | 7 | 2 | 7 | 2 | 2 | 0 |
| GRUPO 5 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z1 | 16 | 1 | 9 | 1 | 5 | 4 |
| Z2 | 16 | 2 | 15 | 1 | 2 | 1 |
| Z3 | 16 | 2 | 16 | 2 | 2 | 0 |
| Z4 | 16 | 2 | 12 | 2 | 4 | 2 |

Tabela 6.10 - Horizonte 1: valores estatísticos básicos para cada profundidade dos 5 grupos.

— Grupo 1—

Este grupo é formado por um conjunto de sondagens cujos solos apresentam exclusivamente valores de N pertencentes à classe 1 (N entre 1 e 6 pancadas). No entanto são excepção as sondagens SS8, S10 e S1, nas quais, para a profundidade mais superficial foi detectada a presença de rocha (classe 5) do molhe de acostagem.

— Grupo 2—

Trata-se de um conjunto de sondagens cujos solos, até aos 10.5 metros de profundidade, possuem valores de N da classe 1. Aos 10.5 metros os valores de N passam a pertencer à classe 2 (N entre 7 e 50 pancadas).

— Grupo 3—

É um grupo cujos solos atravessados pelas sondagens possuem um comportamento bastante heterogéneo quanto à resistência à penetração aparecendo também a contribuição das litologias onde foi obtida a penetração incompleta, classe 4, e a rocha, classe 5 e que caracterizam os terrenos mais próximos da linha de costa.

— Grupo 4—

Entre a superfície e os 7.5 metros de profundidade localizam-se os solos com valores de N da classe 1. Aos 7.5 metros aparecem os solos pertencentes à classe 2.

— Grupo 5—

Neste grupo destacam-se, a partir dos 4.5 metros, os solos com valores de N da classe 2. Contudo destacam-se as sondagens A1, S56 e S64 por aos 10.5 metros surgirem solos onde foi obtida penetração incompleta do amostrador Terzaghi (solos pertencentes à classe 4) e que se encontram junto à linha de costa.

Resumidamente pode dizer-se que a interpretação dos grupos constituintes do horizonte 1 permitiu evidenciar um novo conjunto de sondagens, formado pelo grupo 3 e pelas sondagens do grupo 5: A1, S56 e S64, onde se encontra, a partir dos 10.5 metros de profundidade, o *bedrock* geotécnico cujo comportamento mecânico se enquadra nas classes 4 e 5 (valores de máximo, tabela 6.10).

O comportamento mecânico das lito-estratigrafias presentes no grupos 1, 2, 4 e nas restantes sondagens do grupo 5 enquadra-se nas classes 1 e 2.

Na figura 6.28 localizam-se geograficamente os 5 grupos de sondagens obtidos para o horizonte 1. A interpretação dos diferentes grupos obtidos permite distinguir duas grandes zonas: a primeira formada pelos solos com baixa resistência à penetração atravessados pelas sondagens dos grupos 1, 2, 4, e algumas sondagens do grupo 5; a segunda, onde o *bedrock* geotécnico se encontra, pelo menos em todas as sondagens, aos 10.5 m de profundidade.

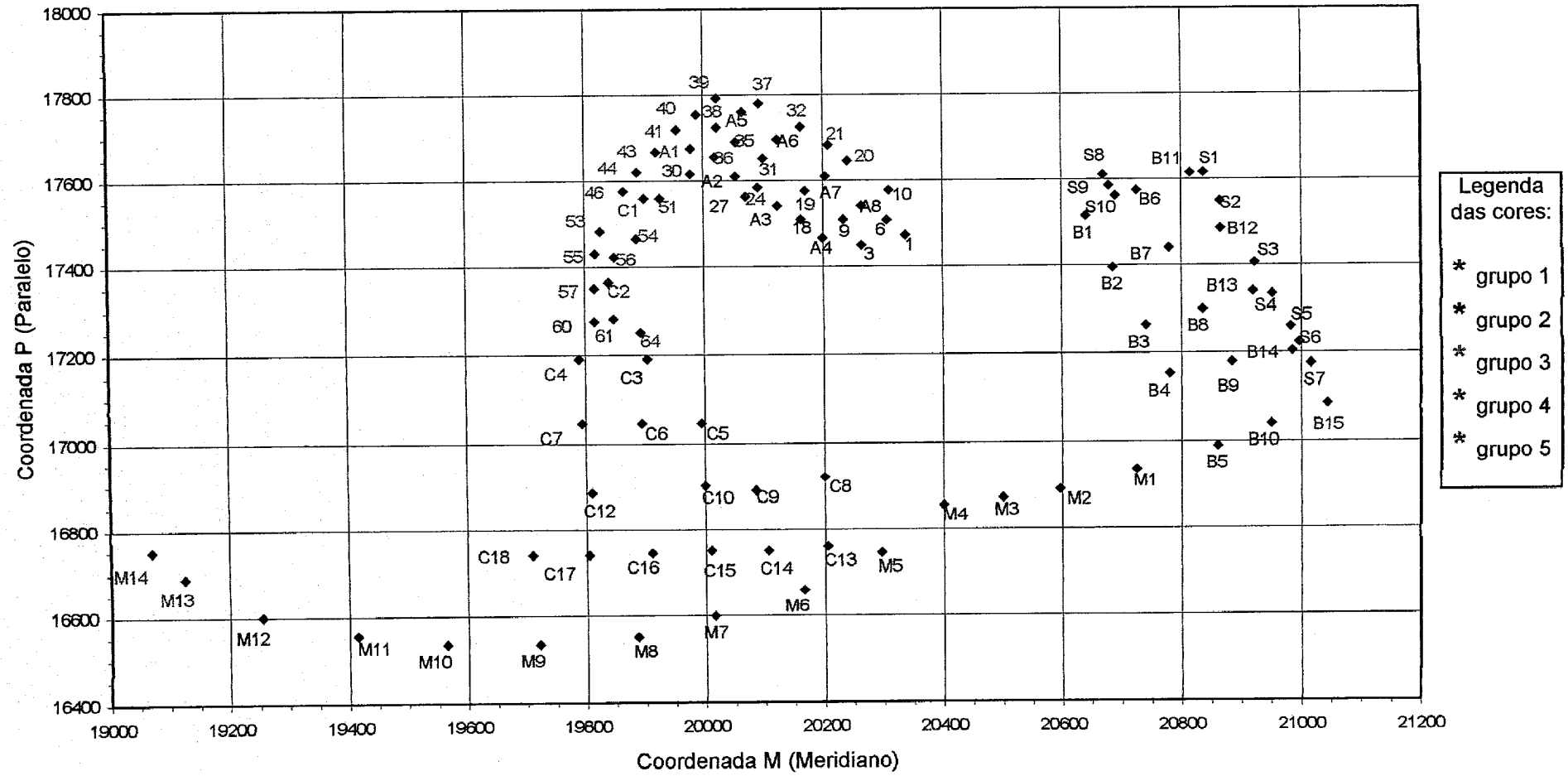



Figura 6.28 - Tentativa de zonamento geográfico para o horizonte 1.

## Horizonte 2

Efectuando sobre o dendograma da figura 6.29 um corte à distância de ligação 2.5 obtiveram-se 6 grupos de sondagens com respectivamente: 8, 8, 36, 11, 12 e 22 elementos. Os resultados estão representados na tabela 6.11; assim, para cada grupo, apresentam-se nos quadros 6.13 a 6.18 as matrizes das percentagens de desacordo e na tabela 6.12 os estatísticos básicos para as profundidades que constituem o horizonte.

Com a informação contida nas figuras, nas tabelas e nos quadros anteriores tentou-se interpretar os grupos que constituem o horizonte.

— Grupos 1, 2 e 3 —

Os solos que constituem estes grupos apresentam, em geral, baixa resistência à penetração dada pelos valores de mínimo e de máximo da tabela 6.12.

— Grupos 4 e 5 —

As sondagens destes grupos apresentam, para todo o horizonte, valores de N mais elevados comparativamente aos grupos acima referidos. Contudo, o grupo 5 apresenta uma resistência mais baixa que o grupo 4; no grupo 4 o *bedrock* geotécnico surge aos 19.5m e no grupo 5 não foi detectado.

— Grupo 6 —

Trata-se fundamentalmente de um conjunto de sondagens com elevada resistência à penetração como se pode constatar pela frequência e valor da moda (tabela 6.12); o *bedrock* geotécnico surge a uma profundidade inferior à do grupo 4 (16.5m).

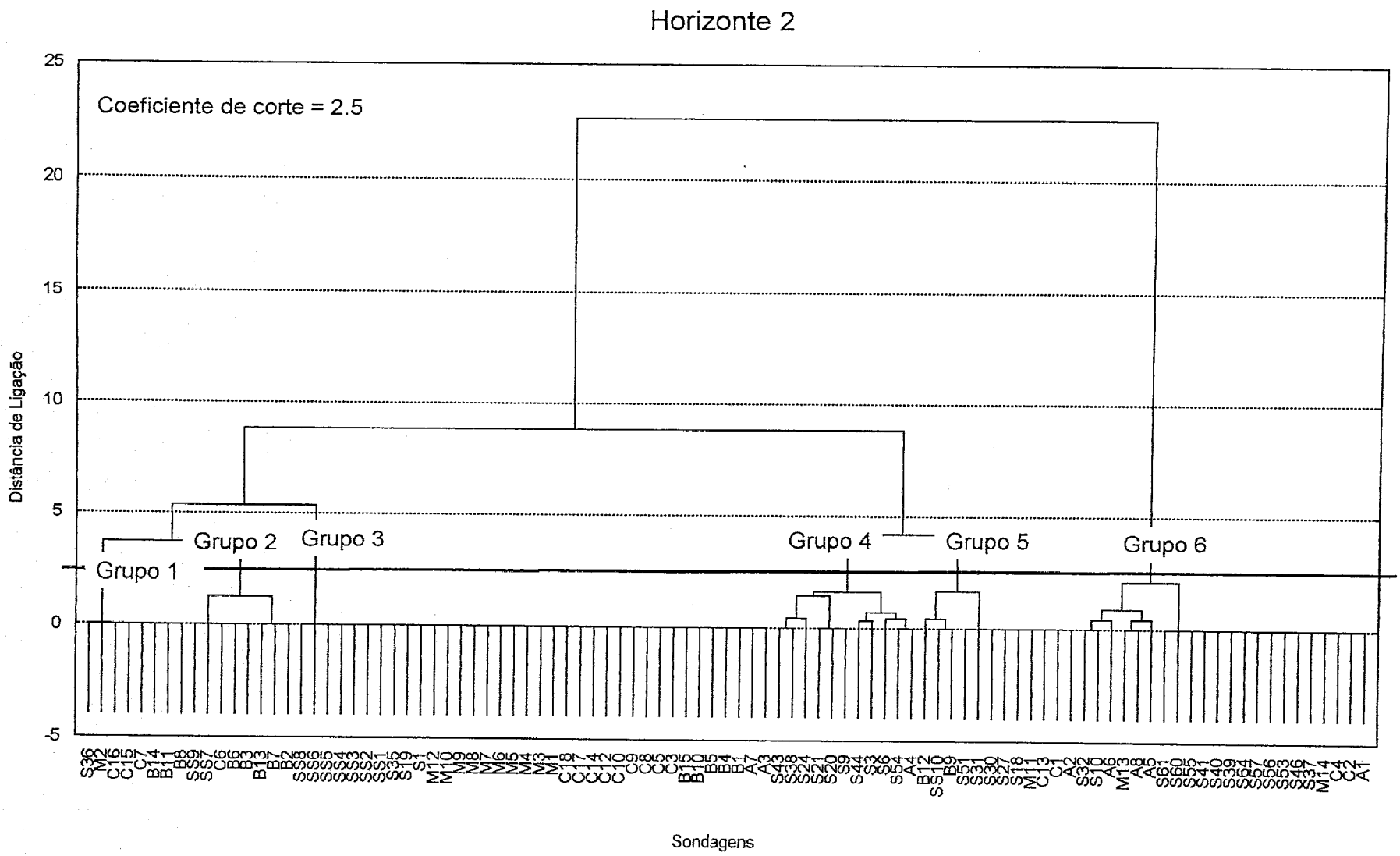



Figura 6.29 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Horizonte 2

Coeficiente de corte = 2,5
Número de grupos = 6

| Grupo | Sondagens (indivíduos) |
|---|---|
| 1 | S36, M2, C16, C15, C7, B14, B11, B8 |
| 2 | SS9, SS7, C6, B6, B3, B13, B7, B2 |
| 3 | SS8, SS6, SS5, SS4, SS3, SS2, SS1, S35, S19, S1, M12, M10, M9, M8, M7, M6, M5, M4, M3, M1, C18, C17, C14, C12, C10, C9, C8, C5, C3, B15, B10, B5, B4, B1, A7, A3 |
| 4 | S43, S38, S24, S21, S20, S9, S44, S3, S6, S54, A4 |
| 5 | B12, SS10, B9, S51, S31, S30, S27, S18, M11, C13, C1, A2 |
| 6 | S32, S10, A6, M13, A8, A5, S61, S60, S55, S41, S40, S39, S64, S57, S56, S53, S46, S37, M14, C4, C2, A1 |

Tabela 6.11

HORIZONTE 2

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 1,00 | 1,00 |
| | Z6 | 0,00 |
| | | Z7 |

Quadro 6.13 - Grupo 1: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 0,63 | 0,38 |
| | Z6 | 1,00 |
| | | Z7 |

Quadro 6.14 - Grupo 2: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 0,00 | 0,00 |
| | Z6 | 0,00 |
| | | Z7 |

Quadro .15 - Grupo 3: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 0,64 | 0,82 |
| | Z6 | 0,73 |
| | | Z7 |

Quadro 6.16 - Grupo 4: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 0,08 | 0,92 |
| | Z6 | 1,00 |
| | | Z7 |

Quadro 6.17 - Grupo 5: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z6 | Z7 |
|---|---|---|
| Z5 | 0,27 | 0,27 |
| | Z6 | 0,05 |
| | | Z7 |

Quadro 6.18 - Grupo 6: matriz das percentagens de desacordo.

| GRUPO 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 8 | 1 | 8 | 1 | 1 | 0 |
| Z6 | 8 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| Z7 | 8 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| GRUPO 2 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 8 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| Z6 | 8 | 1 | 8 | 1 | 1 | 0 |
| Z7 | 8 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| GRUPO 3 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 36 | 2 | 36 | 2 | 2 | 0 |
| Z6 | 36 | 2 | 36 | 2 | 2 | 0 |
| Z7 | 36 | 2 | 36 | 2 | 2 | 0 |
| GRUPO 4 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 11 | 2 | 8 | 2 | 3 | 1 |
| Z6 | 11 | 3 | 9 | 2 | 5 | 3 |
| Z7 | 11 | 4 | 5 | 3 | 5 | 2 |
| GRUPO 5 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 12 | 2 | 11 | 1 | 2 | 1 |
| Z6 | 12 | 2 | 12 | 2 | 2 | 0 |
| Z7 | 12 | 3 | 9 | 1 | 3 | 2 |
| GRUPO 6 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z5 | 22 | 5 | 16 | 2 | 5 | 3 |
| Z6 | 22 | 5 | 21 | 4 | 5 | 1 |
| Z7 | 22 | 5 | 22 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.12 - Horizonte 2: valores estatísticos básicos para cada profundidade dos 6 grupos.

A localização geográfica representada na figura 6.30 não apresenta grande tendência para estabelecer zonamentos, tratando-se de um horizonte com grande heterogeneidade do ponto de vista geotécnico. No entanto, as sondagens do grupo 6 conjuntamente com algumas sondagens do grupo 4, que se localizam junto à linha de costa manifestam alguma tendência para estabelecer uma zona distinta do resto porque o *bedrock* geotécnico foi detectado, para os grupos 6 e 4, respectivamente aos 16.5m e 19.5m de profundidade.

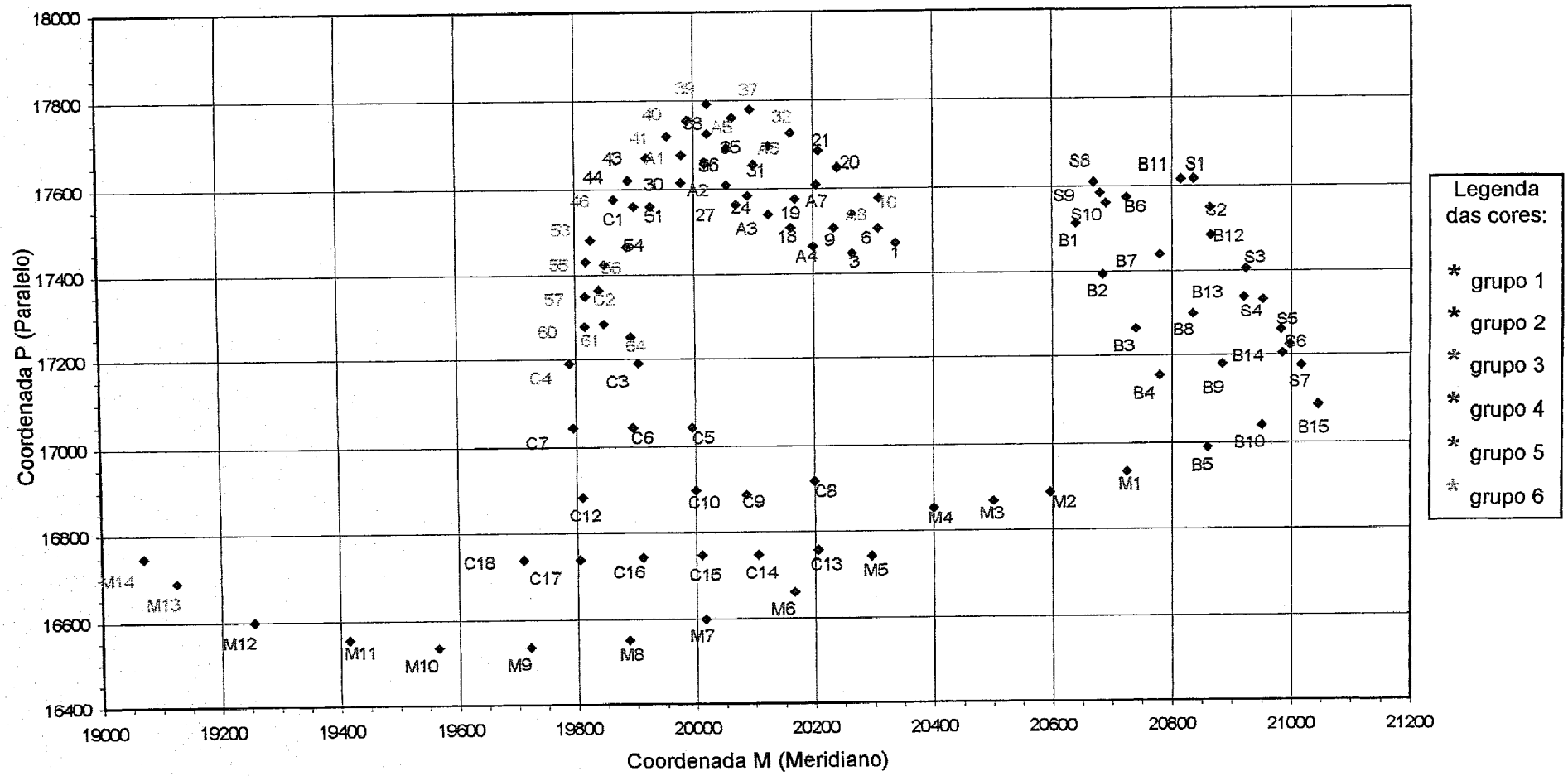



Figura 6.30 - Tentativa de zonamento geográfico para o horizonte 2.

## Horizonte 3

Depois de realizar um corte sobre o dendograma da figura 6.31, à distância de ligação 5, obtiveram-se 4 grupos de sondagens com respectivamente: 32, 15, 17 e 33 elementos. Os resultados estão representados na tabela 6.13; para cada grupo apresentam-se, nos quadros 6.19 a 6.22, as matrizes das percentagens de desacordo e na tabela 6.14 os estatísticos básicos para as profundidades que constituem este horizonte.

Após análise da informação contida nas figuras, nas tabelas e nos quadros anteriores tentou-se interpretar os grupos que constituem o horizonte.

— Grupo 1 —

Os solos que constituem este grupo apresentam, em geral, baixa resistência à penetração dada pelos valores de mínimo e de máximo da tabela 6.14; no entanto, para as profundidades Z10 (28.5m) e Z11 (31.5m) foi encontrada rocha.

— Grupo 2 —

Existem sobre os solos, coerentes e/ou incoerentes, com valores de N elevados (N> 50) formações, de esporádica ocorrência, com baixa resistência à penetração mecânica.

— Grupos 3 e 4 —

Os solos destes grupos de sondagens, quer se trate de solos coerentes ou incoerentes, apresentam, em geral, valores de N elevados (N> 50). No grupo 4 o horizonte é constituído, exclusivamente, por rocha; esta conclusão deve-se ao facto do valor de mínimo coincidir com o de máximo.

Horizonte 3

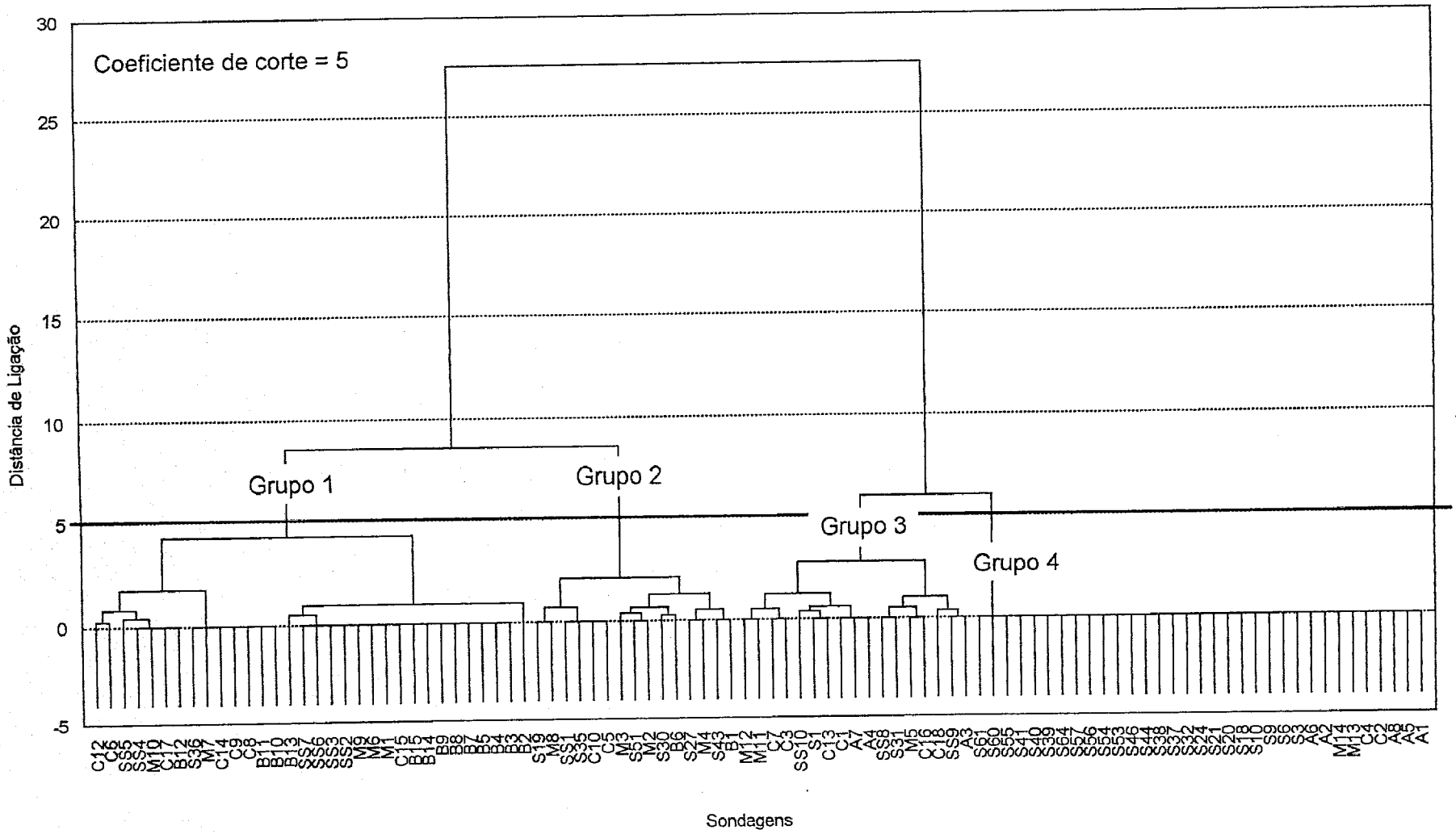



Figura 6.31 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Horizonte 3

Coeficiente de corte = 5
Número de grupos = 4

| Grupo | Sondagens (indivíduos) |
|---|---|
| 1 | C12, C6, SS5, SS4, M10, C17, B12, S36, M7, C14, C9, C8, B11, B10, B13, SS7, SS6, SS3, SS2, M9, M6, M1, C15, B15, B14, B9, B8, B7, B5, B4, B3, B2 |
| 2 | S19, M8, SS1, S35, C10, C5, M3, S51, M2, S30, B6, S27, M4, S43, B1 |
| 3 | M12, M11, C7, C3, SS10, S1, C13, C1, A7, A4, SS8, S31, M5, C16, C18, SS9, A3 |
| 4 | S61, S60, S55, S41, S40, S39, S64, S57, S56, S54, S53, S46, S44, S38, S37, S32, S24, S21, S20, S18, S10, S9, S6, S3, A6, A2, M14, M13, C4, C2, A8, A5, A1 |

Tabela 6.13

HORIZONTE 3

| | Z9 | Z10 | Z11 |
|---|---|---|---|
| Z8 | 0,06 | 0,31 | 0,47 |
| | Z9 | 0,25 | 0,47 |
| | | Z10 | 0,22 |
| | | | Z11 |

Quadro 6.19 - Grupo 1: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z9 | Z10 | Z11 |
|---|---|---|---|
| Z8 | 0,53 | 0,67 | 0,87 |
| | Z9 | 0,33 | 0,53 |
| | | Z10 | 0,47 |
| | | | Z11 |

Quadro 6.20 - Grupo 2: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z9 | Z10 | Z11 |
|---|---|---|---|
| Z8 | 0,65 | 1,00 | 1,00 |
| | Z9 | 0,59 | 0,65 |
| | | Z10 | 0,29 |
| | | | Z11 |

Quadro 6.21 - Grupo 3: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z9 | Z10 | Z11 |
|---|---|---|---|
| Z8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Z9 | 0,00 | 0,00 |
| | | Z10 | 0,00 |
| | | | Z11 |

Quadro 6.22 - Grupo 4: matriz das percentagens de desacordo.

| GRUPO 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z8 | 32 | 2 | 31 | 1 | 2 | 1 |
| Z9 | 32 | 2 | 31 | 1 | 2 | 1 |
| Z10 | 32 | 2 | 23 | 1 | 5 | 4 |
| Z11 | 32 | 2 | 18 | 2 | 5 | 3 |
| GRUPO 2 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z8 | 15 | 2 | 8 | 2 | 3 | 1 |
| Z9 | 15 | 3 | 12 | 2 | 4 | 2 |
| Z10 | 15 | 3 | 13 | 3 | 4 | 1 |
| Z11 | 15 | 4 | 9 | 3 | 4 | 1 |
| GRUPO 3 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z8 | 17 | 3 | 8 | 2 | 4 | 2 |
| Z9 | 17 | 3 | 7 | 3 | 5 | 2 |
| Z10 | 17 | 5 | 12 | 3 | 5 | 2 |
| Z11 | 17 | 5 | 17 | 5 | 5 | 0 |
| GRUPO 4 | | | | | | |
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z8 | 33 | 5 | 33 | 5 | 5 | 0 |
| Z9 | 33 | 5 | 33 | 5 | 5 | 0 |
| Z10 | 33 | 5 | 33 | 5 | 5 | 0 |
| Z11 | 33 | 5 | 33 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.14 - Horizonte 3: valores estatísticos básicos para cada profundidade dos 4 grupos.

Na figura 6.32 localizam-se geograficamente os 4 grupos de sondagens obtidos para o horizonte 3. A interpretação permite distinguir duas grandes zonas: a primeira formada pelos solos com baixa resistência à penetração atravessados essencialmente pelas sondagens do grupo 1 e pelos solos menos resistentes do grupo 2 com pontuais ocorrências de rocha granítica representadas pelas sondagens dos grupos 3 e 4 e que atestam a irregularidade do substrato granítico na Baía da Praia Grande; a segunda é constituída, na essência, por substrato granítico com depressões preenchidas por depósitos menos resistentes à penetração mecânica.

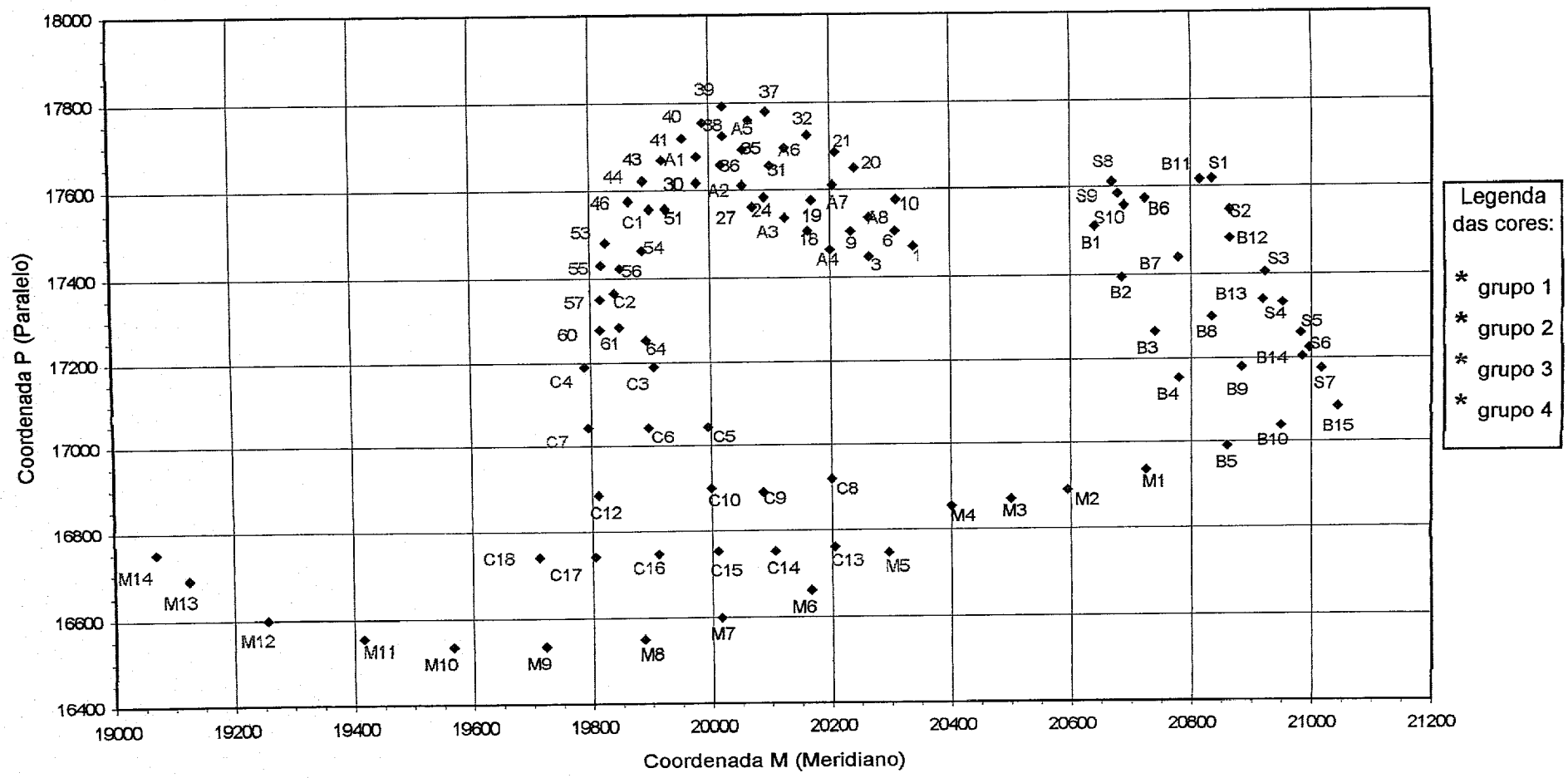



Figura 6.32 -Tentativa de zonamento geográfico para o horizonte 3.

## Horizonte 4

Sobre o dendograma da figura 6.33 foi realidado um corte, à distância de ligação 2, e obtiveram-se 4 grupos de sondagens com respectivamente: 9, 5, 16 e 67 elementos. Os resultados estão representados na tabela 6.15; para cada grupo apresentam-se, nos quadros 6.23 a 6.26, as matrizes das percentagens de desacordo e na tabela 6.16 os estatísticos básicos para as profundidades que constituem este horizonte.

Após análise da informação contida nas figuras, nas tabelas e nos quadros anteriores tentou-se interpretar os grupos que constituem o horizonte.

— Grupos 1 e 3 —

Trata-se, essencialmente, de solos de elevada resistência (N>50) que cobrem o *bedrock* geotécnico encontrado às profundidades Z14 (40.5 m) e Z12 (34.5m), tal como indica o valor máximo.

— Grupo 2 —

Os solos que se encontram a cobrir o *bedrock* geotécnico, encontrado aos 46.5m de profundidade (valor de máximo), apresentam para as primeiras duas profundidades (Z12 e Z13) valores de N inferiores a 50 pancadas.

— Grupo 4 —

O grupo é exclusivamente formado por rocha.

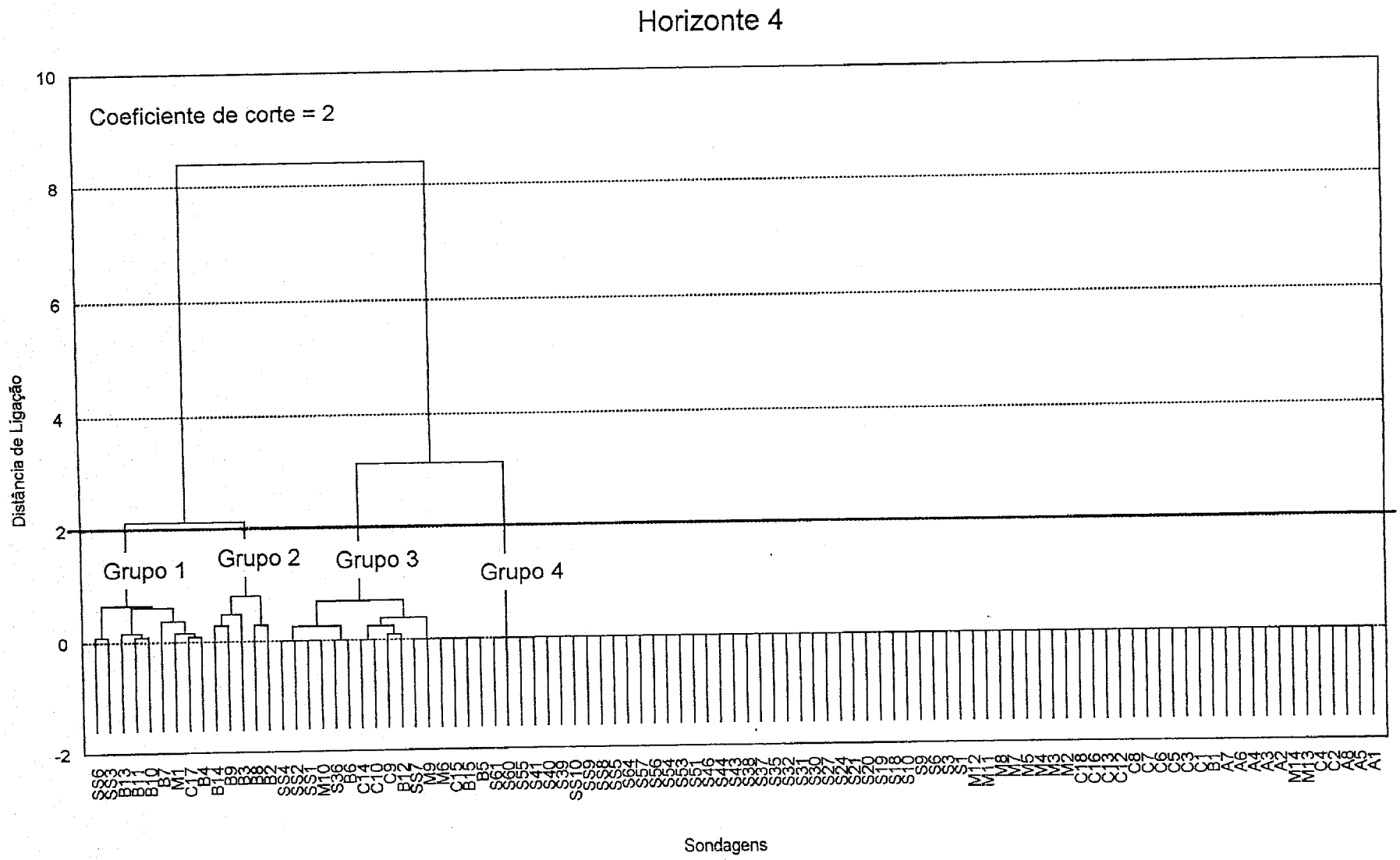



Figura 6.33 - Dendograma resultante da Classificação Ascendente Hierárquica.

Horizonte 4

Coeficiente de corte = 2
Número de grupos = 4

| Grupo | Sondagens (indivíduos) |
|---|---|
| 1 | SS6, SS3, B13, B11, B10, B7, M1, C17, B4 |
| 2 | B14, B9, B3, B8, B2 |
| 3 | SS4, SS2, SS1, M10, S36, B6, C14, C10, C9, B12, SS7, M9, M6, C15, B15, B5 |
| 4 | S61, S60, S55, S41, S40, S39, SS10, SS9, SS8, SS5, S64, S57, S56, S54, S53, S51, S46, S44, S43, S38, S37, S35, S32, S31, S30, S27, S24, S21, S20, S19, S18, S10, S9, S6, S3, S1, M12, M11, M8, M7, M5, M4, M3, M2, C18, C16, C13, C12, C8, C7, C6, C5, C3, C1, B1, A7, A6, A4, A3, A2, M14, M13, C4, C2, A8, A5, A1 |

Tabela 6.15

HORIZONTE 4

| | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z12 | 0,11 | 0,56 | 0,78 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z13 | 0,44 | 0,67 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z14 | 0,33 | 0,89 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z15 | 0,67 | 0,78 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z16 | 0,22 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| | | | | | Z17 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.23 - Grupo 1: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z12 | 0,2 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z13 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | Z14 | 0,00 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |
| | | | Z15 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | Z16 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | Z17 | 0,20 | 0,40 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | Z18 | 0,20 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | | | | Z19 | 0,80 | 1,00 |
| | | | | | | | | Z20 | 0,20 |
| | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.24 - Grupo 2: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z12 | 0,56 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Z13 | 0,56 | 0,63 | 0,63 | 0,63 | 0,63 | 0,63 | 0,63 | 0,63 |
| | | Z14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| | | | Z15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | Z16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | Z17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.25 - Grupo 3: matriz das percentagens de desacordo.

| | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | Z18 | Z19 | Z20 | Z21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Z13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Z14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | Z15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | Z16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | Z17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | Z18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | Z19 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | | Z20 | 0,00 |
| | | | | | | | | | Z21 |

Quadro 6.26 - Grupo 4: matriz das percentagens de desacordo.

| GRUPO 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z12 | 9 | 3 | 6 | 2 | 3 | 1 |
| Z13 | 9 | 3 | 7 | 2 | 3 | 1 |
| Z14 | 9 | 3 | 7 | 3 | 4 | 1 |
| Z15 | 9 | 4 | 5 | 3 | 4 | 1 |
| Z16 | 9 | 4 | 5 | 4 | 5 | 1 |
| Z17 | 9 | 5 | 6 | 4 | 5 | 1 |
| Z18 | 9 | 5 | 9 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 9 | 5 | 9 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 9 | 5 | 9 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 9 | 5 | 9 | 5 | 5 | 0 |

| GRUPO 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z12 | 5 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| Z13 | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| Z14 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| Z15 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| Z16 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| Z17 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| Z18 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| Z19 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| Z20 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 1 |
| Z21 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 1 |

Tabela 6.16 - Horizonte 4: valores estatísticos básicos para cada profundidade dos 4 grupos (continua).

| GRUPO 3 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z12 | 16 | 3 | 14 | 3 | 4 | 1 |
| Z13 | 16 | 3 | 7 | 3 | 5 | 2 |
| Z14 | 16 | 5 | 14 | 4 | 5 | 1 |
| Z15 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z16 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z17 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z18 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 16 | 5 | 16 | 5 | 5 | 0 |

| GRUPO 4 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| profundidade | nº de sondagens | moda | frequência da moda | mínimo | máximo | amplitude |
| Z12 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z13 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z14 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z15 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z16 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z17 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z18 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z19 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z20 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |
| Z21 | 67 | 5 | 67 | 5 | 5 | 0 |

Tabela 6.16 - (continuação).

Na figura 6.34 localizam-se geograficamente os 4 grupos de sondagens obtidos para o horizonte 4. Aos 34.5m de profundidade, a maioria das sondagens do grupo 4 permite distinguir uma grande zona constituída exclusivamente por rocha granítica onde não é exequível o ensaio SPT.

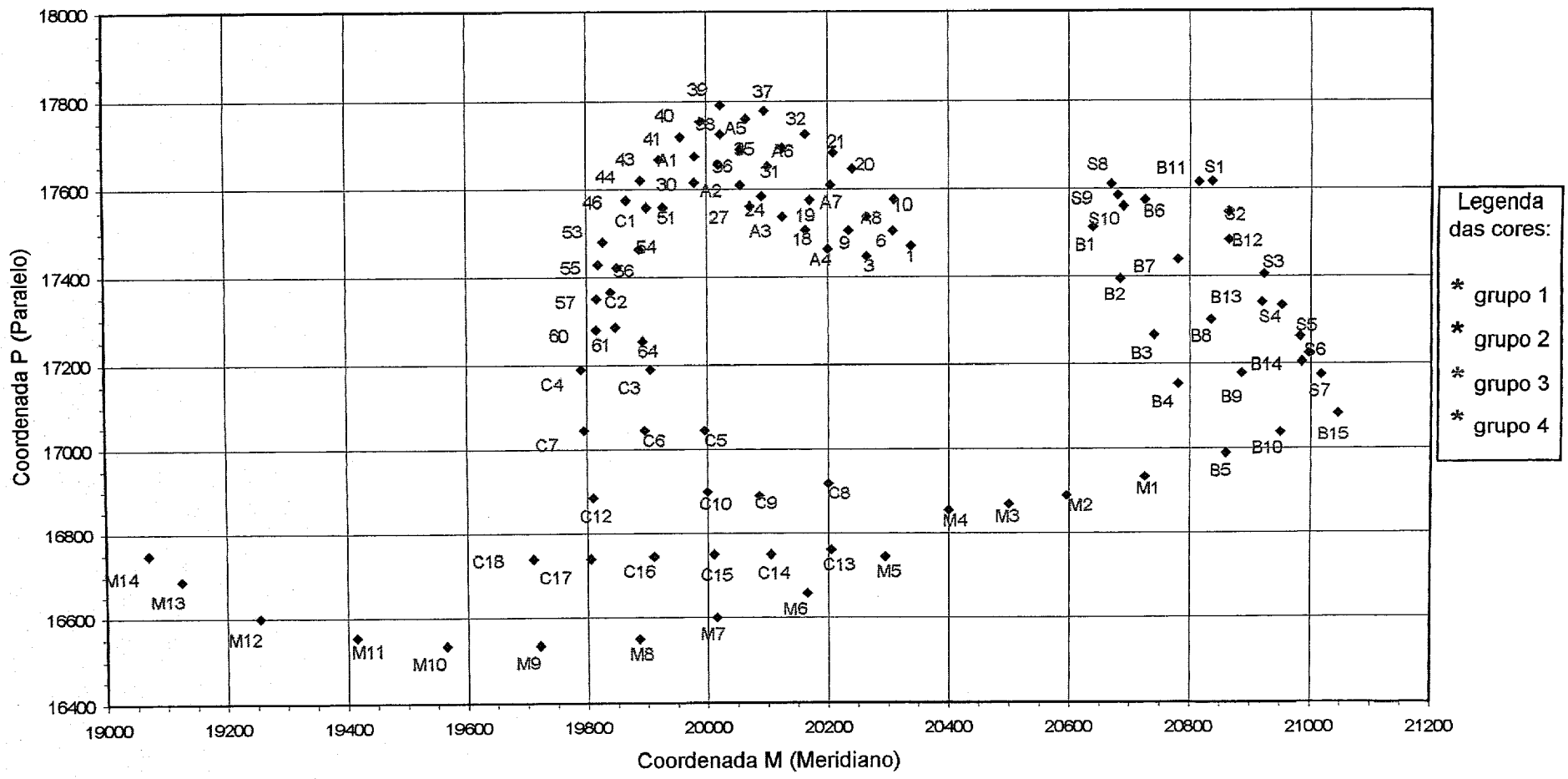



Figura 6.34 - Tentativa de zonamento geográfico para o horizonte 4.

# CAPÍTULO 7. Aplicação da Análise de Dados a Dados Geotécnicos: Análise em Componentes Principais.

# 7. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS A DADOS GEOTÉCNICOS: ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS.

## 7.1 Metodologia 2

### 7.1.1 Introdução

Sem entrar em pormenores acerca dos fundamentos computacionais da Análise em Componentes Principais (ACP) realizou-se, neste capítulo, uma sequência de ensaios de tratamento multidimencional nos quais se aplicou o método da ACP pelo facto das propriedades em estudo serem mensuráveis[1].

Com estes ensaios, surgidos a partir do cruzamento entre a informação disponível, pretendeu-se fazer uma caracterização geral dos parâmetros geotécnicos coligidos (propriedades) dos relatórios consultados, considerando-se apenas o interesse da análise em obter relações entre as propriedades (modo-R)[2].

Os ficheiros de partida foram transcritos sob a forma de matrizes, contendo os respectivos identificadores. Estes exemplos foram concebidos de modo a explorar as potencialidades da análise factorial, sem violar os seus pressupostos teóricos (métrica), utilizando as determinações originais para cada propriedade.

---

[1] Propriedades (variáveis) que admitem a relação de ordem e a soma.

[2] Nesta dissertação optou-se pela análise unicamente em modo -R. Isto deveu-se, por um lado, ao facto dos indivíduos (linhas das matrizes de partida) não serem suficientemente bem conhecidos e, o outro motivo, seguramente o mais condicionante, foi, sem dúvida, a limitação do *Software* disponível. A versão disponibilizada do programa *STATISTICA* apenas permite realizar um estudo em modo-R, onde as propriedades são estudadas com o estatuto de variáveis principais.

Esta técnica (ACP) com objectivo essencialmente descritivo permitiu visualizar, num espaço de dimensão reduzida (compatível com a interpretação), os quadros de partida; o método diz-se factorial porque permite extrair, do quadro de partida, tal como todos os métodos factoriais, as suas características estruturais essenciais, designadas por factores. Essas relações que, geralmente, não são perceptíveis nos dados em bruto tornaram-se mais evidentes, por via da redução da dimensionalidade do espaço, possibilitando o estabelecimento de oposições e proximidades existentes entre os parâmetros geotécnicos submetidos à análise.

Através dos *outputs* ( cargas nos factores e gráficos planos), de cada um dos ensaios, foi possível a visualização e a interpretação do quadro de partida onde se encontram as projecções das propriedades (colunas), nos eixos factoriais ou factores.

Os elementos componentes de um factor chamam-se cargas, as quais, relacionam o factor com as propriedades (variáveis) originais. As cargas representam neste modo de análise as correlações entre as propriedades individuais e os factores. A primeira interpretação levou, no ensaio 3, a reformular o quadro de partida[3].

Apesar da Análise Factorial reduzir a dimensão de um problema, o significado dos factores pode ser difícil de deduzir. Com efeito na teoria dos Factores, as posições de p eixos de factores ortogonais num espaço m-dimensional são constrangidos por m-p eixos desnecessários, que também devem ser colocados ortogonalmente nesse espaço. Contudo apenas se necessita de p eixos de factores para explicar os dados. Em cada um dos ensaios seleccionou-se um número razoável de eixos (em alguns ensaios bastante inferior ao número de propriedades) onde se projectou a nuvem das propriedades, tomando-se o seguinte critério:

[3] Este procedimento é conhecido por retroacção.

- foram retidos os eixos com cargas iguais ou superiores ao valor absoluto 0.70; com este procedimento ficaram retidos os eixos cujos valores próprios são iguais ou superiores a 1.

Para cada eixo dá-se a percentagem de variância transportada ou explicada e as variáveis relacionadas com o eixo, aplicando o seguinte critério: em ACP, considera-se uma variável relacionada com o eixo factorial sempre que a sua carga nesse eixo for igual ou superior ao valor absoluto 0.70.

A interpretação dos *outputs* (gráficos e cargas nos factores) apenas contemplou as variáveis que se relacionam com cada eixo e o modo como esse eixo separa as variáveis.

Com a finalidade de detectar outro tipo de informação não explicitada pela ortogonalidade dos factores recorreu-se à estratégia *Varimax raw*; esta estratégia tem por objectivo mover cada eixo de um factor para posições tais que a projecção de cada propriedade no eixo do factor esteja próxima ou da origem ou das extremidades, isto é, o método opera por forma que a carga dos factores esteja ou próximo de ±1 ou de 0. Para cada factor existirão cargas significativamente elevadas e cargas insignificantes. O critério varimax implica a maximização da variância das cargas dos factores. Quanto à aplicação da estratégia nos ensaios aqui estudados pode dizer-se que a interpretação, em termos de propriedades, foi melhorada. Contudo, em certos casos, a rotação dos factores não melhora a análise e pode confundir os resultados ainda mais: isto significa que os factores são oblíquos ou correlacionados, ou que o modelo de factores é inapropriado.

Finalmente chama-se a atenção do leitor para o seguinte: para cada valor da coluna PROF das matrizes dos dados foi estimado o valor do número de pancadas, N, obtido no ensaio SPT. A estimação foi realizada de acordo com os critérios formulados no ponto 6.2.2 do capítulo 6; neste ponto descreveu-se a uniformização do parâmetro N para intervalos de profundidade constantes.

### 7.1.2 Ensaio 1

O objectivo deste ensaio consistiu na caracterização das relações existentes na informação resultante do cruzamento entre a profundidade e os parâmetros determinados pelos ensaios *in situ* SPT e CPT, cujos valores se encontram no quadro 7.1 do anexo F; a matriz de dimensões 289 x 9 contém em linha as determinações de cada propriedade e em coluna os seguintes identificadores:

PROF - profundidade (m);

N - nº de pancadas obtido no ensaio SPT;

RT - resistência total, $R_t$, (N), resistência total do sistema de varas e ponteira cravado;

QC - $q_c = R_p/S_p$ (MPa), tensão de ponta;

QS - $q_s = R_m/S_m$ (KPa), tensão de atrito, também identificada por $f_s$;

FR - $f_r = q_s/q_c \times 100$ (%), coeficiente de atrito ou razão atrítica;

Como se pode constatar as 289 determinações são descritas por parâmetros quantitativos heterogéneos.

Da informação recolhida construiram-se os quadros 7.2 e 7.3 onde se encontram, respectivamente, a matriz das correlações entre as diferentes propriedades e os valores estatísticos básicos.

A Análise em Componentes Principais da informação relativa a este ensaio iniciou-se admitindo a ortogonalidade dos eixos factoriais.

| | N | RT | QC | QS | FR |
|---|---|---|---|---|---|
| PROF | 0,5523 | 0,7748 | 0,2360 | 0,2386 | 0,0286 |
| | N | 0,4415 | 0,2617 | 0,2528 | 0,0550 |
| | | RT | 0,2756 | 0,2017 | -0,0444 |
| | | | QC | 0,5329 | -0,1039 |
| | | | | QS | 0,5829 |
| | | | | | FR |

Quadro 7.2 - Matriz das correlações entre as propriedades.

| ESTATISTICOS BÁSICOS | PROPRIEDADES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | PROF | N | RT | QC | QS | FR |
| média | 11,96 | 9 | 8800 | 0,87 | 50,20 | 6,55 |
| Nº casos | 289 | 289 | 289 | 289 | 289 | 289 |
| mediana | 12,4 | 7 | 4000 | 0,6 | 26,7 | 5,3 |
| mínimo | 0,4 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| máximo | 24,4 | 32 | 44000 | 7 | 466,7 | 42,2 |
| 1º quartil | 9,6 | 2 | 2000 | 0,2 | 6,7 | 3,3 |
| 3º quartil | 14 | 12 | 9300 | 1,2 | 60 | 6,7 |
| desvio padrão | 5,15764 | 7,46846 | 10267,5 | 0,939144 | 68,30424 | 5,978219 |
| variância | 26,6013 | 55,7778 | 1,1E+08 | 0,881991 | 4665,47 | 35,7391 |
| amplitude | 24 | 30 | 43900 | 7 | 466,7 | 42,2 |
| distância interquartis | 4,40 | 10 | 7300 | 1 | 53,3 | 3,40 |
| assimetria | -0,05660 | 1,07667 | 1,60780 | 2,88752 | 3,03651 | 2,90994 |
| curtose | 0,12332 | 0,38079 | 1,44383 | 13,31386 | 11,36646 | 10,74442 |

Quadro 7.3

#### 7.1.2.1 Eixos Factoriais Ortogonais

No quadro 7.4 podem ver-se as cargas em cada um dos eixos factoriais retidos; no quadro 7.5 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada por cada um dos eixos factoriais; finalmente, nas figuras 7.1 e 7.2 encontram-se as projecções das propriedades nos correspondentes planos factoriais.

Do ponto de vista das conclusões parciais, a retirar deste ensaio, pode dizer-se que as estruturas fortes que emergem dos dados se sumarizam nos seguintes aspectos:

1. o plano factorial 1,2 explica 67.63% da variância; neste plano o factor 1 é essencialmente explicado pelas propriedades: PROF, N e RT e o factor 2 pelas propriedades: QS e FR;
2. o plano factorial 1,3 explica 59.28% da variância; ao parâmetro QC associa-se a carga -0.7799 para o factor 3 por ser o eixo com o qual está mais ligado; neste plano todos os outros parâmetros ( PROF, N, RT, QS e FR) têm uma contribuição baixa para os eixos;
3. os dois planos factoriais anteriores mostram que uma proporção de 84.13% da variação total contida nos dados é explicada em termos de um modelo tridimensional.
4. as cargas não significativas de toda a coluna do factor 4 apontam para uma descontinuidade deste factor relativamente ao factor 3; os factores 4 e restantes não são, portanto, interpretáveis com seguras bases matemáticas ficando uma fracção de 15.87% da variação total do sistema atribuível a outras componentes provavelmente aleatórias.

| CARGAS NOS FACTORES ORTOGONAIS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 |
| PROF | -0,825 | 0,331 | 0,263 | -0,166 | -0,335 | 0,031 |
| N | -0,715 | 0,176 | 0,145 | 0,656 | 0,075 | -0,006 |
| RT | -0,785 | 0,379 | 0,162 | -0,355 | 0,297 | -0,013 |
| QC | -0,578 | -0,142 | -0,780 | -0,018 | -0,005 | 0,194 |
| QS | -0,617 | -0,719 | -0,162 | -0,058 | -0,026 | -0,270 |
| FR | -0,209 | -0,819 | 0,489 | -0,036 | 0,042 | 0,209 |
| Variância explicada: | 2,567 | 1,491 | 0,990 | 0,589 | 0,208 | 0,155 |
| Proporção do Total: | 0,428 | 0,248 | 0,165 | 0,098 | 0,035 | 0,026 |

Quadro 7.4

| factor | valor próprio | variância explicada (%) | valor próprio acumulado | variância acumulada (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,56659 | 42,78 | 2,56659 | 42,78 |
| 2 | 1,49098 | 24,85 | 4,05756 | 67,63 |
| 3 | 0,99007 | 16,50 | 5,04764 | 84,13 |
| 4 | 0,58879 | 9,81 | 5,63643 | 93,94 |
| 5 | 0,20826 | 3,47 | 5,84469 | 97,41 |
| 6 | 0,15531 | 2,59 | 6 | 100 |

Quadro 7.5

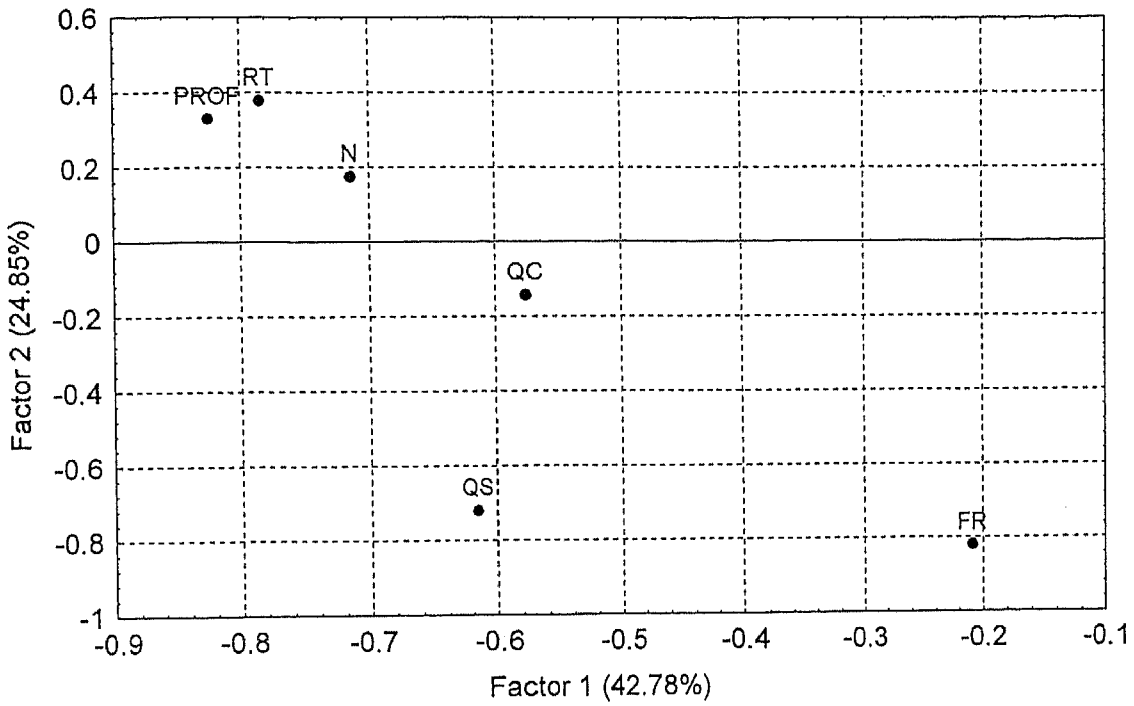



Figura 7.1 - Projecção das propriedades no plano factorial ortogonal 1,2 (ACP).

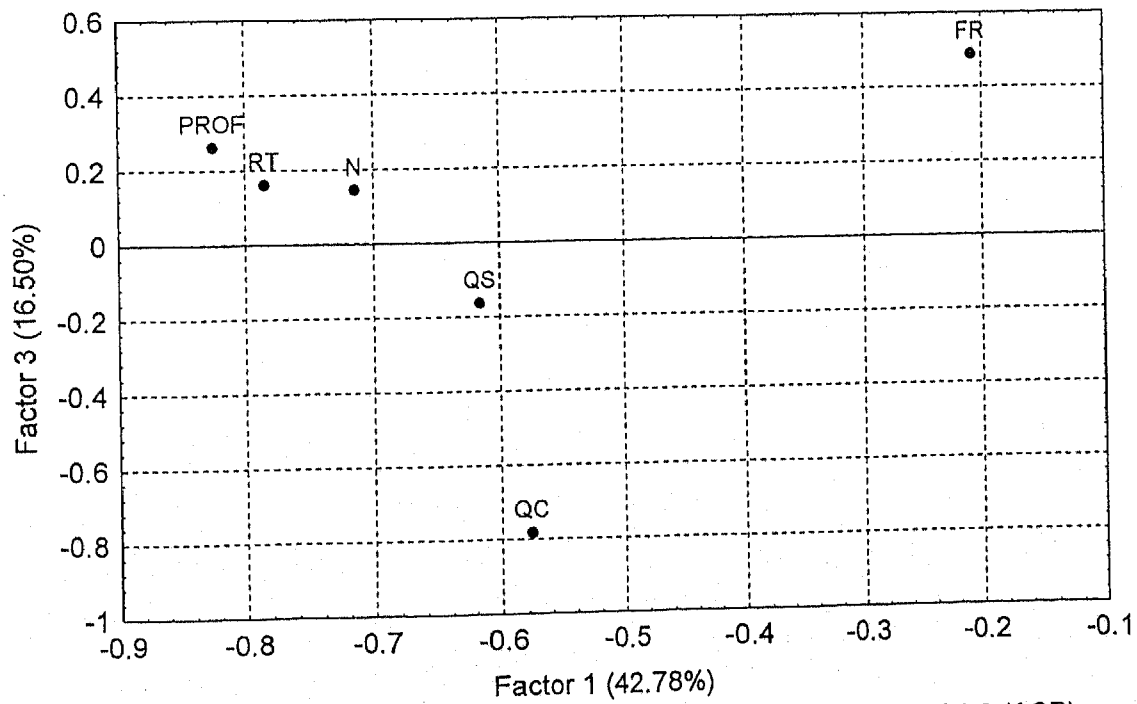



Figura 7.2 - Projecção das propriedades no plano factorial ortogonal 1,3 (ACP).

### 7.1.2.2 Interpretação Genérica do Modelo

Cerca de 42.78%, quase metade da variação, esgota-se no factor 1; o primeiro factor será, em conclusão, identificado com a densificação do solo. Apesar da existência de variações litológicas em profundidade o valor de N é tanto mais elevado quanto maior for a profundidade. Esta percentagem de explicação traduz-se, também, num incremento da resistência total, ou seja, da resistência de todo o sistema de varas e ponteira, durante a execução do ensaio CPT porque a superfície de contacto com o solo aumenta com a profundidade.

O factor 2 absorve 24.85% da variabilidade do sistema; este factor é essencialmente explicado pelos parâmetros FR e QS.

Embora o factor 3 absorva apenas 16.50% da proporção da variabilidade total ele isola, quase completamente, o parâmetro QC.

Haja em vista o que se conhece do comportamento do penetrómetro holandês em função do tipo de material atravassado e do modo como o ensaio CPT é executado, pode dizer-se que este factor exprime o atrito interno e a coesão dos solos; quando os solos possuem granulometrias mais finas apresentam menor resistência de ponta; o aumento do valor QC é indicador da presença de material não plástico.

No que respeita ao coeficiente de atrito (FR), convém ressaltar que a propriedade resulta da razão entre QS e QC; sendo assim, a informação que vincula estará, à partida, contida em QS e em QC. Na realidade FR explica tanto quanto o QS porque são parâmetros da mesma natureza matemática (proporcionalidade directa) ou seja, dependentes. Este ensaio factorial revelou que FR e QS estão fortemente ligados ao factor 2. Assim, este factor caracteriza o comportamento dos solos quanto à tensão de atrito lateral (valor elevado para os materiais argilosos).

Optou-se por estudar o parâmetro FR unicamente com o objectivo de perceber, do ponto de vista estatístico, a informação contida na carta simplificada de classificação dos solos a partir dos resultados do CPT (Robertson e Campanella, 1983 *in* Matos Fernandes, 1995) representada na figura 4.15 desta dissertação. Do que ficou exposto pode concluir-se que a carta simplificada de classificação dos solos compreende a informação explicada pelo plano factorial 2,3.

### 7.1.3 Ensaio 2

Neste ensaio caracterizaram-se as relações existentes na informação resultante do cruzamento entre a profundidade e os parâmetros determinados pelos ensaios *in situ* SPT e *Vane Test*. Os dados de partida encontram-se no quadro 7.6 e constituem uma matriz de dimensões 47 x 4 que contém em linha as determinações de cada propriedade e em coluna os seguintes identificadores:

PROF - profundidade (m);

N - nº de pancadas obtido no ensaio SPT;

RC_INALT - resistência do solo inalterado ou resistência ao corte máxima (KPa);

RC_REMEX - resistência do solo remexido ou resistência ao corte mínima (KPa).

Tal como no ensaio anterior, as 47 determinações também são descritas por parâmetros quantitativos heterogéneos. Nos quadros 7.7 e 7.8 podem observar-se respectivamente, os valores estatísticos básicos e a matriz das correlações entre as diferentes propriedades.

Na análise multidimensional da informação disponível para este ensaio admitiu-se a ortogonalidade dos eixos factoriais.

| nº de determinações | PROF | N | RC_INALT | RC_REMEX |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3,3 | 1 | 3,7 | 1,4 |
| 2 | 4 | 1 | 17,3 | 12,3 |
| 3 | 3,5 | 1 | 5,6 | 1 |
| 4 | 5,5 | 3 | 7,2 | 2,1 |
| 5 | 6,5 | 5 | 13,5 | 3,2 |
| 6 | 7,5 | 6 | 12,5 | 3 |
| 7 | 3,25 | 1 | 9,4 | 3,8 |
| 8 | 4,35 | 2 | 8,5 | 2,9 |
| 9 | 3,5 | 1 | 2,1 | 1,4 |
| 10 | 5,95 | 3 | 11,9 | 5,9 |
| 11 | 5,45 | 1 | 4,9 | 1,8 |
| 12 | 4,1 | 1 | 5,2 | 2,6 |
| 13 | 7 | 1 | 6,5 | 2,7 |
| 14 | 6,25 | 1 | 6,8 | 3 |
| 15 | 4,55 | 1 | 5,12 | 1,3 |
| 16 | 7,55 | 1 | 10 | 3,3 |
| 17 | 5,55 | 2 | 5,4 | 2,2 |
| 18 | 7,25 | 2 | 16,3 | 8,3 |
| 19 | 5,55 | 2 | 3,4 | 1,6 |
| 20 | 4,25 | 1 | 2,7 | 1 |
| 21 | 4,6 | 1 | 6,4 | 3,1 |
| 22 | 7,65 | 2 | 7,5 | 2,9 |
| 23 | 6,15 | 1 | 3,7 | 1,3 |

Quadro 7.6 - Dados de partida para o ensaio 2.

| nº de determinações | PROF | N | RC_INALT | RC_REMEX |
|---|---|---|---|---|
| 24 | 5,25 | 1 | 7,7 | 1,9 |
| 25 | 6,6 | 2 | 13,2 | 4,5 |
| 26 | 4,35 | 1 | 6,8 | 3,4 |
| 27 | 7,4 | 1 | 61 | 30,8 |
| 28 | 6,45 | 2 | 6,2 | 1,8 |
| 29 | 5,65 | 2 | 3,5 | 1,6 |
| 30 | 5,95 | 2 | 7,2 | 2,1 |
| 31 | 7,25 | 2 | 11,3 | 3,2 |
| 32 | 6,5 | 2 | 9,5 | 4 |
| 33 | 5,25 | 2 | 8,9 | 3,1 |
| 34 | 7,8 | 2 | 13,1 | 5,1 |
| 35 | 6,7 | 2 | 12,1 | 3,9 |
| 36 | 5,2 | 1 | 7,1 | 2,8 |
| 37 | 7,95 | 2 | 29,5 | 11,2 |
| 38 | 6,25 | 2 | 7,9 | 2,2 |
| 39 | 4,55 | 1 | 3,2 | 2 |
| 40 | 7,55 | 2 | 6,7 | 3 |
| 41 | 5,8 | 1 | 10,7 | 4,6 |
| 42 | 3,95 | 1 | 5,6 | 2,4 |
| 43 | 5,45 | 1 | 17,9 | 7,8 |
| 44 | 6,25 | 1 | 3,2 | 1,4 |
| 45 | 4,5 | 2 | 7,1 | 3,3 |
| 46 | 7,1 | 2 | 10,3 | 4,2 |
| 47 | 4 | 2 | 69 | 36,9 |

Quadro 7.6 - (Continuação).

| ESTATÍSTICOS BÁSICOS | PROPRIEDADES | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PROF | N | RC_INALT | RC_REMEX |
| média | 5,68 | 1,70 | 10,94 | 4,67 |
| Nº casos | 47 | 47 | 47 | 47 |
| mediana | 5,65 | 2 | 7,20 | 3 |
| mínimo | 3,25 | 1 | 2,10 | 1 |
| máximo | 7,95 | 6 | 69 | 36,90 |
| 1º quartil | 4,5 | 1 | 5,40 | 1,90 |
| 3º quartil | 6,7 | 2 | 11,9 | 4 |
| desvio padrão | 1,354 | 0,998 | 12,56 | 6,68 |
| variância | 1,833 | 0,996 | 157,70 | 44,62 |
| amplitude | 4,7 | 5 | 66,9 | 35,90 |
| distância inter-quartis | 2,20 | 1 | 6,50 | 2,10 |
| assimetria | -0,098 | 2,562 | 3,70 | 3,93 |
| curtose | -1,076 | 8,545 | 14,53 | 16,12 |

Quadro 7.7

| | N | RC_INALT | RC_REMEX |
|---|---|---|---|
| PROF | 0,3992 | 0,1573 | 0,0629 |
| | N | 0,0870 | -0,0071 |
| | | RC_INALT | 0,9828 |
| | | | RC_REMEX |

Quadro 7.8 - Matriz das correlações entre as propriedades.

#### 7.1.3.1 Eixos Factoriais Ortogonais

No quadro 7.9 encontram-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada para os eixos factoriais. No quadro 7.10 podem ver-se as cargas em cada um dos eixos factoriais retidos e na figura 7.3 encontram-se as projecções das propriedades no plano factorial 1,2.

Sumariamente pode dizer-se que as estruturas que emergem dos dados são as seguintes:

1. no plano factorial 1,2 o factor 1 engloba metade da variação, 50.56%, sendo explicado pelas propriedades: RC_INALT e RC_REMEX; com 34.24% de variação, o factor 2 é essencialmente explicado pelas propriedades: PROF e N.
2. o plano factorial 1,2 mostra que uma proporção de 84.80% da explicação total contida nos dados é explicada em termos de um modelo bidimensional.

#### 7.1.3.2 Interpretação Genérica do Modelo

A correlação entre as propriedades que explicam o factor 1 e as que explicam o factor 2 é baixa. Pelo contrário a correlação é alta entre as duas resistências do solo ao corte; estes dois parâmetros explicam de modo idêntico o factor 1 que se traduz na resistência do solo ao corte. O parâmetro RC_REMEX permite a avaliação das condições mais desfavoráveis dos terrenos, quando as deformações são muito grandes; o facto de RC_REMEX apresentar uma carga no factor 1 com um valor muito aproximado ao da carga do parâmetro RC_INALT sugere um andamento similar das curvas que traduzem os dois tipos de resistência do solo. Isto é, o momento transmitido à vara pelo dispositivo mecânico

| factor | valor próprio | variância explicada (%) | valor próprio acumulado | variância acumulada (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,02258 | 50,56462 | 2,02258 | 50,564618 |
| 2 | 1,36941 | 34,23533 | 3,39200 | 84,799943 |
| 3 | 0,59721 | 14,93013 | 3,98920 | 99,730076 |
| 4 | 0,01080 | 0,26992 | 4 | 100 |

Quadro 7.9

| CARGAS NOS FACTORES ORTOGONAIS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 |
| PROF | 0,285 | 0,784 | -0,551 | 0,005 |
| N | 0,188 | 0,820 | 0,541 | 0,005 |
| RC_INALT | 0,987 | -0,138 | 0,027 | -0,074 |
| RC_REMEX | 0,965 | -0,250 | 0,029 | 0,073 |
| Variância explicada: | 2,023 | 1,369 | 0,597 | 0,011 |
| Proporção do Total: | 0,506 | 0,342 | 0,149 | 0,003 |

Quadro 7.10

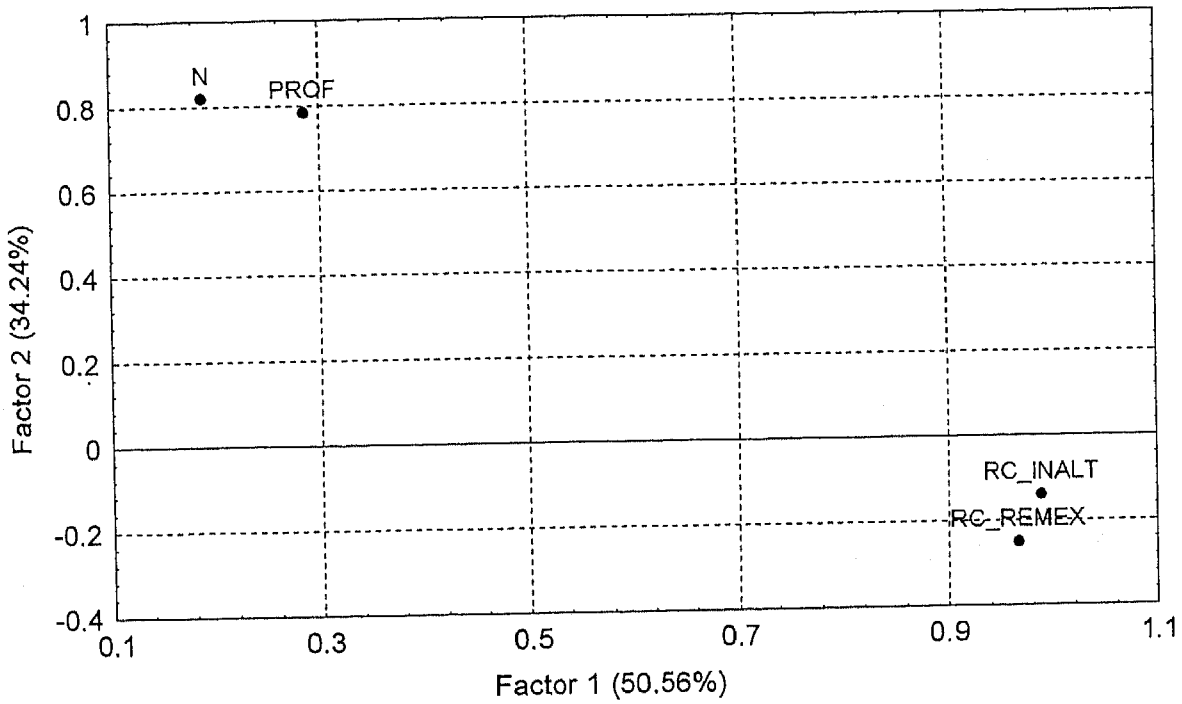



Figura 7.3 - Projecção das propriedades no plano factorial ortogonal 1,2 (ACP).

colocado na superfície do terreno que impõe uma velocidade de rotação constante do molinete, e que permite obter o diagrama momento aplicado *versus* ângulo de rotação, cujo aspecto típico se indica na figura 4.17(c) releva um andamento, após o valor de pico, semelhante dos dois tipos de curvas.

Quanto às outras duas propriedades, elas explicam essencialmente o factor 2, correspondendo à densificação do solo que aumenta com a profundidade.

Este modelo bidimensional, nomeadamente o plano factorial 1,2, revelou que a informação inerente aos dois tipos de ensaios *in situ* possui um carácter complementar, ou seja, não se sobrepõe e é disjunta.

### 7.1.4 Ensaio 3

No quadro 7.11 encontra-se registada, para o maior número possível de determinações, a informação resultante do cruzamento efectuado entre parâmetros de ensaios *in situ* e de laboratório. Assim, os dados de partida constituem uma matriz de dimensões 29 x 12 que contém em linha as amostras de solo estudadas no capítulo 5 e em coluna os seguintes identificadores:

PROF - profundidade (m);

N - nº de pancadas obtido no ensaio SPT;

W - Teor em água (%);

PE - peso específico (g/cm$^3$);

P2 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 9.510 mm de lado;

P3 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 4.760 mm de lado;

P4 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 2.000 mm de lado;

| Amostras | PROF | N | W | PE | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 401 | 3 | 7 | 14,7 | 2,19 | 90,9 | 82,5 | 52,6 | 28,8 | 19,3 | 14,9 | 11,1 | 10,4 |
| 402 | 6 | 7 | 11,6 | 2,24 | 98,1 | 90,1 | 57,2 | 33 | 21,1 | 16,9 | 13,6 | 13 |
| 403 | 12 | 32 | 23,3 | 1,65 | 100 | 95,1 | 72,2 | 55,3 | 42,1 | 35 | 25 | 22 |
| 404 | 3 | 1 | 94,4 | 1,5 | 100 | 100 | 100 | 99,5 | 98,5 | 97,5 | 96 | 95,2 |
| 405 | 3 | 1 | 85,8 | 1,53 | 100 | 100 | 100 | 99,4 | 99,1 | 98,5 | 97,5 | 97 |
| 406 | 6 | 1 | 85,1 | 1,51 | 100 | 100 | 100 | 99,5 | 98,7 | 98,3 | 97,2 | 94,9 |
| 407 | 12 | 20 | 11,8 | 2,22 | 100 | 96 | 74,2 | 53,2 | 35,5 | 29,9 | 25,7 | 24,8 |
| 408 | 18 | 20 | 26,2 | 1,95 | 99,3 | 86,4 | 57 | 44,5 | 38,9 | 36,4 | 32,7 | 31,6 |
| 409 | 6 | 2 | 88,5 | 1,38 | 100 | 100 | 100 | 99,8 | 99,3 | 98,7 | 98,5 | 98,3 |
| 410 | 12 | 7 | 30 | 1,8 | 100 | 100 | 98,8 | 96,8 | 93,6 | 91,7 | 90,2 | 89,9 |
| 411 | 15 | 11 | 31,7 | 1,84 | 100 | 99,8 | 97,5 | 93,1 | 89,7 | 87,6 | 85,1 | 84,5 |
| 412 | 6 | 2 | 86,7 | 1,38 | 100 | 100 | 100 | 99,4 | 99,2 | 98,1 | 97,7 | 97,5 |
| 413 | 12 | 9 | 18,2 | 2,07 | 100 | 99,3 | 87,4 | 69,7 | 59,5 | 54,3 | 49,8 | 48,7 |
| 414 | 21 | 27 | 18,4 | 1,63 | 100 | 95,5 | 66,4 | 40,5 | 27,1 | 22,1 | 17,6 | 16,7 |
| 415 | 6 | 1 | 80,5 | 1,54 | 100 | 100 | 100 | 98,8 | 98,4 | 98,1 | 97,6 | 97,3 |
| 416 | 12 | 1 | 35,7 | 1,86 | 100 | 100 | 100 | 89,6 | 85,1 | 78,7 | 71,1 | 70 |
| 417 | 18 | 17 | 18,7 | 2,12 | 100 | 98,8 | 92 | 82,2 | 73,5 | 67,1 | 54,6 | 51 |
| 418 | 6 | 2 | 88 | 1,66 | 100 | 100 | 100 | 99,9 | 99,6 | 99,5 | 99,3 | 99,1 |
| 419 | 12 | 19 | 31,4 | 1,93 | 100 | 100 | 97,3 | 95,5 | 94,7 | 94 | 89,6 | 89,4 |
| 420 | 21 | 15 | 31,7 | 1,83 | 100 | 100 | 97,1 | 66,6 | 47 | 40 | 32,7 | 31,4 |
| 421 | 6 | 2 | 87,1 | 1,48 | 100 | 100 | 100 | 99,7 | 99,6 | 98,6 | 98,1 | 97,2 |
| 422 | 12 | 5 | 28,9 | 1,64 | 100 | 100 | 99,3 | 91,8 | 90,1 | 88,1 | 81,6 | 80,4 |
| 423 | 15 | 30 | 18,8 | 2,08 | 100 | 100 | 100 | 85,8 | 77,6 | 66,9 | 54,4 | 52,7 |
| 424 | 6 | 2 | 95,3 | 1,6 | 100 | 100 | 100 | 99,8 | 99,6 | 99,4 | 98,7 | 98,4 |
| 425 | 12 | 8 | 30,1 | 2,02 | 100 | 100 | 100 | 98,7 | 96,8 | 95,4 | 93,1 | 92,4 |
| 426 | 18 | 8 | 25,4 | 2 | 100 | 99,7 | 93,6 | 80,8 | 73,2 | 68,8 | 63,3 | 60,9 |
| 427 | 6 | 2 | 88,7 | 1,99 | 100 | 100 | 100 | 99,9 | 99,8 | 99,7 | 99,5 | 99,4 |
| 428 | 12 | 14 | 32,9 | 2 | 100 | 100 | 92,5 | 86,1 | 83,2 | 81,8 | 79,4 | 78,3 |
| 429 | 18 | 20 | 30,3 | 1,92 | 100 | 94,4 | 90,1 | 74,7 | 60,8 | 52,9 | 46,5 | 45,3 |

Quadro 7.11 - Dados de partida para o ensaio 3.

P5 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.850 mm de lado;

P6 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.425 mm de lado;

P7 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.250 mm de lado;

P8 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.106 mm de lado;

P9 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.075 mm de lado.

Da informação recolhida construiram-se os quadros 7.12 e 7.13 onde se encontram, respectivamente, os valores estatísticos básicos e a matriz das correlações entre as diferentes propriedades.

A análise da informação relativa a este ensaio iniciou-se, em primeiro lugar, admitindo a ortogonalidade dos eixos factoriais.

#### 7.1.4.1 Eixos Factoriais Ortogonais

No quadro 7.14 encontram-se os valores próprios e a percentagem de variância e no quadro 7.15 estão registadas as cargas em cada um dos eixos factoriais retidos; na figura 7.4 encontra-se a projecção das propriedades no plano factorial 1,2.

As estruturas que emergem dos dados podem sintetizar-se em:

1. no plano factorial 1,2 o factor 1 absorve 68.69% da variância total, sendo essencialmente explicado pelas propriedades: W, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9; neste plano o factor 2, fundamentalmente explicado pelas propriedades: PROF e P2, absorve 17.04% da variância;

| propriedades | média | nº casos | mínimo | máximo | 1º quartil | 3º quartil | desvio padrão | variância | amplitude | distância inter-quartis | assimetria | curtose |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROF | 10,86 | 29 | 3 | 21 | 6 | 15 | 5,52 | 30,48 | 18 | 9 | 0,2738 | -1,0349 |
| N | 10 | 29 | 1 | 32 | 2 | 17 | 9,44 | 89,10 | 31 | 15 | 0,9172 | -0,1866 |
| W | 46,55 | 29 | 11,6 | 95,3 | 23,3 | 85,8 | 31,30 | 979,94 | 83,7 | 62,50 | 0,5823 | -1,5558 |
| PE | 1,81 | 29 | 1,38 | 2,24 | 1,6 | 2 | 0,26 | 0,07 | 0,86 | 0,40 | -0,0639 | -1,2116 |
| P2 | 99,60 | 29 | 90,9 | 100 | 100 | 100 | 1,71 | 2,94 | 9,099998 | 0 | -5,0296 | 26,0618 |
| P3 | 97,85 | 29 | 82,5 | 100 | 98,8 | 100 | 4,43 | 19,59 | 17,5 | 1,20 | -2,4171 | 5,5189 |
| P4 | 90,52 | 29 | 52,6 | 100 | 90,1 | 100 | 15,04 | 226,18 | 47,4 | 9,90 | -1,5847 | 1,1568 |
| P5 | 81,46 | 29 | 28,8 | 99,9 | 69,7 | 99,4 | 22,69 | 514,76 | 71,1 | 29,70 | -1,1511 | 0,0504 |
| P6 | 75,88 | 29 | 19,3 | 99,8 | 59,5 | 98,7 | 27,47 | 754,83 | 80,5 | 39,20 | -0,9136 | -0,6293 |
| P7 | 72,72 | 29 | 14,9 | 99,7 | 52,9 | 98,1 | 29,34 | 860,96 | 84,8 | 45,20 | -0,7836 | -0,8879 |
| P8 | 68,87 | 29 | 11,1 | 99,5 | 46,5 | 97,5 | 31,20 | 973,14 | 88,4 | 51 | -0,6210 | -1,1747 |
| P9 | 67,85 | 29 | 10,4 | 99,4 | 45,3 | 97 | 31,53 | 994,00 | 89 | 51,70 | -0,5925 | -1,2290 |

Quadro 7.12 - Valores estatísticos básicos.

| | N | W | PE | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROF | 0,6973 | -0,6780 | 0,3720 | 0,2861 | -0,0284 | -0,1588 | -0,3268 | -0,3985 | -0,4340 | -0,4803 | -0,4878 |
| N | | -0,6854 | 0,4049 | 0,0601 | -0,2863 | -0,4442 | -0,5381 | -0,5866 | -0,6186 | -0,6610 | -0,6666 |
| W | | | -0,7653 | 0,2467 | 0,4416 | 0,5690 | 0,6870 | 0,7197 | 0,7432 | 0,7758 | 0,7784 |
| PE | | | | -0,3475 | -0,4315 | -0,4707 | -0,5403 | -0,5594 | -0,5743 | -0,5919 | -0,5915 |
| P2 | | | | | 0,7648 | 0,5986 | 0,5487 | 0,4893 | 0,4672 | 0,4384 | 0,4314 |
| P3 | | | | | | 0,9193 | 0,8438 | 0,7867 | 0,7620 | 0,7300 | 0,7235 |
| P4 | | | | | | | 0,9547 | 0,9112 | 0,8856 | 0,8542 | 0,8489 |
| P5 | | | | | | | | 0,9906 | 0,9802 | 0,9623 | 0,9582 |
| P6 | | | | | | | | | 0,9970 | 0,9855 | 0,9825 |
| P7 | | | | | | | | | | 0,9951 | 0,9930 |
| P8 | | | | | | | | | | | 0,9997 |
| P9 | | | | | | | | | | | |

Quadro 7.13 - Matriz das correlações entre as propriedades.

| factor | valor próprio | variância explicada (%) | valor próprio acumulado | variância acumulada (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 8,2546 | 68,7886 | 8,2546 | 68,7886 |
| 2 | 2,0448 | 17,0401 | 10,2994 | 85,8287 |
| 3 | 0,7767 | 6,4723 | 11,0761 | 92,3010 |
| 4 | 0,3083 | 2,5692 | 11,3844 | 94,8703 |
| 5 | 0,2603 | 2,1689 | 11,6447 | 97,0392 |
| 6 | 0,1994 | 1,6618 | 11,8441 | 98,7010 |
| 7 | 0,1145 | 0,9541 | 11,9586 | 99,6551 |
| 8 | 0,0337 | 0,2812 | 11,9924 | 99,9363 |
| 9 | 0,0061 | 0,0510 | 11,9985 | 99,9874 |
| 10 | 0,0012 | 0,0098 | 11,9997 | 99,9972 |
| 11 | 0,0003 | 0,0023 | 11,9999 | 99,9995 |
| 12 | 0,0001 | 0,0005 | 12 | 100 |

Quadro 7.14

| CARGAS NOS FACTORES ORTOGONAIS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 |
| PROF | -0,462 | -0,802 | -0,018 | -0,050 | 0,328 | 0,148 |
| N | -0,655 | -0,573 | -0,178 | -0,380 | -0,243 | -0,079 |
| W | 0,812 | 0,390 | -0,325 | 0,039 | -0,086 | 0,043 |
| PE | -0,662 | -0,152 | 0,687 | 0,100 | -0,190 | 0,077 |
| P2 | 0,515 | -0,721 | -0,272 | 0,254 | -0,200 | 0,177 |
| P3 | 0,804 | -0,497 | 0,035 | 0,173 | -0,030 | -0,249 |
| P4 | 0,902 | -0,314 | 0,147 | 0,004 | 0,096 | -0,194 |
| P5 | 0,973 | -0,152 | 0,132 | -0,092 | 0,004 | -0,019 |
| P6 | 0,979 | -0,059 | 0,133 | -0,126 | -0,004 | 0,043 |
| P7 | 0,981 | -0,012 | 0,120 | -0,118 | -0,006 | 0,078 |
| P8 | 0,981 | 0,050 | 0,100 | -0,094 | -0,008 | 0,109 |
| P9 | 0,979 | 0,061 | 0,101 | -0,091 | -0,010 | 0,112 |
| Variância explicada: | 8,255 | 2,045 | 0,777 | 0,308 | 0,260 | 0,199 |
| Proporção do Total: | 0,688 | 0,170 | 0,065 | 0,026 | 0,022 | 0,017 |

Quadro 7.15

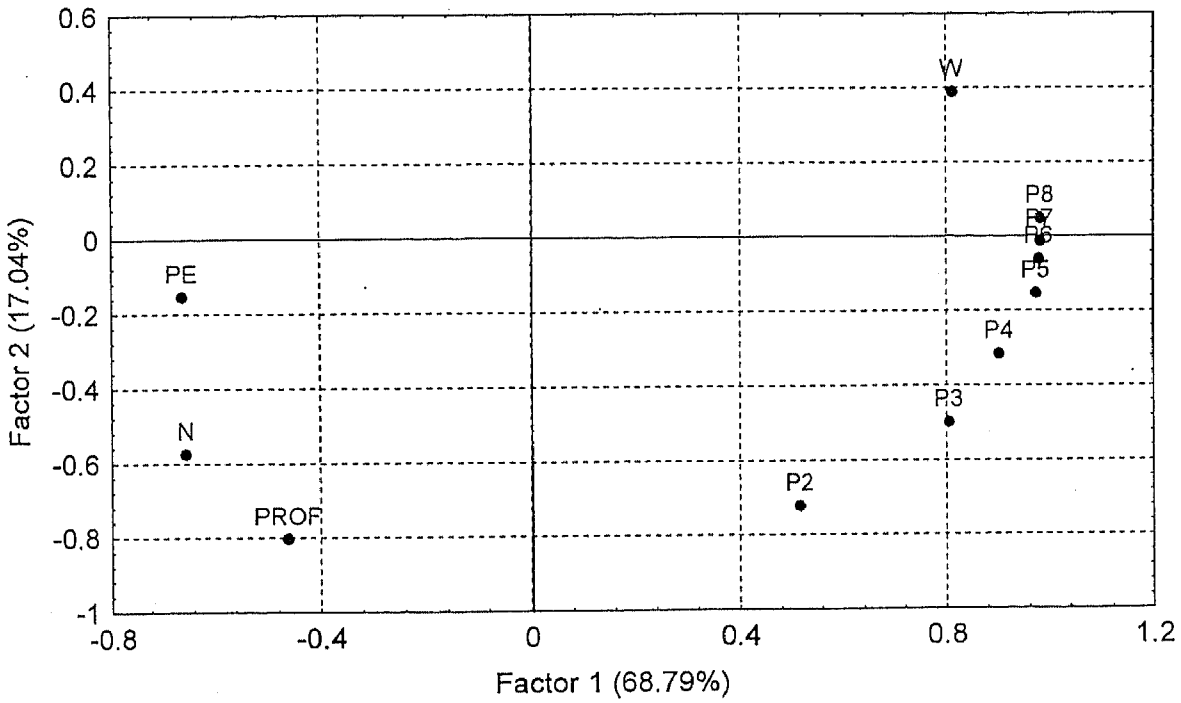



Figura 7.4 - Projecção das propriedades no plano factorial ortogonal 1,2 (ACP).

2. o plano factorial 1,2, constituído pelos eixos cujos valores próprios são iguais ou superiores a 1, explica 85.83% da variância contida nos dados. Apenas os factores 1 e 2 apresentam cargas iguais ou superiores a 0.70 aos quais se associam as propriedades acima referidas;

3. as propriedades: N e PE revelaram-se sem significado nos eixos factoriais retidos.

### 7.1.4.2 Eixos Factoriais Rodados

Para detectar outro tipo de informação, particularmente a expressada nas propriedades: N e PE, que não ficou explicitada pela ortogonalidade dos factores, recorreu-se à estratégia *varimax raw*.

As cargas relativas a cada eixo factorial retido constam do quadro 7.16.

Da aplicação desta estratégia resultaram as seguintes estruturas:

1. o plano factorial rodado 1,2 explica 62.34% da variação contida nos dados, figura 7.5;

2. a análise estrutural da variação contida na matriz dos dados de partida efectuada com o recurso à estratégia *varimax raw* revela que 95.32% desta variação é explicável em termos da actuação conjugada dos parâmetros geotécnicos distribuídos em cinco grupos, correspondendo a um modelo pentadimensional. Ao primeiro eixo factorial associam-se os parâmetros P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9; aos factores 2, 3, 4 e 5 associam-se respectivamente, PROF, PE, P2 e N;

3. a propriedade W revelou-se sem significado nos eixos factoriais retidos.

| CARGAS NOS FACTORES RODADOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 |
| PROF | -0,204 | 0,902 | -0,185 | 0,214 | -0,253 | 0,009 |
| N | -0,392 | 0,401 | -0,167 | 0,099 | -0,803 | -0,025 |
| W | 0,466 | -0,474 | 0,545 | 0,105 | 0,265 | -0,005 |
| PE | -0,304 | 0,162 | -0,921 | -0,148 | -0,101 | -0,037 |
| P2 | 0,371 | 0,199 | 0,155 | 0,889 | -0,082 | 0,016 |
| P3 | 0,710 | 0,041 | 0,132 | 0,530 | 0,056 | 0,439 |
| P4 | 0,868 | 0,018 | 0,155 | 0,283 | 0,127 | 0,297 |
| P5 | 0,924 | -0,129 | 0,202 | 0,234 | 0,135 | 0,087 |
| P6 | 0,924 | -0,184 | 0,222 | 0,180 | 0,160 | 0,013 |
| P7 | 0,911 | -0,211 | 0,238 | 0,167 | 0,189 | -0,014 |
| P8 | 0,883 | -0,250 | 0,258 | 0,155 | 0,230 | -0,036 |
| P9 | 0,879 | -0,256 | 0,258 | 0,151 | 0,235 | -0,039 |
| Variância explicada: | 5,9903 | 1,4901 | 1,5527 | 1,4016 | 1,0032 | 0,2936 |
| Proporção do Total: | 0,4992 | 0,1242 | 0,1294 | 0,1168 | 0,0836 | 0,0245 |

Quadro 7.16

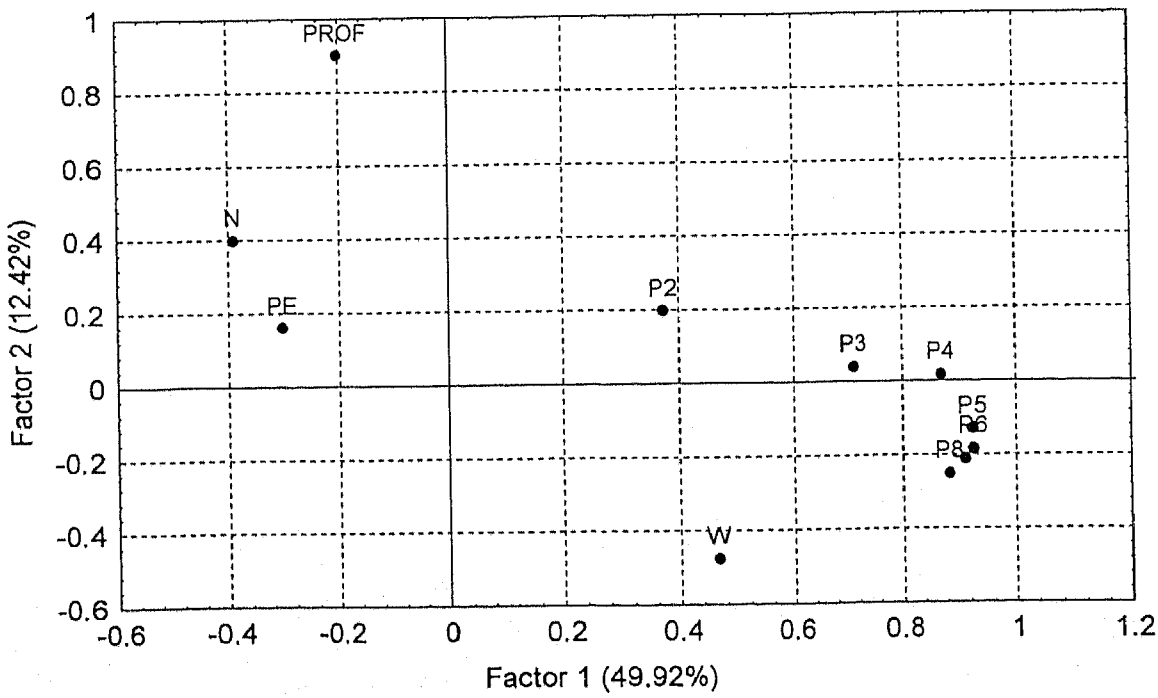



Figura 7.5 - Projecção das propriedades no plano factorial rodado 1,2 (ACP).

#### 7.1.4.3 Interpretação Genérica do Modelo

A componente franqueada pela granulometria que representa o seixo médio e grosso (P2), evolui nesta análise estatística, quer nos factores ortogonais quer nos factores rodados, de modo aparentemente autónomo relativamente às granulometrias arenosas e siltosas (P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9).

Contudo, as populações numéricas que correspondem a cada uma das granulometrias não são, pois, totalmente independentes. Como P2 não é independente da percentagem do material de granulometria mais fina (cumulante inferior) optou-se por uma análise com os factores rodados. Por outro lado, os parâmetros N e PE, sem significado nos factores ortogonais constituem, agora, entidades individualizadas nos eixos. Parecendo intuitivo o facto do peso específico incluir o teor em água (equiparado à porosidade porque as amostras são saturadas) julga-se ser mais natural que, nos factores oblíquos, este não tenha tanto significado como o peso específico.

Face ao exposto, a informação emergente dos factores rodados parece fazer mais sentido quando comparada com a dos factores ortogonais, permitindo constatar a interdependência quase generalizada no conjunto das propriedades em análise.

#### 7.1.4.4 Retroacção

A interpretação conseguida no ponto 7.1.4.3 onde se referiu que P2 não é independente da percentagem do material de granulometria mais fina passado neste peneiro ou seja, da cumulante inferior, levou à reformulação dos dados da coluna P2 do quadro 7.11; no novo quadro dos dados (quadro 7.17), P2 passou a caracterizar a percentagem de material retido no peneiro com malha quadrada de 9.510 mm de lado. Visto ter-se afigurado uma melhor explicação dos dados pela estratégia *varimax raw* prosseguiu-se à ACP com a mesma estratégia.

#### Eixos Factoriais Rodados

A reformulação dos dados destinou-se a averiguar a dependência permitindo constatar a interdependência quase generalizada no conjunto das propriedades em análise.

No quadro 7.18 estão representadas as cargas em cada um dos eixos factoriais retidos e na figura 7.6 o plano factorial rodado 1,2; seguidamente registam-se as principais estruturas que ressaltam dos dados recodificados:

1. o eixo factorial 1 engloba metade da variação, 49.90%, sendo explicado pelas propriedades: P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9 (granulometrias: arenosas e siltosas);
2. o factor 2 com 12.40% de variância é essencialmente explicado pela profundidade.
3. o factor 3 fundamentalmente explicado pelo PE encontra-se associado ao W (W com carga sem significado); como já foi dito, possivelmente, o significado do teor em água estará incluído no peso específico.

| Amostras | PROF | N | W | PE | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 401 | 3 | 7 | 14,7 | 2,19 | 9,1 | 82,5 | 52,6 | 28,8 | 19,3 | 14,9 | 11,1 | 10,4 |
| 402 | 6 | 7 | 11,6 | 2,24 | 1,9 | 90,1 | 57,2 | 33 | 21,1 | 16,9 | 13,6 | 13 |
| 403 | 12 | 32 | 23,3 | 1,65 | 0 | 95,1 | 72,2 | 55,3 | 42,1 | 35 | 25 | 22 |
| 404 | 3 | 1 | 94,4 | 1,5 | 0 | 100 | 100 | 99,5 | 98,5 | 97,5 | 96 | 95,2 |
| 405 | 3 | 1 | 85,8 | 1,53 | 0 | 100 | 100 | 99,4 | 99,1 | 98,5 | 97,5 | 97 |
| 406 | 6 | 1 | 85,1 | 1,51 | 0 | 100 | 100 | 99,5 | 98,7 | 98,3 | 97,2 | 94,9 |
| 407 | 12 | 20 | 11,8 | 2,22 | 0 | 96 | 74,2 | 53,2 | 35,5 | 29,9 | 25,7 | 24,8 |
| 408 | 18 | 20 | 26,2 | 1,95 | 0,7 | 86,4 | 57 | 44,5 | 38,9 | 36,4 | 32,7 | 31,6 |
| 409 | 6 | 2 | 88,5 | 1,38 | 0 | 100 | 100 | 99,8 | 99,3 | 98,7 | 98,5 | 98,3 |
| 410 | 12 | 7 | 30 | 1,8 | 0 | 100 | 98,8 | 96,8 | 93,6 | 91,7 | 90,2 | 89,9 |
| 411 | 15 | 11 | 31,7 | 1,84 | 0 | 99,8 | 97,5 | 93,1 | 89,7 | 87,6 | 85,1 | 84,5 |
| 412 | 6 | 2 | 86,7 | 1,38 | 0 | 100 | 100 | 99,4 | 99,2 | 98,1 | 97,7 | 97,5 |
| 413 | 12 | 9 | 18,2 | 2,07 | 0 | 99,3 | 87,4 | 69,7 | 59,5 | 54,3 | 49,8 | 48,7 |
| 414 | 21 | 27 | 18,4 | 1,63 | 0 | 95,5 | 66,4 | 40,5 | 27,1 | 22,1 | 17,6 | 16,7 |
| 415 | 6 | 1 | 80,5 | 1,54 | 0 | 100 | 100 | 98,8 | 98,4 | 98,1 | 97,6 | 97,3 |
| 416 | 12 | 1 | 35,7 | 1,86 | 0 | 100 | 100 | 89,6 | 85,1 | 78,7 | 71,1 | 70 |
| 417 | 18 | 17 | 18,7 | 2,12 | 0 | 98,8 | 92 | 82,2 | 73,5 | 67,1 | 54,6 | 51 |
| 418 | 6 | 2 | 88 | 1,66 | 0 | 100 | 100 | 99,9 | 99,6 | 99,5 | 99,3 | 99,1 |
| 419 | 12 | 19 | 31,4 | 1,93 | 0 | 100 | 97,3 | 95,5 | 94,7 | 94 | 89,6 | 89,4 |
| 420 | 21 | 15 | 31,7 | 1,83 | 0 | 100 | 97,1 | 66,6 | 47 | 40 | 32,7 | 31,4 |
| 421 | 6 | 2 | 87,1 | 1,48 | 0 | 100 | 100 | 99,7 | 99,6 | 98,6 | 98,1 | 97,2 |
| 422 | 12 | 5 | 28,9 | 1,64 | 0 | 100 | 99,3 | 91,8 | 90,1 | 88,1 | 81,6 | 80,4 |
| 423 | 15 | 30 | 18,8 | 2,08 | 0 | 100 | 100 | 85,8 | 77,6 | 66,9 | 54,4 | 52,7 |
| 424 | 6 | 2 | 95,3 | 1,6 | 0 | 100 | 100 | 99,8 | 99,6 | 99,4 | 98,7 | 98,4 |
| 425 | 12 | 8 | 30,1 | 2,02 | 0 | 100 | 100 | 98,7 | 96,8 | 95,4 | 93,1 | 92,4 |
| 426 | 18 | 8 | 25,4 | 2 | 0 | 99,7 | 93,6 | 80,8 | 73,2 | 68,8 | 63,3 | 60,9 |
| 427 | 6 | 2 | 88,7 | 1,99 | 0 | 100 | 100 | 99,9 | 99,8 | 99,7 | 99,5 | 99,4 |
| 428 | 12 | 14 | 32,9 | 2 | 0 | 100 | 92,5 | 86,1 | 83,2 | 81,8 | 79,4 | 78,3 |
| 429 | 18 | 20 | 30,3 | 1,92 | 0 | 94,4 | 90,1 | 74,7 | 60,8 | 52,9 | 46,5 | 45,3 |

Quadro 7.17 - Dados recodificados.

| CARGAS NOS FACTORES RODADOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 |
| PROF | -0,204 | -0,902 | -0,185 | 0,214 | -0,253 | -0,009 |
| N | -0,392 | -0,401 | -0,167 | 0,099 | -0,803 | 0,025 |
| W | 0,466 | 0,474 | 0,545 | 0,105 | 0,265 | 0,005 |
| PE | -0,304 | -0,162 | -0,921 | -0,148 | -0,101 | 0,037 |
| P2 | -0,371 | 0,199 | -0,155 | -0,889 | 0,082 | 0,016 |
| P3 | 0,710 | -0,041 | 0,132 | 0,530 | 0,056 | -0,439 |
| P4 | 0,868 | -0,018 | 0,155 | 0,283 | 0,127 | -0,297 |
| P5 | 0,924 | 0,129 | 0,202 | 0,234 | 0,135 | -0,087 |
| P6 | 0,924 | 0,184 | 0,222 | 0,180 | 0,160 | -0,013 |
| P7 | 0,911 | 0,211 | 0,238 | 0,167 | 0,189 | 0,014 |
| P8 | 0,883 | 0,250 | 0,258 | 0,155 | 0,230 | 0,036 |
| P9 | 0,879 | 0,256 | 0,258 | 0,151 | 0,235 | 0,039 |
| Variância explicada: | 5,990 | 1,490 | 1,553 | 1,402 | 1,003 | 0,294 |
| Proporção do Total: | 0,499 | 0,124 | 0,129 | 0,117 | 0,084 | 0,024 |

Quadro 7.18

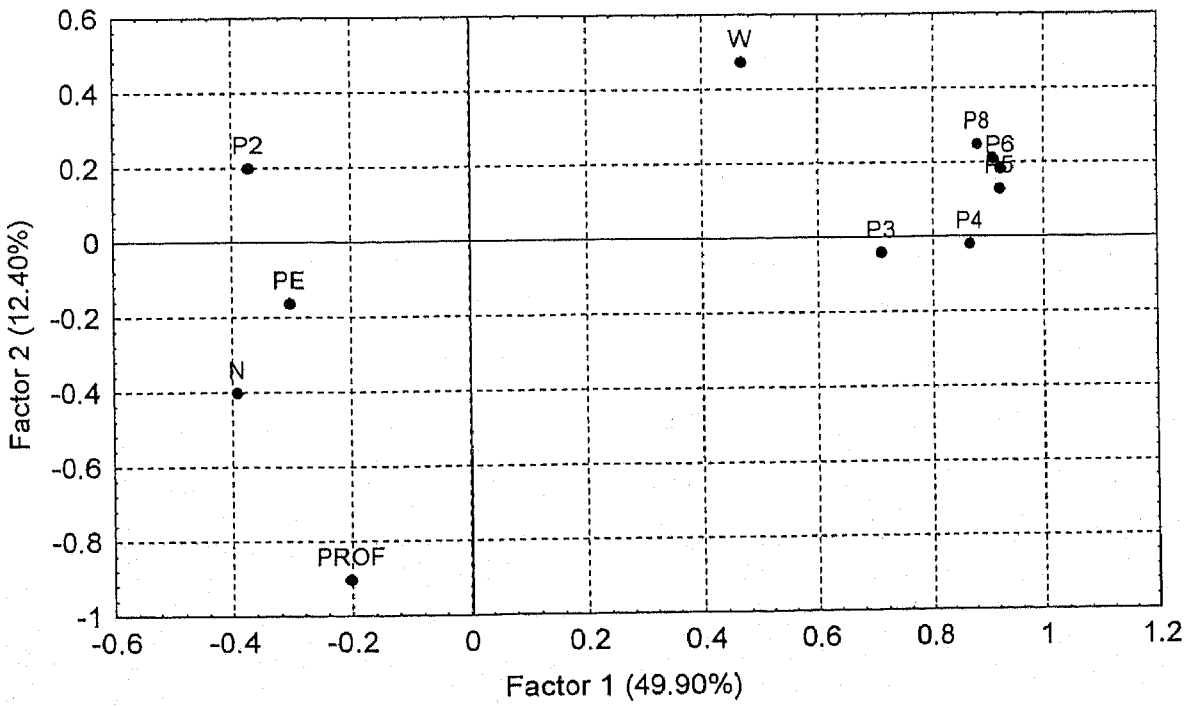



Figura 7.6 - Projecção das propriedades no plano factorial rodado 1,2 (ACP).

4. o factor 4 corresponde essencialmente a P2; este factor individualizou o seixo médio e grosso do conjunto granulométrico associado ao factor 1; estes dois factores constituem em ACP duas componentes granulométricas diferentes;

5. ao factor 5 está associado N;

6. os factores aos quais se encontram associadas as diferentes propriedades estudadas neste ensaio explicam, em termos de um modelo pentadimensional, 95.30% da variância contida nos dados do quadro 7.17.

#### 7.1.4.5 Interpretação Global

Com o procedimento da retroacção, e depois de analisadas as relações no interior dos dados, é notável a variação que se observa: P2 ainda se diferenciou mais das restantes granulometrias; por conseguinte de tudo o que ficou referido conclui-se que as duas componentes granulométricas apontam para relações variacionais precisas na população em estudo.

Note-se também a informação redundante manifestada pelo factor 1. Do ponto de vista estatístico torna-se claro que, tendo-se em conta as dimensões das fracções granulométricas mais directamente relacionadas com as exigências geotécnicas, o número de peneiros utilizados poderia ser reduzido.

Quanto às restantes propriedades elas tendem a constituir fenómenos significativamente coerentes e a individualizar o seu comportamento variacional, entre si e relativamente às granulometrias.

### 7.1.5 Ensaio 4

Do quadro 7.19 constam os dados resultantes do cruzamento do maior número possível de parâmetros geotécnicos registados nos relatórios do Projecto de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande. Os dados de partida para o ensaio 4 constituem uma matriz de dimensões 8 x 21 que contém em linha as determinações de cada propriedade e em coluna os seguintes identificadores:

PROF - profundidade (m);

N - nº de pancadas obtido no ensaio SPT;

W - teor em água (%);

PE - peso específico do terreno, $\gamma$, (g/cm$^3$);

WL - limite de liquidez, $W_L$ (%);

WP - limite de plasticidade,$W_P$ (%);

IP - índice de plasticidade, $I_P$;

EI - índice de vazios inicial, $e_i$;

EF - índice de vazios final, $e_f$;

TP - tensão de pré-consolidação, $\sigma_P$, (Kg/cm$^2$);

CC - índice de compressibilidade, $C_c$;

COESÃO - coesão, c', (KPa);

ATRITO - ângulo de atrito, $\Phi'$, (graus);

P2 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 9.510 mm de lado;

P3 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 4.760 mm de lado;

P4 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 2.000 mm de lado;

P5 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.850 mm de lado;

P6 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.425 mm de lado;

P7 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.250 mm de lado;

P8 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.106 mm de lado;

P9 - % de material passado no peneiro com malha quadrada de 0.075 mm de lado.

Como se pode verificar o ensaio 4 consistiu na caracterização das relações existentes entre a profundidade e os parâmetros determinados pelos ensaios laboratoriais e pelo ensaio *in situ* SPT. Nos quadros 7.20 e 7.21 estão representados respectivamente os valores estatísticos básicos e a matriz das correlações entre as propriedades.

Ressalta-se o facto deste ensaio possuir, entre outras, as propriedades estudadas no ensaio 3. Por conseguinte, tendo-se demonstrado no referido ensaio que a estratégia *varimax raw* explicou melhor o quadro dos dados de partida, optou-se, também aqui, pela mesma estratégia de análise multidimensional.

| Amostra | PROF | N | W | PE | WL | WP | IP | EI | EF | TP | CC | COESÃO | ATRITO | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 402 | 6 | 7 | 11,6 | 2,24 | 48 | 24 | 24 | 0,424 | 0,352 | 1,40 | 0,073 | 10,82 | 36,37 | 98,1 | 90,1 | 57,2 | 33,0 | 21,1 | 16,9 | 13,6 | 13,0 |
| 407 | 12 | 20 | 11,8 | 2,22 | 30 | 16 | 14 | 0,321 | 0,254 | 1,70 | 0,058 | 0,00 | 34,33 | 100,0 | 96,0 | 74,2 | 53,2 | 35,5 | 29,9 | 25,7 | 24,8 |
| 410 | 12 | 7 | 30,0 | 1,80 | 52 | 24 | 28 | 0,801 | 0,674 | 2,20 | 0,220 | 5,92 | 25,84 | 100,0 | 100,0 | 98,8 | 96,8 | 93,6 | 91,7 | 90,2 | 89,9 |
| 414 | 21 | 27 | 18,4 | 1,63 | 57 | 33 | 24 | 0,3810 | 0,2890 | 1,40 | 0,068 | 31,25 | 24,90 | 100,0 | 95,5 | 66,4 | 40,5 | 27,1 | 22,1 | 17,6 | 16,7 |
| 420 | 21 | 15 | 31,7 | 1,83 | 55 | 37 | 18 | 0,9600 | 0,8850 | 2,30 | 0,114 | 31,99 | 31,07 | 100,0 | 100,0 | 97,1 | 66,6 | 47,0 | 40,0 | 32,7 | 31,4 |
| 422 | 12 | 5 | 28,9 | 1,64 | 39 | 19 | 20 | 0,4650 | 0,3410 | 1,70 | 0,165 | 27,11 | 29,38 | 100,0 | 100,0 | 99,3 | 91,8 | 90,1 | 88,1 | 81,6 | 80,4 |
| 423 | 15 | 30 | 18,8 | 2,08 | 37 | 19 | 18 | 0,6180 | 0,5710 | 1,50 | 0,157 | 38,25 | 14,14 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 85,8 | 77,6 | 66,9 | 54,4 | 52,7 |
| 429 | 18 | 20 | 30,3 | 1,92 | 53 | 28 | 25 | 0,9220 | 0,7140 | 2,00 | 0,337 | 29,28 | 17,58 | 100,0 | 94,4 | 90,1 | 74,7 | 60,8 | 52,9 | 46,5 | 45,3 |

Quadro 7.19 - Dados de partida para o ensaio 4.

| Propriedades | média | nº casos | mínimo | máximo | 1º quartil | 3º quartil | desvio padrão | variância | amplitude | distância inter-quartil | assimetria | curtose |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROF | 14,625 | 8 | 6 | 21 | 12 | 19,5 | 5,181 | 26,84 | 15 | 7,5 | -0,1907 | -0,5642 |
| N | 16,375 | 8 | 5 | 30 | 7 | 23,5 | 9,501 | 90,27 | 25 | 16,5 | 0,1558 | -1,5445 |
| W | 22,6875 | 8 | 11,6 | 31,7 | 15,1 | 30,15 | 8,504 | 72,32 | 20,1 | 15,05 | -0,3058 | -2,0130 |
| PE | 1,92 | 8 | 1,63 | 2,24 | 1,72 | 2,15 | 0,240 | 0,06 | 0,61 | 0,43 | 0,2077 | -1,5140 |
| WL | 46,375 | 8 | 30 | 57 | 38 | 54 | 9,826 | 96,55 | 27 | 16 | -0,6629 | -1,0827 |
| WP | 25 | 8 | 16 | 37 | 19 | 30,5 | 7,290 | 53,14 | 21 | 11,5 | 0,5428 | -0,7641 |
| IP | 21,375 | 8 | 14 | 28 | 18 | 24,5 | 4,627 | 21,41 | 14 | 6,5 | -0,2039 | -0,8497 |
| EI | 0,61155 | 8 | 0,321 | 0,96 | 0,402 | 0,862 | 0,253 | 0,06 | 0,64 | 0,46 | 0,3831 | -1,8066 |
| EF | 0,510075 | 8 | 0,254 | 0,885 | 0,315 | 0,694 | 0,233 | 0,05 | 0,63 | 0,38 | 0,4428 | -1,3827 |
| TP | 1,775 | 8 | 1,4 | 2,3 | 1,45 | 2,1 | 0,354 | 0,13 | 0,9 | 0,65 | 0,4558 | -1,4661 |
| CC | 0,148925 | 8 | 0,058 | 0,337 | 0,070 | 0,193 | 0,095 | 0,01 | 0,28 | 0,122 | 1,1790 | 1,1961 |
| COESÃO | 21,8275 | 8 | 0 | 38,25 | 8,37 | 31,62 | 14,121 | 199,41 | 38,25 | 23,25 | -0,6008 | -1,4436 |
| ATRITO | 26,70125 | 8 | 14,14 | 36,37 | 21,24 | 32,7 | 7,773 | 60,42 | 22,23 | 11,46 | -0,5260 | -0,7322 |
| P2 | 99,7625 | 8 | 98,1 | 100 | 100 | 100 | 0,672 | 0,45 | 1,90 | 0 | -2,8284 | 8 |
| P3 | 97 | 8 | 90,1 | 100 | 94,95 | 100 | 3,657 | 13,37 | 9,90 | 5,050 | -0,9442 | 0,1650 |
| P4 | 85,3875 | 8 | 57,2 | 100 | 70,3 | 99,05 | 17,015 | 289,51 | 42,8 | 28,75 | -0,8006 | -1,1708 |
| P5 | 67,8 | 8 | 33 | 96,8 | 46,85 | 88,8 | 23,783 | 565,65 | 63,8 | 41,95 | -0,3006 | -1,4562 |
| P6 | 56,6 | 8 | 21,1 | 93,6 | 31,3 | 83,85 | 28,329 | 802,54 | 72,5 | 52,55 | 0,1415 | -1,7695 |
| P7 | 51,0625 | 8 | 16,9 | 91,7 | 26 | 77,5 | 28,917 | 836,22 | 74,8 | 51,5 | 0,3694 | -1,4908 |
| P8 | 45,2875 | 8 | 13,6 | 90,2 | 21,65 | 68 | 28,618 | 819,01 | 76,6 | 46,35 | 0,6232 | -1,0242 |
| P9 | 44,275 | 8 | 13 | 89,9 | 20,75 | 66,55 | 28,641 | 820,32 | 76,9 | 45,8 | 0,6619 | -0,9526 |

Quadro 7.20 - Valores estatísticos básicos.

| | N | W | PE | WL | WP | IP | EI | EF | TP | CC | COESÃO | ATRITO | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROF | 0,587 | 0,464 | -0,559 | 0,491 | 0,704 | -0,065 | 0,444 | 0,442 | 0,322 | 0,165 | 0,657 | -0,452 | 0,673 | 0,364 | 0,285 | 0,055 | -0,049 | -0,092 | -0,133 | -0,140 |
| N | | -0,279 | 0,102 | -0,071 | 0,107 | -0,319 | -0,067 | -0,023 | -0,320 | -0,077 | 0,479 | -0,609 | 0,399 | 0,042 | -0,055 | -0,183 | -0,250 | -0,327 | -0,397 | -0,406 |
| W | | | -0,674 | 0,470 | 0,425 | 0,327 | 0,809 | 0,744 | 0,795 | 0,691 | 0,381 | -0,332 | 0,527 | 0,597 | 0,775 | 0,703 | 0,648 | 0,647 | 0,644 | 0,642 |
| PE | | | | -0,507 | -0,456 | -0,358 | -0,217 | -0,152 | -0,261 | -0,232 | -0,449 | 0,219 | -0,539 | -0,499 | -0,388 | -0,371 | -0,394 | -0,424 | -0,436 | -0,435 |
| WL | | | | | 0,895 | 0,713 | 0,526 | 0,484 | 0,336 | 0,255 | 0,303 | -0,108 | -0,067 | -0,141 | -0,082 | -0,156 | -0,162 | -0,147 | -0,115 | -0,111 |
| WP | | | | | | 0,326 | 0,521 | 0,528 | 0,371 | 0,037 | 0,434 | -0,019 | 0,055 | -0,037 | -0,061 | -0,269 | -0,330 | -0,334 | -0,328 | -0,327 |
| IP | | | | | | | 0,297 | 0,196 | 0,129 | 0,484 | -0,041 | -0,200 | -0,229 | -0,241 | -0,079 | 0,094 | 0,175 | 0,213 | 0,272 | 0,281 |
| EI | | | | | | | | 0,981 | 0,833 | 0,698 | 0,336 | -0,404 | 0,300 | 0,358 | 0,633 | 0,496 | 0,395 | 0,358 | 0,341 | 0,338 |
| EF | | | | | | | | | 0,814 | 0,570 | 0,350 | -0,367 | 0,274 | 0,409 | 0,634 | 0,464 | 0,356 | 0,314 | 0,288 | 0,284 |
| TP | | | | | | | | | | 0,498 | -0,070 | -0,020 | 0,429 | 0,491 | 0,626 | 0,525 | 0,418 | 0,419 | 0,441 | 0,442 |
| CC | | | | | | | | | | | 0,236 | -0,636 | 0,325 | 0,177 | 0,575 | 0,643 | 0,612 | 0,586 | 0,578 | 0,576 |
| COESÃO | | | | | | | | | | | | -0,640 | 0,315 | 0,310 | 0,374 | 0,189 | 0,157 | 0,096 | 0,008 | -0,004 |
| ATRITO | | | | | | | | | | | | | -0,503 | -0,337 | -0,511 | -0,505 | -0,478 | -0,406 | -0,339 | -0,331 |
| P2 | | | | | | | | | | | | | | 0,762 | 0,669 | 0,591 | 0,506 | 0,477 | 0,447 | 0,441 |
| P3 | | | | | | | | | | | | | | | 0,879 | 0,800 | 0,752 | 0,733 | 0,696 | 0,690 |
| P4 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,941 | 0,881 | 0,848 | 0,803 | 0,796 |
| P5 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,985 | 0,969 | 0,946 | 0,942 |
| P6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,995 | 0,978 | 0,975 |
| P7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,993 | 0,992 |
| P8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 |
| P9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Quadro 7.21 - Matriz das correlações entre as propriedades.

#### 7.1.5.1 Eixos Factoriais Rodados

No quadro 7.22 pode ver-se a carga dos parâmetros em cada eixo factorial retido. Na figura 7.7 encontra-se a projecção dos parâmetros no plano factorial rodado que mais variância explica, 53.66%.

As estruturas fortes que emergem dos dados podem resumir-se em:

1. o factor 1 é, tal como no ensaio 3, essencialmente explicado pelas granulometrias: arenosas e siltosas, explicando 34.60% da variância;

2. encontram-se associadas ao factor 2 as propriedades: EI, EF e TP; este eixo com uma variação de 19.06% explica a consolidação do solo;

3. ao factor 3 encontram-se associados, o atrito e o número de pancadas do ensaio SPT; o factor absorve 10.55% da variância e opõe a resistência à penetração, N, ao atrito;

4. o factor 4 com 10.59% de variância é essencialmente explicado pelo WL e pelo IP e representa a plasticidade do solo;

5. o factor 5 com uma variância de 11.69% é fundamentalmente explicado pela evidente polaridade entre a PROF (com alguma contribuição do P2 que apresenta uma carga ligeiramente inferior a 0.70) e o PE;

6. o factor 6 com uma variância de 6.09% explica a coesão do solo;

7. ao factor 7 está associado o CC com uma carga extremamente próxima de 0.70; este factor explica 4.10% da variação e explica a compressibilidade do solo.

8. os factores aos quais se encontram associadas as diferentes propriedades estudadas neste ensaio explicam, em termos de um modelo heptadimensional, 96.68% da variância contida nos dados.

| CARGAS NOS FACTORES RODADOS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Propriedades | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 | Factor 7 | Factor 8 |
| PROF | -0,14755 | 0,384742 | 0,475757 | -0,00845 | 0,715982 | 0,232719 | -0,028 | 0,051 |
| N | -0,27653 | -0,07888 | 0,90445 | -0,19003 | 0,12847 | 0,124328 | -0,065 | 0,046 |
| W | 0,521427 | 0,609987 | -0,12078 | 0,176149 | 0,437138 | 0,184617 | 0,208 | -0,063 |
| P_E_NAT | -0,35846 | 0,003234 | 0,077238 | -0,33837 | -0,81532 | -0,24111 | 0,034 | 0,105 |
| WL | -0,24048 | 0,438111 | -0,03021 | 0,75574 | 0,338067 | 0,173558 | -0,043 | 0,065 |
| WP | -0,41324 | 0,544224 | -0,00371 | 0,409735 | 0,470524 | 0,274968 | -0,162 | 0,093 |
| IP | 0,139294 | 0,073473 | -0,05802 | 0,956465 | -0,02041 | -0,06695 | 0,170 | -0,041 |
| EI | 0,240226 | 0,9055 | 0,105582 | 0,179758 | 0,049707 | 0,131966 | 0,160 | 0,020 |
| EF | 0,216053 | 0,931652 | 0,127427 | 0,11087 | -0,00194 | 0,155738 | -0,002 | -0,008 |
| TP | 0,312439 | 0,841791 | -0,16867 | -0,02031 | 0,24843 | -0,26849 | 0,063 | -0,003 |
| CC | 0,466259 | 0,406378 | 0,195752 | 0,277114 | -0,01836 | 0,051093 | 0,696 | 0,005 |
| COESÃO | 0,064953 | 0,146185 | 0,383724 | 0,014967 | 0,280231 | 0,855874 | 0,028 | 0,000 |
| ATRITO | -0,38026 | -0,11533 | -0,80005 | -0,16538 | -0,01249 | -0,29499 | -0,243 | 0,080 |
| P2 | 0,454092 | 0,162754 | 0,4431 | -0,28493 | 0,651411 | -0,12789 | 0,072 | 0,163 |
| P3 | 0,738325 | 0,25084 | 0,146785 | -0,28591 | 0,362138 | 0,07888 | -0,345 | 0,044 |
| P4 | 0,800964 | 0,443032 | 0,130942 | -0,21488 | 0,152636 | 0,183009 | 0,035 | 0,060 |
| P5 | 0,929197 | 0,251198 | 0,091744 | -0,07304 | 0,057593 | 0,035857 | 0,119 | 0,006 |
| P6 | 0,963877 | 0,124631 | 0,041667 | 0,016259 | 0,019849 | 0,054238 | 0,099 | -0,007 |
| P7 | 0,968243 | 0,094422 | -0,03271 | 0,052979 | 0,042154 | 0,017418 | 0,080 | -0,004 |
| P8 | 0,95816 | 0,081006 | -0,08996 | 0,105951 | 0,058097 | -0,06635 | 0,092 | -0,024 |
| P9 | 0,954095 | 0,082323 | -0,10082 | 0,107655 | 0,063627 | -0,07339 | 0,102 | -0,050 |
| Variância explicada: | 7,266033 | 4,002769 | 2,215209 | 2,225266 | 2,455979 | 1,27834 | 0,854 | 0,076 |
| Proporção do Total: | 0,346002 | 0,190608 | 0,105486 | 0,105965 | 0,116951 | 0,060873 | 0,041 | 0,004 |

Quadro 7.22

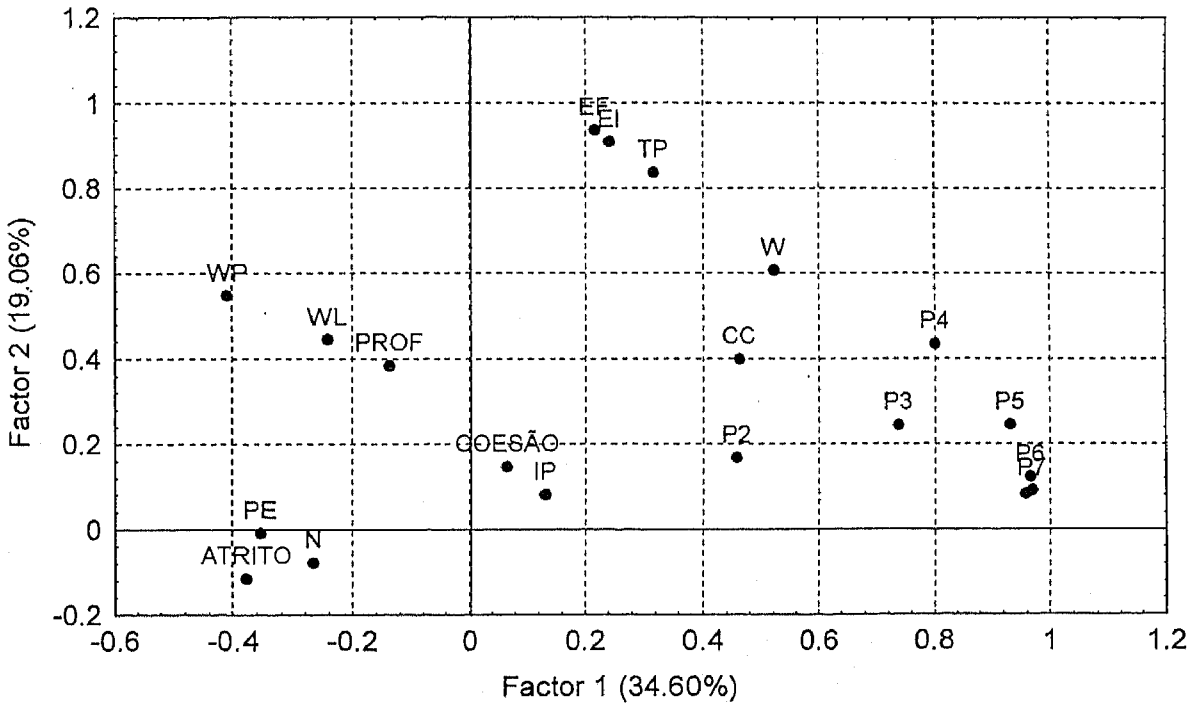



Figura 7.7 - Projecção das propriedades no plano factorial rodado 1,2 (ACP).

### 7.1.5.2 Interpretação Genérica do Modelo

P2 não explica satisfatoriamente nenhum dos factores. A fracção granulométrica que P2 caracteriza não possui, possivelmente, representatividade pelo facto das oito linhas da matriz dos dados corresponderem a ensaios executados sobre solos mais plásticos.

A informação que o factor 1 encerra é, de acordo com o que ficou demonstrado nos ensaios 3 e 4, redundante; contudo neste último ensaio o factor 1 manifesta uma notória subdivisão das granulometrias: uma das sudivisões é formada por P3 e P4 e a outra por P5, P6, P7, P8 e P9. O factor 2 também apresenta alguma explicação redundante que poderia, provavelmente, após estudo geotécnico adequado que caracterizasse convenientemente a variância da informação, ser reduzida a um número inferior de parâmetros.

# CAPÍTULO 8. Conclusões.

# 8. CONCLUSÕES

Atendendo às conclusões parciais e preliminares que ao longo deste trabalho foram sendo tiradas procede-se, agora, à sua apresentação um pouco mais desenvolvida.

Nesta investigação, através do estudo *post-mortem* da campanha geotécnica à qual se teve acesso, pretendeu-se testar a aplicabilidade de algumas técnicas da Análise de Dados, nomeadamente a Análise Grupal e a Análise em Componentes Principais, a dados recolhidos para o Projecto Nam Van (Baía da Praia Grande), no território de Macau.

A autora, na posição de pessoa com formação em Engenharia Geológica, recorreu a técnicas estatísticas para mostrar que o conhecimento geológico-geotécnico de determinada região, também pode ser apreendido a partir de um conjunto de dados não interpretados (amorfos) considerados, sempre, no contexto geológico-geotécnico da zona a que se reportam; tentou, ainda, optimizar a aquisição de dados e o planeamento das campanhas de prospecção geotécnica.

Esta investigação permite concluir que, à medida que a informação vai sendo disponibilizada, é possível, através da aplicação da Análise Grupal, fazer a revisão frequente dos objectivos e dos métodos do trabalho de reconhecimento e prospecção geotécnico.

Não se afigurando, portanto, viável tentar a aplicação estatística directa às propriedades dos solos da região em estudo, uma vez que as classificações geotécnicas e as propriedades físicas e mecânicas carecem de sentido se não forem inseridas num contexto geológico de base, houve a preocupação em combinar os métodos de Análise de Dados, acima referidos, com o enquadramento geológico e com as considerações intrínsecas às normas que especificam os ensaios protagonizadores das variáveis geotécnicas, assuntos particularmente desenvolvidos nos capítulos 2, 3, 4 e 5.

Os resultados das campanhas de reconhecimento geotécnico realizadas na Baía da Praia Grande, assim como todos os registos bibliográficos de anteriores estudos e trabalhos geológico-geotécnicos realizados no Território de Macau[1], revelam a ocorrência de formações de depósitos marinhos, e/ou fluvio-marinhos holocénicos depositados sobre formações aluvionares plistocénicas. Estes depósitos aluvionares recentes (quaternários) apresentam, muitas vezes, leitos contínuos de outros materiais, quer arenosos mas mais finos, quer argilosos, suficientemente espessos em algumas zonas, cuja permeabilidade é inferior à da formação arenosa que possui as intercalações horizontais. Recorda-se que o capítulo 3 deste trabalho contem, entre outras, estas formações identificadas e caracterizadas.

Das lito-estratigrafias identificadas salientam-se as mais preocupantes. São de particular interesse os depósitos recentes, por se tratar de formações não consolidadas que, sob actuação das sobrecargas de serviço, poderão vir a sofrer assentamentos absolutos e diferenciais significativos, incompatíveis com a obra e que se processariam, possivelmente, ao longo de muitos anos. Para evitar situações destas, o solo foi suficientemente bem estudado com o objectivo de, possivelmente, evitar as zonas críticas.

Em face do exposto, era imprescindível a realização de vários ensaios de identificação e de caracterização dos terrenos de fundação. Tais ensaios, realizados na totalidade das formações lito-estratigráficas da Baía da Praia Grande, ao longo dos furos de sondagem, visaram o conhecimento das características do seu comportamento ou seja, permitiram descrever os estratos.

Numa avaliação cuidadosa das características do subsolo, usando tanto observações de campo como ensaios de laboratório foram aspectos importantes levados em conta: a geologia e a história de tensões do local (pré-consolidação), os tipos de solos, a estratificação e existência de camadas drenantes (siltosas e arenosas), e, finalmente, a

[1] Aqueles a que se teve acesso.

avaliação das características de resistência e de compressibilidade (variação destas com o nível de tensão).

A interpretação da informação disponível indicia que o reconhecimento do terreno de fundação da zona da Baía da Praia Grande foi efectuado em três fases, interdependentes:

1- Prospecção geológico-geotécnica e amostragem.

A determinação da sequência, espessura, extensão e a interpretação das sequências dos estratos até uma profundidade adequada, permitiram o esclarecimento das questões relacionadas com a lito-estratigrafia, as características dos estratos existentes e a profundidade de alteração da formação granítica. Assim, a prospecção possibilitou a caracterização de todas as formações recentes, depósitos marinhos e aluviões, penetrando nas formações mais antigas, que são granitos decompostos e alterados. Ao atravessar a zona alterada, foi possível reconhecer adequadamente a sua espessura e consequentemente localizar o *bedrock*. As superfícies representadas nas figuras 2.8 (capítulo 2) e 3.2 (capítulo 3), geradas no *software* denominado *Surfer for Windows*, versão 5.02, podem ser utilizadas na determinação da espessura de sedimento e de rocha alterada contida entre as duas e também, se pretendido, para determinação da quantidade de terrenos de empréstimo que se podem obter mesmo do *offshore*; note-se que as superfícies relativas aos lagos 1 e 2 (ver figura 1.2, capítulo 1), foram interpoladas a partir da informação circundante. O modelo digital do *bedrock* geotécnico apresentado na figura 2.8 (capítulo 2) permitiu associar o andamento do substrato granítico e as maiores espessuras do perfil de alteração da rocha granítica à tectónica da região. O modelo revela aplicabilidade no domínio da Engenharia Civil, na medida em que poderá ser útil no dimensionamento da estacaria de fundação.

A colheita de amostras dos solos e das rochas com dimensões e em condições adequadas[2] permitiu uma identificação perfeita dos materiais encontrados, assim como a realização de ensaios de caracterização do seu comportamento geotécnico. Na especificação LNEC E - 218 são dadas indicações relativas à colheita de amostras e aos amostradores a empregar no caso de solos e no caso de rochas, ao manuseamento e protecção dos diferentes tipos de amostras e aos respectivos registos a fazer.

A realização de ensaios *in situ* permitiu avaliar e criticar as condições de recolha das amostras e prever as condições físicas dos materiais e das suas acções durante e após a construção das obras previstas.

2- Ensaios laboratoriais.

A morosidade e a onerosidade dos ensaios laboratoriais inviabilizam o recurso indiscriminado aos mesmos, exigindo uma criteriosa selecção, quer do parâmetro a obter quer do número de amostras a ensaiar. Assim, os parâmetros geotécnicos dos terrenos, objecto do Projecto de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande, determinados em laboratório obedeceram, necessariamente, a este princípio. Concretizando: das 29 amostras intactas colhidas, apenas sobre oito foram executados ensaios de consolidação e triaxiais.

No caso presente, dadas as condições menos favoráveis do solo, tornar-se-ia, provavelmente, muito oneroso obter amostras representativas suficientes; assim, com o recurso a ensaios *in situ*, ou de campo, foram abrangidas extensões apreciáveis de terreno que envolveram e englobaram o comportamento das ocorrências menos desejáveis. Esta argumentação justifica a abundância dos ensaios de campo relativamente aos ensaios laboratoriais, predominando o ensaio de campo SPT por ser de fácil e prática execução quando comparado com os restantes.

---

[2] Exigidas pelas especificações e normas dos ensaios tecnológicos.

3 - Processamento dos resultados obtidos nas duas fases anteriores e formulação das soluções dos vários problemas impostos pela execução da obra.

A figura 8.1 esquematiza as etapas e os processos de prospecção geotécnica que provavelmente foram aplicados na região em estudo.

Note-se que o programa de reconhecimento e de prospecção geotécnica adoptado para atingir os fins desejados foi, concerteza, cuidadosamente preparado e adaptado às circunstâncias que ao longo dele se revelaram. Este facto pode confirmar-se pela existência de relatórios referentes às duas campanhas de prospecção geotécnica, uma de 1990 e outra de 1992, tendo esta última ocorrido em duas fases.

O viés visível na localização dos pontos amostrados e dos parâmetros geotécnicos obtidos resulta do facto de se ter pretendido o volume de informação nas áreas directamente envolvidas com as edificações. As figuras 4.1, 4.11, 4.16 e 5.1, explicitam as grandes irregularidades da natureza, localização e qualidade dos dados;

A metodologia desenvolvida no capítulo 6, enquadrada no contexto geológico-geotécnico da área em estudo revelou-se, sem dúvida, de grande aplicabilidade no estudo do comportamento mecânico dos terrenos a partir do maior volume de informação disponibilizada; tratando-se, portanto, do parâmetro geotécnico N obtido do ensaio SPT.

A recodificação dos dados brutos revelou-se de extrema importância na constituição da matriz destinada à aplicação da Análide Grupal. A ausência de informação do parâmetro N, visível no quadro 6.1 (a) (capítulo 6), foi eliminada com a recodificação dos dados que teve por objectivo, através da escala ordinal da figura 6.2 (capítulo 6), assegurar a homogeneidade do comportamento mecânico dos terrenos em profundidade. Este procedimento possibilitou, além do tratamento da informação inicial, a incorporação nos

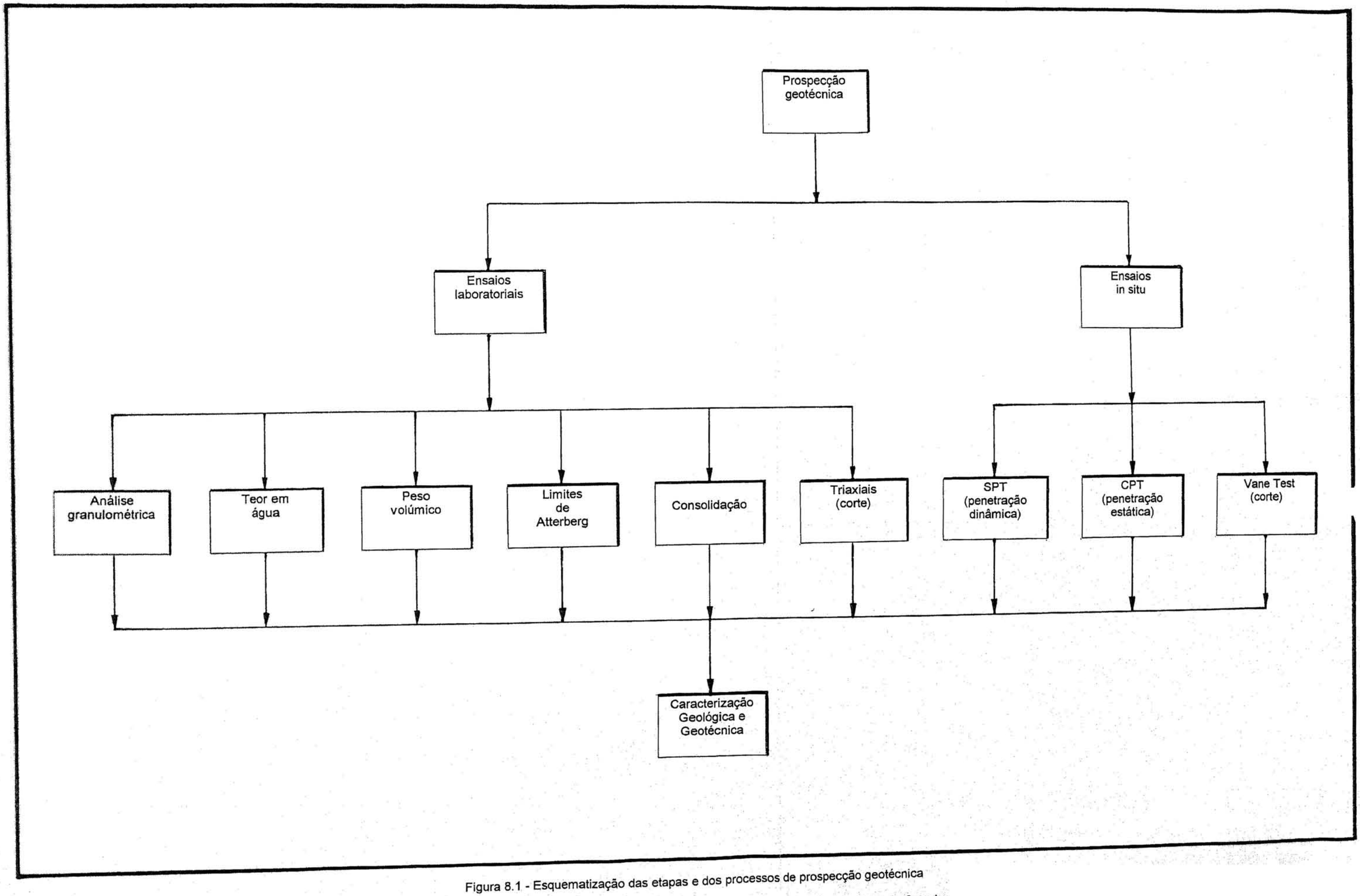



Figura 8.1 - Esquematização das etapas e dos processos de prospecção geotécnica aplicados ao Projecto de Reordenamento da Zona da Baía da Praia Grande.

dados iniciais um conjunto de informação mais abrangente e passível de tratamento estatístico multidimensional.

No ensaio 1 a Análise Grupal, no seu modo-Q, permitiu obter agrupamentos de sondagens que foram explicados no contexto geológico-geotécnico. A interpretação destes grupos permitiu, ainda, estabelecer três zonamentos geográficos mais ou menos distintos.

Julga-se que a aplicabilidade deste tipo de análise permite sugeri-la como técnica estatística de acompanhamento de sondagens geológicas. Quando sondagens de determinado agrupamento se distanciam espacialmente, sem que haja informação na área que as separa, a ausência de informação entre as sondagens agrupadas poderá ser eliminada através da execução de sondagens na respectiva área de forma a diminuir incertezas e, se possível, até a ressaltar outras estruturas geológicas.

Por outro lado, a técnica ao acompanhar a execução dos trabalhos poderá ser aplicada no sentido de minimizar o número de sondagens a realizar. Se durante a fase de execução dos trabalhos de campo, a interpretação revelar uma notória tendência para que determinado grupo de sondagens represente um zonamento, não haverá, possivelmente em certos casos, necessidade de apertar a malha das sondagens a executar, optimizando-se desta forma a campanha de prospecção geotécnica. A Análise Grupal é, então, uma técnica estatística que permite conduzir campanhas com o objectivo de optimizar um projecto de prospecção geotécnica de ambientes sedimentares complexos.

A informação obtida para cada horizonte revelou-se pouco robusta quanto ao comportamento mecânico dos terrenos. A interpretação dos grupos obtidos permite dizer que existem valores do parâmetro N que se encontram na faixa de sobreposição apontados para cada uma das formações lito-estratigráficas. Dado o tipo de recodificação dos dados, não foi possível detectar os depósitos marinhos mais consolidados das aluviões, nem estes dos granitos decompostos, o que pode considerar-se uma limitação deste tipo de análise.

Embora no respectivo capítulo se tenha chamado a atenção do leitor para o facto da escala ordinal aplicada na recodificação dos dados ser apenas uma entre eventuais propostas de homogeneização dos dados brutos, neste momento é possível afirmar que a

divisão dos valores do parâmetro N em classes, cujas primeiras três foram estabelecidas em função da proposta de correlação entre N de SPT para granitos decompostos e muito alterados de Lumb, (1977), não é a mais indicada. Assim, deixa-se como sugestão uma maneira mais razoável de estabelecer as classes ordinais, através do ajuste de uma função estatística teórica sobre o histograma obtido para a população amostral dos valores do ensaio SPT. Ao tentar ajustar uma distribuição multimodal sobre o conjunto das determinações de modo a tentar retirar várias leis concorrentes de distribuição do parâmetro N, conseguir-se-ia fazer a partição entre as diferentes distribuições concorrentes e a partir daí obter classes para os valores de N. A análise a partir da codificação dos dados brutos com estas classes ordinais, talvez permitisse obter, na distribuição geográfica, zonamentos de melhor qualidade.

Uma outra sugestão para a partição dos resultados de N em classes poderia surgir dum estudo a efectuar sobre o quadro 4.1 (capítulo 4), onde se apresentam os valores estatísticos básicos das diferentes distribuições do parâmetro N. Com efeito, dada a faixa de sobreposição já mencionada este procedimento tornar-se-á uma tarefa difícil, sendo necessário uma aferição entre a litologia e os valores de N obtidos.

Finalmente, com a metodologia desenvolvida no capítulo 7, pretendeu-se caracterizar as relações existentes na informação resultante dos cruzamentos possíveis entre os parâmetros geotécnicos. A interpretação de cada conjunto ensaiado baseou-se no modelo explicador (modelo factorial) obtido.

Os ensaios estudados pela Análise em Componentes Principais revelaram a existência de informação redundante que deverá, à partida, ser objecto de estudo mais profundo de forma a permitir esclarecimentos quanto a uma configuração funcional mínima de parâmetros e, que permita, uma descrição sucinta e eficaz dos mesmos no contexto geológico-geotécnico.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ARAÚJO, Maria da Assunção F. P., 1991. Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral da Região do Porto. Tese de Doutoramento. *Faculdade de Letras da Universidade do Porto.* Porto.

BENNETT, J.D., 1984. Review of Hong Kong Stratigraphy. *Geotechnical Control Office, Engineering Development Department, Hong Kong.* GCO Publication Nº 5/84. 86 pp..

CASTRO, Guy de, 1988. Penetrómetros. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Lisboa.

COELHO, A. Gomes, 1980. A Cartografia Geotécnica no Planeamento Regional e Urbano. Experiência de Aplicação na Região de Setúbal. Tese de concurso para especialista do Labotatório Nacional de Engenharia Civil. *Ministério da Habitação e Obras Públicas; Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Proc. 54/15/5301. Lisboa. 156 pp..

COLEMAN, James M., 1987. Deltas. Processes of Deposition and Models for Exploration. *Coastal Studies Institute; Louisiana State University.* International Human Resources Development Corporation; Boston. 123 pp..

CORREIA, António Gomes, 1980. Ensaios para Controlo de Terraplenagens. *Ministério da Habitação e Obras Públicas; Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Lisboa. 224pp..

CORREIA, António Gomes, 1988. Revisão da Classificação de Solos para Propósitos de Engenharia. Geotecnia nº 52 - Mar. 88.

COSTA, J. Carrington and SOUSA, M. J. Lemos, 1964. Geologia de Macau.

DAVIS, John C.,1986.Statistics and Data Analysis in Geology. *Kansas Geological Survey.* Vol.1, pp. 285; Vol.2, pp. 286-646.

Especificação L.N.E.C. E 217 - 1968 - Fundações Directas Correntes - Recomendações.

FERNANDES, Manuel de Matos, 1990. Mecânica dos Solos. *AEFEUP.* Porto.

FERNANDES, Manuel de Matos, 1995. Mecânica dos Solos. FEUP. Porto.

FIÚZA, António M. A., 1995. Lições de Aquisição e Análise de Dados. *Publicação Interna do Departamento de Minas, FEUP.* Porto.

FOLQUE, José, 1979. Fundações - Recomendações Gerais. *Ministério da Habitação e Obras Públicas; Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Proc. 53/41. Lisboa. 117pp..

FOLQUE, José de Brito, 1980. Fundações Superficiais. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Lisboa.

FOLQUE, José, 1986. Melhoria de Solos. *Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações; Laboratório Nacional de Engenharia Civil.* Memória nº 673.Lisboa.

GODINHO, M. M.,1980. O Plutonito do Caramulo. *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, nºs 89-90.* Coimbra.

GONZÁLEZ, C. J. Dabrio. Sedimentacion en Costas Siliciclasticas, Deltas Y Mares Someros. *Departamento de Estratigrafia. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.*

MARQUES, F. M. S. Fonseca, 1988. Contribuição para o Conhecimento Geológico e Geotécnico do Território de Macau. Tese de Mestrado. *Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.*

International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test (CPT). Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils with Reference Test Procedures. *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering.*

International Reference Test Procedure for the Standard Penetration Test (SPT). Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils with Reference Test Procedures. *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering.*

MINEIRO, António José Correia, 1978. Mecânica dos Solos e Fundações. *Universidade Nova de Lisboa.* Lisboa.

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES; LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL,1987. Ensaios Laboratoriais para Caracterização Mecânica dos Solos. *LNEC, Departamento de Vias de Comunicação, Núcleo de Geotécnia Rodoviária.* Proc. 09/72/52. Estudo realizado ao abrigo do convénio IPF/LNEC. I & D, Vias de Comunicação, Relatório 265/87-NGR. Lisboa. 110 pp..

MIRALLES, Alfredo Arche. Análisis de Facies Y de Cuencas Sedimentarias. *Instituto de Geología Económica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Facultad de Ciencias Geológicas.* Madrid.

MOLINA, Margarita Diaz. Sedimentacion Fluvial. *Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense*. Madrid.

Normas:

NP - 143, 1969. SOLOS - Determinação dos Limites de Consistência.

NP - 84, 1965. SOLOS - Determinação do teor em água.

ASTM D 2573 - 72, (Reapproved 1978).Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil.

ASTM D 1586 - 64T, (Reapproved 1964). Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.

OVESEN, Niels Krebs *et al.*, 1989. Eurocode 7: Geotechnics. Chapters 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 and 10. Commission of the European Communities. First Incomplete Draft.

PEREIRA, Henrique Garcia,1990. Análise de Dados Geológico-Mineiros. Aplicações e Estudo Metodológico. Tese de Agregação. *Instituto Superior Técnico*. Lisboa. 263 pp..

PEREIRA, Eurico, 1992. Elementos para a Tectónica do Território de Macau. (Comunicação Pessoal).

PEREIRA, A. S. Costa, 1986. Noções de Geologia Aplicada à Construção Civil. Classificação de Terrenos.

SHAW R. and FYFE, J. A.,1992. The Influence of the Pearl River on the Offshore Geology of the Macao - Hong Kong Area. *Hong Kong Geological Survey, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong*.